



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTADES DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN
CIENCIAS AMBIENTALES

“Formación de Paisajes Mineros en el Altiplano Potosino: siglos XVIII y XIX”

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

PRESENTA:

BIOL. JOSÉ ANTONIO ÁVALOS LOZANO

DIRECTOR DE TESIS:

DR. MIGUEL AGUILAR ROBLEDO

COMITÉ TUTELAR:

DR. PEDRO MEDELLÍN MILÁN

DR. JOSÉ LUIS FLORES FLORES



Universidad Autónoma de San Luis Potosí.



Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias
Ambientales.

“Formación de paisajes mineros en el Altiplano Potosino: siglos XVIII y XIX”

Tesis

Que para obtener el grado de Doctor en Ciencias Ambientales.

Presenta

Biól. José Antonio Avalos Lozano.

Con autorización del Comité Tutelar.

Dr. Pedro Medellín Milán

Asesor de Tesis

Dr. José Luis Flores Flores

Asesor de Tesis

Dr. Miguel Aguilar Robledo

Director de tesis

PROYECTO REALIZADO EN:

LA COORDINACIÓN DE CIENCIAS SOCIALES Y
HUMANIDADES

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUÍS POTOSÍ

CON FINANCIAMIENTO DE:

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL (IPN) A TRAVÉS DEL
COMITÉ TÉCNICO DE PRESTACIONES A BECARIOS
(COTEPABE)

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
(CONACYT)

BECA-TESIS (CONVENIO No. 193841)

Dedico el presente trabajo con todo mi amor:

A Gabriela, y quién, a quién, a quién, sino a ti, musa, compañera, coautora agradecido eternamente por el regalo de tu presencia suave.

A mis hijos amadísimos (por orden de nacimiento, pero no de amor): Karla, Toño, Gaby, Andrea y Ana Laura.

A mis padres, José del cual soy sólo una extensión afortunada y a mi madre Elsa que desde el cielo sonrío emocionada.

A mis hermanos, Ulises, mi constante benefactor, mi mejor amigo, a Alejandra, Beatriz, Dolores y Rosa Elena (estas dos últimas en el paraíso), a mis sobrinas María Fernanda y Daniela, a Lilita por sus amorosos cuidados en mi infancia.

A mi Abuelo que no sabía leer ni escribir, pero que me enseñó, con su ejemplo, a ser un hombre honrado y trabajador.

A mis admirados maestros responsables de mis escasas virtudes, inocentes de todos mis defectos, Miguel Aguilar, Pedro Medellín, José Luis Flores Flores, Rogelio Aguirre, Luz María Nieto Caraveo, Antonio Reyes, Catalina Alfaro, Fernando Díaz Barriga, Mauricio Russek, María Luisa Sevilla, Antonio Oriol Anguera, Antonio Lazcano Araujo, Marco César Fernández.

A mis contados amigos: Álvaro de la Paz, Rocío Ramírez Jiménez, Carlos Abrego, Aida Ramos Viera, Francisco Salazar, Cristino Rodríguez y su esposa Chiquis.

A mis compañeros del PMPCA y de la Agenda Ambiental.

A mis valiosos colegas: Araceli, Ricardo, Nico, Any, Marianita.

Al Instituto Politécnico Nacional y a su ilustre fundador el General Lázaro Cárdenas del Río, mexicano de extraordinaria visión, responsable de que un descendiente de arrieros y peones acasillados pueda hoy conseguir un Doctorado.

A México, mi suave Patria, de la que estoy enfermo de amor.

A Dios, refugio eterno de todas mis tristezas, padre amantísimo, dador de vida, inventor de los sistemas, diseñador potentísimo que ha creado un mundo complejo para que nosotros, sus hijos, robemos sus secretos.

“Formación de paisajes mineros en el Altiplano Potosino: siglos XVIII y XIX”

Tabla de contenido

Resumen	1
1. Exordio.....	5
1.1 Marco conceptual.....	26
1.2 Justificación	57
1.3 Objetivos.....	60
1.3.1 Objetivo general.....	60
1.3.2 Objetivos específicos.....	61
1.3.3 Objetivo de gran visión	61
1.4 Hipótesis de trabajo	62
1.5 Bosquejo histórico del labrado de las minas y beneficio de la plata en México del siglo XV al siglo XIX.....	63
1.5.1 Minería precortesiana.....	63
1.5.2 Primeras empresas minero-metalúrgicas.....	67
1.5.3 El método de patio.....	74
1.5.4 El México Borbónico	83
1.5.5 Las empresas minero-metalúrgicas en los inicios del México independiente.....	94
1.6 La estructura de la industria mexicana de producción de plata, en los siglos XVIII y XIX.....	97

1.6.1 La naturaleza de los criaderos de minerales que contienen el oro y la plata en el mundo.	104
1.6.2 La naturaleza de los criaderos novohispanos de minerales que contienen el oro y la plata.	110
1.6.3 Menas comerciales y su modo de ocurrencia	124
1.6.4 La riqueza media de las menas comerciales en la Nueva España.....	131
1.6.5 La explotación o labrado de las minas	133
1.6.6 El beneficio de los minerales de plata	141
2. La formación de los paisajes mineros en el altiplano potosino, siglos XVIII y XIX	155
2.1 Metodología	155
2.2 Localización Geográfica del Distrito Minero de Catorce	179
2.3 Antecedentes del Sitio Sagrado Natural de Wirikuta.....	183
2.3.1 Antecedentes de conservación	194
2.4 Fisiografía y geomorfología.....	202
2.4.1 Fisiografía	202
2.4.2 Geomorfología	204
2.5 Geología.....	211
2.6 Clima	218
2.7 Hidrología	221
2.8 Edafología.....	232

2.9 Características Biológicas.....	238
2.9.1 Flora.....	238
2.9.2 Vegetación.....	242
2.9.3 Dinámica actual de los paisajes	247
2.9.4 Antecedentes Histórico Culturales	273
2.10 El Metabolismo Industrial de Catorce.....	286
2.11 Menas y gangas en el Distrito de Catorce	293
2.12 Reconstrucción de las conexiones básicas entre el sistema minero-metalúrgico y los paisajes del Distrito de Catorce.....	303
2.13 El impacto de la industria minero-metalúrgica sobre los paisajes del Altiplano Potosino, Nueva España, siglos XVIII y XIX.....	309
<i>3. La industria mexicana de producción de plata, en la segunda mitad del siglo XVIII y primera mitad del siglo XIX</i>	<i>321</i>
3.1 El espacio minero del Distrito de Guanajuato.....	325
3.1.1 Menas y gangas en el Distrito de Guanajuato	325
3.1.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue en el Distrito de Guanajuato	328
3.2 El espacio minero del Distrito de Pachuca.....	328
3.2.1 Menas y gangas en el Real de Pachuca, Hidalgo.....	328
3.2.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue en el Real de Pachuca, Hidalgo.....	329
3.2.3 Menas y gangas en el Real del Monte, Hidalgo.....	329

3.2.4 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue en el Real del Monte, Hidalgo.....	330
3.3 El espacio minero en el Distrito de Zacatecas	331
3.3.1 Menas y gangas en el Distrito de Zacatecas	331
3.3.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue en el Distrito de Zacatecas	334
3.4 El espacio minero en el Real de Sultepec, Estado de México.....	334
3.4.1 Menas y gangas en el Real de Sultepec, Estado de México	334
3.4.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue en el Real de Sultepec, Estado de México	335
3.5 El espacio minero en el Real de Zacualpan, Estado de México	335
3.5.1 Menas y gangas en el Real de Zacualpan, Estado de México	335
3.5.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el Real de Zacualpan, Estado de México	337
3.6 El espacio minero en el Real de Tlalpujahuá, Michoacán	337
3.6.1 Menas y gangas en el Real de Tlalpujahuá, Michoacán.....	338
3.6.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el Real de Tlalpujahuá, Michoacán	339
3.7 El espacio minero en el Real de Taxco, Guerrero	339
3.7.1 Menas y gangas en el Real de Taxco, Guerrero.....	339
3.7.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el Real de Taxco, Guerrero.....	340

3.8 El espacio minero en el Real de Zimapán, Hidalgo.....	340
3.8.1 Menas y gangas en el Real de Zimapán, Hidalgo.....	340
3.8.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el Real de Zimapán, Hidalgo.....	341
3.9 El espacio minero en el Real de Sombrerete, Zacatecas.....	342
3.9.1 Menas y gangas en el Real de Sombrerete, Zacatecas	342
3.9.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el Real de Sombrerete, Zacatecas	342
3.10 El espacio minero en el Real de Bolaños, Jalisco	343
3.10.1 Menas y gangas en el Real de Bolaños, Jalisco.....	343
3.10.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el Real de Bolaños, Jalisco	343
3.11 El espacio minero en el distrito de Guarisamey.....	343
3.11.1 Menas y gangas en el distrito de Guarisamey	343
3.11.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el distrito de Guarisamey	346
3.12 El espacio minero en el distrito de Batopilas.....	346
3.12.1 Menas y gangas en el distrito de Batopilas.....	347
3.12.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el distrito de Batopilas	349
3.13 El espacio minero en el Mineral de Zumpango del Río, Guerrero .	350
3.13.1 Menas y gangas en el Mineral de Zumpango del Río, Guerrero	350

3.13.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el Mineral de Zumpango del Río, Guerrero.....	350
3.14 Los flujos de residuos del sistema industrial minero-metalúrgico	351
3.15 Las amenazas a la salud provocadas por el sistema industrial minero-metalúrgico	352
<i>4. De la significación de algunas voces oscuras, usadas en los minerales de la Nueva España.....</i>	358
<i>5. Discusión y Conclusiones.....</i>	378
<i>6. Referencias.....</i>	404

Resumen

El objetivo de la presente tesis doctoral consistió en analizar las complejas interrelaciones entre el metabolismo industrial del Distrito Minero de Catorce (*Wirikuta o Sierra de Catorce*), en el norte del actual estado de San Luis Potosí, el segundo en importancia en la Nueva España, y la composición estructura y dinámica de los paisajes que funcionaron como su base de sustentación. Además, la tesis exploró otros impactos ambientales, relacionados con los procesos de extracción y beneficio de plata y oro, durante el periodo comprendido entre 1772 y hasta 1827, depurando los efectos de las actividades industriales de otros posibles factores ecológicos, fundamentalmente los climáticos.

A partir de su fundación, los reales mineros y las haciendas de beneficio del Distrito de Catorce, se constituyeron en mercados centrales y localidades industriales que requerían de flujos de mercancías para su funcionamiento. Estos bienes, que lo mismo funcionaban como materias primas e insumos de los procesos industriales o para alimentar, vestir y brindar confort a mineros y operarios representan las más básicas conexiones entre la sociedad local y los ecosistemas. Mediante investigación de archivo, análisis de imágenes de satélite y verificación de campo se determinó la ubicación y se cartografiaron diferentes instalaciones industriales que operaron en *Wirikuta* a fines del siglo XVIII y principios del XIX: ciento once minas; setenta y nueve haciendas de beneficio, con seiscientos cuarenta y cuatro tahonas y doscientos cincuenta y ocho cazos;

siete haciendas ganaderas y agrícolas; dos sitios de engorda de ganado y tres centros de abastecimiento de madera y carbón.

Al intentar comprender las consecuencias ecológicas de las actividades minero-metalúrgicas, en primer lugar, fue preciso reconstruir las conexiones entre la operación del sistema; las mercancías necesarias para su funcionamiento; y los recursos y servicios, como absorción y depuración de residuos, obtenidos de los ecosistemas, mediante investigación de archivo, análisis de imágenes de satélite y verificación en campo se identificaron las principales rutas comerciales, locales y nacionales.

Utilizando un nuevo marco metodológico, que incorporó herramientas metodológicas extraídas de la ecología, la historia económica, la historia ambiental, la química ambiental y la ingeniería de procesos se consiguió determinar para el Distrito Minero de Catorce en el periodo 1770-1827: el tipo de minerales procesados, el volumen de plata producida, las tecnologías utilizadas, los procesos desarrollados, las reacciones químicas involucradas, los insumos y fuentes de energía empleados por cada marco de plata producido, como: carbón, madera (para construcción y combustible), litargirio, plomo, cazos y discos de cobre, animales de trabajo, forraje, cebo, cueros, ixtle. También fueron consideradas en la contabilidad histórica otras mercancías necesarias para el funcionamiento del sistema; o para alimentar, vestir, y brindar confort a mineros y operarios. Esta información, sumada a la obtenida anteriormente sobre rutas comerciales, permitió determinar la cantidad de materia prima e insumos

utilizados, las localidades de origen de las mercancías; y el volumen y destino de los residuos producidos. A partir de los datos anteriores y utilizando funciones de transferencia fue posible inferir los impactos producidos en los ecosistemas.

Con base en lo antedicho, esta tesis realizó las contribuciones siguientes:

El metabolismo industrial del sistema minero-metalúrgico en el Distrito Minero de Catorce, presentaba un carácter particular, resultado de la adaptación de los procesos tecnológicos a un marco de causas concurrentes (climáticas; derivadas de las características de los minerales procesados; de disponibilidad de insumos; económicas, sociales e institucionales,) que determinaron las razones complejas de su aplicación.

Se procesaron 2 220 540,20 toneladas de mena argentífera por amalgamación y 36 335,70 toneladas por fundición.

Se produjeron, entre 1773 y 1827, trece millones de marcos (2 990 toneladas de plata).

Se desmontaron 118,02 km² de bosques para las siguientes actividades: fabricación del carbón vegetal utilizado en la fundición 85,39 km²; consumo de leña en 55 haciendas de beneficio, 10,66 km²; consumo familiar de leña (412 kg al mes, 10 000 familias), 21,97 km². Al trazar un radio de 6.12 km desde el Real de Catorce se obtiene una circunferencia de 118 km², que corresponde con el área donde el paisaje perdió su potencial productivo.

Se utilizaron, al año, 10 000 bestias de trabajo, que consumían por año, 14 675 toneladas de maíz; se consumieron, anualmente, 8 000 cueros de novillo, 57,5 toneladas de cebo que se obtenían de más de 100 000 cabras. Se sacrificaron, al año, 4 000 carneros y 431 reses para consumo humano. Las manadas que abastecían a la región requerían 5 282,5 Km² de agostaderos. Entre 1777 y 1779 se registraron en Charcas 118 hacendados de ganado mayor y menor con fierro para herrar.

Se liberaron a los ecosistemas dos millones de toneladas de jales conteniendo arsénico, plomo, antimonio y plata; 506 587 toneladas de sal común; de 21 000 a 151 712 toneladas de sulfato de cobre; y 5 000 toneladas de mercurio, todos estos contaminantes, en diversas matrices, aún se encuentran en la región; se han cartografiado siete diversas acumulaciones significativas de sustancias peligrosas (jales, graseros y escoriales) asociadas a las actividades minero-metalúrgicas realizadas en el sitio y periodo de estudio.

Los procesos industriales y de abastecimiento modificaron, con celeridad, el patrón geográfico de utilización de la tierra y la cobertura vegetal, instituyendo un mosaico en el que se articularon diversos elementos hasta adquirir la singularidad de un sistema con carácter propio y fisonomía particular. Se concluye que en el periodo comprendido entre 1772 y 1827, las actividades minero-metalúrgicas provocaron impactos significativos en los paisajes de *Wirikuta*, pero se ha sobreestimado su efecto sobre algunos ecosistemas, obviando la influencia de otros factores importantes.

Esta tesis doctoral ha determinado que la deforestación, la erosión y la alteración del funcionamiento de los paisajes de *Wirikuta* se presentaron, principalmente, en la parte norte de la Sierra de Catorce, en un área de alrededor de 118 km²; y que estos efectos no fueron consecuencia exclusiva de las actividades industriales, sino también de los efectos sobre los ecosistemas provocados por un periodo de anomalías climáticas (intensas sequías seguidas de violentas precipitaciones), que se presentó a fines del siglo XVIII.

En contra de la opinión predominante, esta tesis documentó que las formaciones de matorrales micrófilos de *Larrea tridentata* (DC.) Cov., y *Flourensia cernua* DC., se encontraban en el sitio, cuando menos, desde el siglo XVI y su invasión sobre los pastizales no fue originada por un aumento en la actividad ganadera, consecuencia de la bonanza minera. Sin embargo, es posible, que las asociaciones y consociaciones correspondientes sí hayan sufrido fuertes modificaciones en su composición, estructura y funcionamiento. A fines del siglo XVIII los paisajes de la Sierra de Catorce se transformaron anticipando los problemas ambientales que actualmente enfrentamos: contaminación, deforestación y pérdida de la biodiversidad. Posiblemente, durante este periodo fueron creados y se intensificaron muchos de los riesgos que ahora nos amenazan.

1. Exordio

Mervyn F. Lang ha escrito recientemente: “Es extraño reconocer que de las estructuras materiales que los antiguos usaban para construir sus puentes de

piedra no queda nada, excepto los puentes” (Castillo Martos, 2006: 11). Lo mismo podemos decir de los andamiajes sociales que permitieron construir la estructura de la industria de producción de plata mexicana del siglo XVIII: no queda nada, excepto sus consecuencias sobre la composición y estructura de los paisajes.

Efectivamente, muchos efectos en los paisajes han sobrevivido a sus causas, y aunque éstas permanecen ocultas, pueden ser inferidas a partir de cuidadosas lecturas de los indicios que sobreviven en los “palimpsestos” de los ecosistemas. Los paisajes nos brindan información sobre la historia humana a través de la composición florística; la estructura de las formaciones vegetales; los vestigios arqueológicos; la vegetación ruderal; las topoformas correspondientes a campos de cultivo, jales, escoriales, terreros, sistemas de irrigación y terrazas; los procesos de degradación del suelo, la alteración de los patrones hidrológicos. Contra lo que pudiera pensarse la capacidad de definir patrones del paisaje no es exclusiva de los seres humanos, se extiende a otras poblaciones de organismos dominantes. En algunos de estos casos resulta más sencillo identificar los señales que sobreviven a los procesos de conformación, entre lo múltiples casos de estudio se presentan dos destacados: el del castor (*Castor canadensis*) que resulta un ejemplo interesante por la gran influencia en el paisaje de un organismo que presenta baja densidad poblacional. Estos roedores que utilizan palos y lodo para represar una corriente del segundo al quinto orden, pueden alterar hasta el 13% del área total de los paisajes que ocupan, como han demostrado Johnston y Naiman (1990), mediante el análisis de fotografías aéreas. Estos mamíferos

afectan la vegetación riparia y saturan los suelos, formando humedales; cuando la presa se rompe o el sitio es abandonado, el humedal se transforma en una formación vegetal característica llamada “pradera de castor”, que permanece como un elemento espacialmente distintivo en el paisaje (Turner *et al.*, 2001). Una historia similar es la del bisonte americano (*Bison bison*). Hubo un tiempo en el que 75 millones de bisontes recorrían Norteamérica, llegando hasta el sur del Desierto Chihuahuense, en el actual San Luis Potosí. Las gigantescas manadas migraban, regularmente, determinando la composición y estructura de los pastizales, a lo largo de sus rutas, por el consumo preferencial de ciertas especies o por el reciclamiento de los nutrientes contenidos en su estiércol. Sus efectos sobre el paisaje sobrevivieron a su desaparición, las rutas pueden actualmente ser identificadas, por la estructura y composición de los pastizales y por los parches circulares característicos que dejaron los bisontes, al destruir la vegetación, para tomar baños de polvo (Turner *et al.*, 2001).

Los paisajes, a pesar de ser sistemas dinámicos en constante cambio y evolución, mantienen información en su estructura sobre los regímenes de disturbio que los conformaron. **Si es posible determinar cómo los paisajes se han construido en el tiempo, y cómo surgen a partir de la tensión de diversas fuerzas conformadoras, entonces, es posible inferir qué patrones y procesos operan actualmente en estos sistemas, y, más importante aún, cuál será la composición, estructura y dinámica de los paisajes futuros. La comprensión de estos fenómenos requiere la comprensión liminar de su historia.** Por estas

razones, la Paleoeología se ha convertido en una herramienta indispensable para el estudio de la dinámica ecológica. Esta disciplina, en construcción, estudia a los organismos, poblaciones y comunidades que habitaron los paisajes en el pasado, sus interacciones, y sus dinámicas de respuesta a un biotopo variable. Como campo floreciente de la Historia Ambiental, puede obtener información relevante sobre la conformación actual de los ecosistemas (Turner, *et al.*, 2001: 73) y sobre las relaciones de sus fuerzas conformadoras, a partir del análisis de su historia particular, brindando los elementos básicos para la realización de estudios prospectivos, como el Ordenamiento Ecológico Territorial.

Pero el trabajo de los paleoecólogos no es sencillo Como argumentó Cook (1949), cualquier investigación que pretenda elucidar las relaciones históricas entre una población humana y su ambiente físico y biológico debe considerar, en primer término, que estas relaciones no son estáticas ni unilaterales. Una multitud de causas están perpetuamente induciendo efectos, y éstos, a su vez, modifican los factores causales. Los hombres se adaptan a su ambiente, pero en este proceso de adaptación, el ambiente es alterado y reacciona sobre el hombre, adaptándose al mismo tiempo a él. No basta comprender que el sistema es dinámico y complejo, las investigaciones ecológicas presentan problemas adicionales como el de las diferentes escalas espaciales y temporales, mientras los procesos ecológicos suceden en el término de centurias y normalmente sobre superficies muy extensas, los estudios actuales emprendidos para comprender su dinámica, duran, en el mejor de los casos, de tres a cuatro años y se circunscriben a

pequeñas parcelas de trabajo. Esta diferencia se traduce, constantemente, en el fracaso de los programas de investigación. Si no se comprenden los procesos de sucesión y los cambios que acarrearán y que afectan a todo el ecosistema y ulteriormente al paisaje, entonces, no se cuenta con las herramientas suficientes, para enfrentar la crisis ambiental y para conseguir la transición hacia la *sostenibilidad*. Esta ignorancia tiene un importante efecto práctico: si en un proceso de sucesión el paisaje ha avanzado hasta una nueva etapa *seral*¹, introducir organismos propios de la fase sucesional anterior es un contrasentido, pues las normas de ensamblaje o, al menos, ciertos filtros ambientales, disminuirán las probabilidades de éxito de los colonizadores (Weiher, *et al.*, 1998); sin embargo, en México, los programas de intervención se realizan casi siempre en estas condiciones, lo que puede explicar los constantes fracasos de la Comisión Nacional Forestal.

Al reflexionar sobre los estudios de impacto ambiental, los de ordenamiento ecológico, y, en general, todos los referentes a la planeación territorial, que han sido realizados en nuestro país, no se puede dejar de notar, que la mayoría se enfoca exclusivamente en el análisis de la influencia de los factores antropógenos sobre el ambiente, tratando a los disturbios potenciales como simples efectos lineales de causa y efecto. Para los responsables de los estudios, el paisaje es

¹ Denominación general dada a cada una de las etapas de una sucesión.

poco más que una escenografía fija; arbitrariamente, se confiere a los sistemas vivos y dinámicos un carácter estático muy alejado de su naturaleza. Ciertamente que en este tipo de evaluaciones, resulta indispensable conocer las características de los diferentes proyectos y sus efectos sobre el paisaje, pero incluir el comportamiento de otras variables ecológicas resulta igualmente importante. Factores como el clima local (que es todo menos constante) y la geomorfología que, junto con la geología, establecen la plantilla abiótica sobre la cual se desarrollan los suelos y las comunidades bióticas de la región, no pueden ser soslayados; también es necesario considerar la distribución espacial y la densidad de las poblaciones que dependen del biotopo. Es verdad que estos elementos normalmente se incluyen en las caracterizaciones de la mayoría de los estudios. Pero siempre en forma de simples compilaciones exhaustivas de la información disponible, sin un hilo conceptual conductor, sin un análisis profundo que descubra las articulaciones y variaciones concomitantes de las diferentes variables, entonces los estudios se convierten en onerosos mamotretos inservibles, plagados de datos desarticulados. Esta deficiencia ha ejercido un efecto deletéreo sobre la planeación en México que, sumada a la falta de voluntad política, se convierte en un valladar insalvable, que puede condenar a nuestro país a un desastre ambiental.

Whitford (2002: 2) ha señalado que los sistemas ecológicos funcionan, en cierta forma, de manera análoga a los automóviles. La comprensión de cómo un automóvil se desplaza por una calle, implica comprender el arreglo estructural de los diferentes componentes y los procesos de combustión de la gasolina y

expansión de los gases, que mueven los cilindros dentro del pistón, otros procesos que deben ser comprendidos son la transmisión de la energía generada en el motor a través del cigüeñal y los juegos de engranes, hasta los ejes de las llantas. La caja de velocidades regula el torque aplicado para vencer la resistencia al desplazamiento de la masa del vehículo y la velocidad. Las estructuras de un vehículo a diesel son diferentes pero los procesos básicos (combustión interna y transmisión) son muy similares. En un automóvil el patrón temporal de la secuencia de ignición es importantísimo para garantizar una suave transferencia de energía, si el aprovisionamiento de oxígeno o combustible a la mezcla es incorrecto o la chispa se retrasa, el motor se desafina y camina a tirones, si la banda de transmisión se rompe el automóvil no funciona. El funcionamiento de los sistemas ecológicos también se encuentra regulado por patrones temporales que se manifiestan, normalmente, como secuencias de eventos concatenados por ejemplo, series de días con una precipitación arriba de un umbral, o con cierta temperatura, humedad relativa o duración diaria de las horas de luz. Estos patrones cíclicos dirigen la fenología de los organismos, los ciclos biogeoquímicos y la producción primaria. Aunque el símil entre un paisaje y un vehículo resulta esclarecedor sobre la pertinencia de entender el arreglo estructural y los patrones de los ecosistemas, la analogía es muy limitada. Los patrones estructurales y los procesos de un automóvil son lo suficientemente comprendidos por los expertos, como para construir modelos predictivos, utilizados en el diseño y construcción de los nuevos vehículos o modelos de operación que nos sirven para reparar un vehículo averiado. En el caso de los sistemas ecológicos, la complejidad

estructural y funcional, las variables escalas temporales, los diferentes regímenes de disturbio y las diferentes escalas espaciales de importantes elementos estructurales, nos impiden, en el estado actual de nuestro conocimiento, construir modelos prospectivos y de operación. Nadie en su sano juicio se atrevería a intentar rediseñar un automóvil sin los conocimientos básicos de ingeniería, sin embargo, no se tiene el menor empacho en modificar todo el tiempo el arreglo estructural de los ecosistemas, que son infinitamente más complejos.

Afortunadamente, recientemente se han realizado interesantes aportaciones metodológicas que pretenden la construcción de un marco conceptual pertinente para la planeación ecológica en nuestro país.

Bocco *et al.* (2009) afirman, que la planeación territorial debe ser basada en la evaluación de la oferta ecológica de un territorio, para sostener diversos *sistemas productivos*, mediante un análisis de aptitud². La evaluación de la oferta ambiental, según los mismos autores, no puede ser soslayada en el ordenamiento ecológico de cualquier nivel, ya que es el único instrumento que permite, establecer los lineamientos y estrategias sobre el tipo de uso de la tierra, y al mismo tiempo, evaluar los conflictos potenciales entre la demanda de recursos por parte de la población y la oferta de recursos por parte del paisaje. No es tarea simple evaluar la oferta ambiental de un territorio, sin contar con un eje conceptual articulador, el cual debe estar basado en el mejor

2 Proceso prospectivo de análisis del uso potencial del terreno con base en su dinámica y atributos ecológicos.

conocimiento de las interacciones ecológicas y procesos necesarios para sostener la composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas del sitio (Christensen *et al.*, 1996). Normalmente se ha utilizado al ecosistema, nivel central de la jerarquía ecológica, como eje articulador, y ciertamente este concepto es una idea poderosa, que ha permitido el uso de la primera ley de la Termodinámica en el análisis de sistemas ecológicos completos. Sin embargo, esta aproximación presenta una gran desventaja, su utilidad en la planeación territorial depende de la delimitación de los ecosistemas por fronteras específicas (para la delimitación de unidades homogéneas en la regionalización ecológica) y desgraciadamente éstas son porosas y difuminadas, lo que permite a todos los ecosistemas intercambiar: materia, energía, información, organismos y propágulos. En los hechos, esto significa que los ecosistemas, anteriormente definidos como unidades discretas, resultan ser realmente partes interconectadas de una unidad funcional de mayor jerarquía, denominada paisaje; cuyo funcionamiento depende de sus interconexiones, definidas a partir de las entradas y salidas al sistema; el funcionamiento individual de un ecosistema depende, entre otros factores, de sus interacciones con otros de su misma especie. Realmente la dinámica de los ecosistemas no puede ser comprendida sino se estudia en el contexto al que pertenece. El paisaje no es un constructo³ histórico-social, como afirman diversos autores, es más bien el modelo, si bien imperfecto, de una entidad real, constituida por un conjunto de procesos o patrones. Los patrones pueden ser espaciales o

³ Artefacto "inventado" o "construido" por los participantes de una sociedad particular, que existe porque la gente accede a comportarse como si existiera.

temporales y son conformados por la acción humana y otro tipo de factores ecológicos, a través del tiempo. Los procesos son mecanismos, muchos de los cuales son similares en sistemas ecológicos que presentan composición y estructuras diferentes (Whitford, 2002). Aunque el funcionamiento, estructura y composición del paisaje no dependen de la percepción humana; no puede negarse que este nivel de organización de la jerarquía ecológica es una segunda naturaleza, cargada de significados humanos y en constante transformación. Su dinámica es característica y opera inducida por un régimen de disturbio parcialmente dependiente de los *procesos productivos* que substancian el *intercambio orgánico* entre la sociedad y la naturaleza. Esta compleja urdimbre cambia dialécticamente en el tiempo, dependiendo de la acción multivariada de las variables impulsoras; Un cambio impulsado por factores biológicos o climáticos deviene en un cambio en el modo de producción⁴, de la misma forma que el cambio de un modo de producción a otro, implica necesariamente la reorganización de los ecosistemas, lo que se manifiesta en cambios en la composición y estructura del paisaje (Aguilar Robledo y Torres Montero, 2005: 9).

Conviene detenernos aquí, para construir una definición operativa del **paisaje** (eje conceptual de la presente tesis), definido a partir de Forman y Godron (1986: 11); Burel y Baudry (2004: 43); Odum y Barret (2005); y Turner, *et al.* (2001), como: el nivel de la jerarquía organizacional ecológica superior al nivel de ecosistema. Que

⁴ Conjuntos socialmente articulados de procesos productivos.

se caracteriza esencialmente por ser un área distintiva; espacialmente heterogénea, cuando menos en un atributo de interés; mensurable; definida por: un patrón o disposición ordenada y reconocible de ecosistemas, que interaccionan, más los nuevos elementos surgidos de la interacción hombre-naturaleza; y con una dinámica de cambio parcialmente gobernada por las actividades humanas; y que existe independientemente de la percepción.

La dinámica del paisaje que obra impulsada por factores ecológicos, que operan en forma multivariada y extremadamente compleja, debe ser preliminarmente comprendida, para realizar una evaluación adecuada. A guisa de ejemplo, consideremos las siguientes relaciones:

- a. La geomorfología determina al clima local, pero el clima local, junto con los procesos geológicos, conforman, a largo plazo, la geomorfología.
- b. La elevación, pendiente y exposición de las geoformas, sumados al material parental, afectan el tipo de suelo y su temperatura, humedad y concentración de nutrientes; también afectan la temperatura y humedad del aire.
- c. La circulación general de los vientos influyen en la humedad y temperatura del suelo y el aire, y en los procesos de intemperización que forman el suelo. Por ejemplo, en San Luis Potosí el movimiento de los alisios de Este a Oeste, provoca que la vertiente este de la Sierra de Catorce (barlovento) sea más cálida y húmeda (adiabática húmeda) que la vertiente oeste (sotavento) que resulta más fría y seca (adiabática seca), por el efecto de

sombra orográfica. Otro factor que aumenta la complejidad, es el importante efecto ladera, que en el hemisferio norte, provoca que las laderas de exposición sur (solana) reciban más radiación que las de exposición norte (umbría), provocando que la ladera sur sea siempre más caliente y seca que la norte; y como si no fuera suficiente, encontramos el efecto cañada y el reciente descubrimiento de que la humedad de los suelos es un regulador básico del clima (Turner, *et al.* 2001: 80).

- d. Las comunidades vegetales son una expresión de síntesis de la geología, geomorfología, clima y edafología. Su distribución depende de la plantilla abiótica conformada por los factores citados; mientras su densidad es afectada, entre otros elementos, por las geoformas, que influyen en los flujos de organismos y propágulos, la edafología del sitio y el clima. Sin embargo las fitocenosis afectan lentamente las geoformas, alteran los patrones hidrológicos, forman barreras contra los vientos, e incrementan la precipitación local por efecto de la evapotranspiración y el aumento de la rugosidad del relieve; influyen, junto con los suelos, en los procesos de recarga del acuífero; forman, acumulan y modifican química y físicamente al suelo; estabilizan y fijan los taludes, atenúan las pendientes. Las formaciones vegetales determinan a las poblaciones animales que las habitan, las cuales a su vez pueden transformarlas, como ya se ha señalado con el ejemplo del castor y el bisonte.
- e. Lo anterior sin considerar los elementos adicionales, que posteriormente serán tratados a profundidad, atribuibles a los modos de producción, que

moldean, parcialmente, a los ecosistemas y sus articulaciones y son, al mismo tiempo, dependientes de los atributos ambientales del paisaje.

- f. Por una omisión inexplicable prácticamente ninguna evaluación de impacto ambiental a los proyectos de desarrollo incluye los potenciales efectos del cambio y la variabilidad climática. Los resultados de diversos estudios, a nivel país, sobre el Cambio Climático (CC), bajo diferentes escenarios de emisión, lucen preocupantes, es probable que el clima nacional sea cada vez más cálido entre el 2020 y el 2080, principalmente en el norte del país. Diversos autores proyectan, en ese periodo, para México, una disminución en la precipitación de entre 10 y 20%, y un incremento de 2 a 6°C de temperatura media.
- g. Según Viller y Trejo (2004) la duplicación en la concentración del CO₂ atmosférico, podría provocar cambios en el patrón de distribución de las comunidades vegetales en el país. En lo general, ante el CC, las comunidades vegetales enfrentarían presiones, como el incremento en la aridez o la disminución en la precipitación. Es posible que el hábitat de los bosques templados se reduzca considerablemente, y estas áreas sean ocupadas por bosques espinosos y matorrales xerófitos. Mientras, algunos climas; como el árido templado, correspondiente a las áreas de distribución de los pastizales; podrían desaparecer totalmente. Afirma el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), que en los próximos años, las 1 473 cuencas del territorio nacional pueden experimentar una

disminución en el escurrimiento, de hasta un 20%. Una mengua, aún no determinada, podría presentarse en la recarga de los diferentes acuíferos.

Por las razones esgrimidas, se puede afirmar que los estudios de ordenamiento ecológico del territorio exigen la comprensión de la dinámica de los paisajes y de los factores ecológicos que las impulsan, también resulta evidente que las metodologías tradicionales de planeación territorial no permiten la atribución correcta de los impactos ambientales, bien a las actividades antropógenas, bien a otras posibles causas: geológicas, climáticas, geomorfológicas, edafológicas o bióticas, lo que dificulta la elaboración de los programas de manejo sostenible. La elaboración del Plan de Manejo del Sitio Sagrado Natural de *Wirikuta*, iniciado en el año de 2006, se enfrentó, como cualquier otro instrumento de planeación, a estos desafíos metodológicos, que fueron resueltos mediante un estudio de ordenamiento ecológico y paleoecológico, aplicado a un caso específico, utilizando una metodología multidisciplinaria, sistémica y multivariada, basada en datos abundantes, sustentada firmemente sobre “columnas de cifras” y cimientos matemáticos – como recomienda Canudas (2005) – hasta donde lo permitan los datos disponibles, siempre elusivos. La presente tesis doctoral formó parte de la investigación paleoecológica realizada para la elaboración del Plan de Manejo de *Wirikuta*, algunos de sus propósitos fueron: analizar las complejas interrelaciones entre el metabolismo industrial de la Diputación de Minería de Catorce, situada en el norte del actual estado de San Luis Potosí y la composición estructura y dinámica de los paisajes del sur del Desierto Chihuahuense, en los que se

establecieron los asientos de minas y las haciendas de beneficio del distrito, durante el periodo comprendido entre 1772 y hasta 1827. Además, la investigación exploró otros impactos ambientales y procesos de conformación territorial, relacionados con los procesos de extracción y beneficio de plata y oro. El último gran objetivo del estudio fue realizar un ejercicio de atribución, analizando la acción multivariada de los diferentes factores ecológicos y depurando los efectos de las actividades antropógenas de otros posibles, atribuibles a causas abióticas como la variabilidad climática y la topografía, o a las interacciones bióticas, como facilitación y competencia.

La investigación se enfocó en la industria minero-metalúrgica que operó en *Wirikuta* en el siglo XVIII y XIX por las siguientes razones: es una opinión extendida que las actividades minero-metalúrgicas, desde su aparición, influyeron, de diversas maneras, en la composición de los paisajes de México (Cramaussel 1999). De la misma forma, no se puede entender el funcionamiento de la industria sin comprender las relaciones de dependencia física, ecológica y económica, que ésta guardaba con los paisajes que constituyeron su base de sustentación. Se considera que a partir de su fundación, los reales mineros y las haciendas de beneficio de Catorce se constituyeron en mercados centrales y localidades industriales que requerían, para su funcionamiento, de flujos de mercancías. Estos flujos tangibles e intangibles representaban las más básicas conexiones entre la sociedad local y los ecosistemas y en el corto periodo de cincuenta y cuatro años fueron responsables del colapso de los ecosistemas de la Sierra de Catorce y la

Llanura de San Cristóbal, en la vertiente oeste de *Wirikuta*. La hipótesis inicial de trabajo fue que la operación del sistema industrial minero-metalúrgico de Catorce, durante los siglos XVIII y XIX, provocó la alteración y degradación de los paisajes de la Sierra de Catorce, que perdieron su potencial productivo, estos procesos deletéreos provocaron muchos de los problemas ambientales que actualmente enfrenta el Sitio Sagrado: contaminación, deforestación, pérdida de la biodiversidad. Posiblemente, se pensaba que durante este mismo periodo fueron creados y se intensificaron muchos de los riesgos que ahora nos amenazan.

La metodología aplicada para intentar refutar la anterior hipótesis de trabajo consistió en primer lugar en la reconstrucción, mediante una metodología de carácter multidisciplinario, del metabolismo industrial regional. En primer término, se identificaron y cartografiaron las minas que operaron en el sitio, durante el periodo de estudio. Se determinó, para cada una de las ciento once minas cartografiadas (en los distritos de Catorce y Matehuala), la presencia o ausencia de los cincuenta y tres minerales más importantes para la producción de plata en México, la ley de plata de los mismos, el volumen de mineral argentífero extraído en el periodo, los procedimientos de explotación de las minas, la maquinaria utilizada para el desagüe de los planes y la extracción del mineral. Se dilucidaron los procesos metalúrgicos empleados en las 79 haciendas de beneficio (644 tahonas, 258 cazos) identificadas, mediante investigación de archivo, análisis de imágenes de satélite y verificación de campo en la Cañada de los Catorce, Laureles, Vanegas, Potrero, Cedral y Matehuala, que servían a los distritos de

Matehuala y Catorce. Se cartografiaron y caracterizaron, mediante percepción remota y verificación de campo: siete haciendas ganaderas y agrícolas, dos sitios de engorda de ganado, tres centros de abastecimiento de madera y carbón, siete sitios con jales y escóriales, originados en el periodo. Con los datos anteriores y utilizando métodos de balance de materia y energía, se calculó la cantidad de plata producida por tipo de beneficio, y se determinaron, parcialmente, las reacciones químicas involucradas. Al realizar el balance de materia y energía en el sitio, fue posible discurrir los insumos utilizados por cada marco de plata producido, incluyendo pérdidas. Lo que ha permitido calcular la cantidad de materia prima e insumos⁵ utilizados (mineral, mercurio, sal, magistral, litargirio, carbón, agua, madera). El análisis de una muestra tan significativa en términos estadísticos, nos permitió inferir los factores clave que determinaron los procedimientos tecnológicos aplicados, concluyendo que para Catorce fueron: la composición de los minerales, el clima, la disponibilidad de recursos financieros y la reserva de insumos. Al definir las minas, haciendas de beneficio y los centros de abastecimiento fue posible reconstruir las conexiones entre el sistema industrial y las mercancías necesarias para su funcionamiento, en forma de rutas comerciales; y los recursos y servicios, como absorción y depuración de residuos, obtenidos de los paisajes. El intercambio orgánico entre la industria y los ecosistemas modificó,

⁵ En el presente artículo se considera que las materias primas son los elementos básicos que después de ser transformados formaran parte del producto terminado; en este caso, los minerales. Los insumos, en cambio, son el conjunto de elementos que toman parte en la producción de otros bienes, sin incorporarse en el producto final; por ejemplo el agua de enfriamiento, los catalizadores, el combustible, las instalaciones, la fuerza de trabajo.

con celeridad, el patrón geográfico de utilización de la tierra y la cobertura vegetal, instituyendo un mosaico en el que se articularon diversos elementos hasta adquirir la singularidad de un sistema con carácter propio y fisonomía particular.

Aunque es correcto afirmar que la dilucidación del efecto del metabolismo minero sobre los paisajes debe ser aplicada a casos específicos, pues no hubo una minería o metalurgia tipo y tampoco existe un paisaje tipo; también es conveniente anotar que la comparación de estos casos específicos permite enriquecer nuestro análisis, al permitirnos resaltar patrones y relaciones generales y establecer diferencias en los efectos sobre el paisaje de diversos factores ecológicos, de origen antropógeno o de carácter natural. Esta comparación equivale, en los hechos, a las múltiples repeticiones de un experimento natural.

Con el propósito de entender a mayor cabalidad el sistema minero-metalúrgico de Catorce, se analizaron, con propósitos comparativos, trece distritos mineros de un total de treinta y siete (el 38% si se considera Catorce), que operaron en el mismo periodo de estudio (aunque en esta parte el análisis se extendió un poco más), incluyendo los diez más relevantes por su producción de plata: Guanajuato, Zacatecas, Pachuca, Bolaños, Guarisamey, Sombrerete, Taxco, Batopilas y Zimapán; adicionalmente, se consideraron: Tlalpujahua, Zacualpan, Sultepec y Zumpango del Río, por su importancia histórica. Desgraciadamente los estudios de carácter histórico presentan una relevante desventaja, la información no siempre se encuentra disponible, lo que produjo una asimetría en el nivel de profundidad de análisis de los diferentes sitios, mientras algunos sitios presentan

mucha información, otros carecen de ella; lo que provoca que la extensión de los diferentes apartados no se encuentre balanceada.

Para atender este propósito Se analizaron las transformaciones de la industria minero-metalúrgica, en cinco fases de la historia de la minería mexicana a las que denominamos: *minería precortesiana; las primeras empresas mineras novohispanas; el método de patio; el México borbónico; las empresas minero-metalúrgicas en los inicios del México independiente*. No sólo se estudió lo referente a los aspectos mineralógicos y tecnológicos, sino también en los patrones geográficos de extracción, beneficio y amonedación de la plata; y de los suministros de materiales, bestias, fuentes de energía y fuerza de trabajo. El periodo analizado, que comprende de 1521 a 1849, parte de las rudimentarias fundiciones de los minerales llamados *colorados* (por la presencia de hidróxido de hierro), en hornos castellanos, con soplo por fuelle común, sin otra preparación que la trituración gruesa, de materiales hipogénicos, dóciles a la fundición, extraídos de la parte superior de los yacimientos filonianos (Castillo Martos, 2006). Pasa por la invención del método de *Amalgamación Mexicana* (Método de Patio), un proceso industrial de gran escala, de beneficio de plata, basado en la utilización del Azogue⁶, desarrollado por Bartolomé de Medina y perfectamente adaptado a la mayoría de las menas y condiciones climáticas mexicanas. Continúa con las adaptaciones, altamente sofisticadas, del proceso de beneficio de Medina, a las

6 Mercurio metálico (Hg).

diferentes condiciones de los distritos mineros, efectuadas en el siglo XVII, XVIII y principios del XIX, como el *beneficio con reverbero*, el método de *beneficiar con azogue por cocimiento* o de amalgamación en caliente, llamado de *cazo*, inventado en 1590 por D. Álvaro Alonso de Barba, en el virreinato de Perú (Ramírez 1884: 38; Garcés y Eguía 1873: 75); el de *fondón a caballo* desarrollado en Catorce, en la última década del siglo XVIII por Miguel de Aguirre; o el *método de estufa*. Incluye, por supuesto, los sorprendentes avances obtenidos en los procesos de beneficio por fuego como: los artes para dar viento a los hornos, entre los que destacan: el “Arte de a caballo, rueda y linternilla”, el “Arte de agua”, y el “Arte de patadas” Gamboa (1874: 399-402). Termina con el predecible fracaso de las primeras empresas mineras de capital británico, que subestimaron los procesos metalúrgicos mexicanos y la experiencia de los mineros nativos, basados en los errores de visión científica del barón de Humboldt (Ward 1995: 357).

En otra parte del discurso se configura un boceto de la estructura⁷ de la industria mexicana de producción de plata, en los siglos XVIII y XIX, considerando la composición mineralógica y características de las minas y haciendas de beneficio, sus procesos de interconexión y su distribución geográfica. El tratado continúa con

7 Se entiende la composición y características de las minas, haciendas de beneficio de plata y casas de moneda (definidas a partir de los procesos desarrollados), y su distribución geográfica. Se incluyen, adicionalmente, los procesos de interconexión y las rutas y sitios de abastecimiento de materias primas, insumos, financiamiento, fuerza de trabajo; y los Itinerarios de plata en pasta a las casas de moneda y de plata amonedada.

la descripción del *metabolismo industrial*⁸ de las principales empresas minero-metalúrgicas mexicanas, con acento en las tres diputaciones de minería de mayor importancia en el periodo de estudio: Pachuca (en la Intendencia de México, actualmente estado de Hidalgo, donde funcionaban el real de Pachuca y Real del Monte); Zacatecas (en la Intendencia de Zacatecas) y Guanajuato (Intendencia de Guanajuato); aunque se incluyeron las operaciones de distritos mineros, adicionales, con menor producción: Sultepec y Zacualpan (ambos situadas en la Intendencia de México, actualmente Estado de México); Tlalpujahuá (en la Intendencia de Valladolid, hoy Michoacán); Taxco y Zumpango del Río (en la Intendencia de México, en el actual estado de Guerrero); Zimapán (Intendencia de México, en nuestros días, Hidalgo); Sombrerete (Intendencia de Zacatecas); Bolaños (Intendencia de Guadalajara, actualmente estado de Jalisco); y Guarisamey y Batopilas (en la intendencia de Durango, actualmente en los estados de Durango y Chihuahua, respectivamente).

Obligados por la complejidad de los problemas analizados y su carácter dinámico y específico, fue preciso limitar el dominio espacio-temporal del estudio a los trece

8 Definido por Ayres y Simonis (1994: 6) como: "La serie de transformaciones fisicoquímicas que convierten materias primas (biomasa, minerales, metales etcétera), en productos manufacturados, estructuras y residuos; el concepto puede incluir también la posterior transformación de los productos manufacturados en bienes comerciales, servicios; y residuos". Para un economista estos dos procesos, constituyentes del metabolismo industrial, se denominan respectivamente: *producción* y *consumo*. De esta forma el *Metabolismo Industrial* comprende todas las transformaciones de materiales y energía que permiten al sistema económico funcionar". Incluyendo las de la producción, distribución y consumo.

distritos referidos y a un periodo histórico determinado⁹ comprendido entre 1772 y hasta 1849.

1.1 Marco conceptual

En el periodo transcurrido desde la publicación del informe realizado por la *World Commission on Environment and Development* (1987), conocida públicamente como Comisión Brundtland, el término *desarrollo sostenible* se ha convertido en un lugar común.

En aquel importante documento, el *desarrollo sostenible* fue definido como “Aquel que satisface las necesidades de la presente sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades” (Arrow *et al.*, 2004). En un sentido más general, otros autores han definido esta forma de desarrollo como aquella que permite mantener la calidad ambiental estable a largo plazo y la extracción de recursos (Burkett, 2006). Una sofisticada definición del desarrollo sostenible fue presentada en el 2004 por Arrow, *et al.*, en el artículo, *Are We Consuming Too Much*.

Las definiciones anteriores brindan amplio espacio a una variedad de perspectivas del *desarrollo sostenible* basadas en diferentes interpretaciones del significado de ciertos conceptos básicos, como: *calidad ambiental, capital natural, estabilidad a*

⁹ Las ventajas de esta aproximación han sido establecidas por Cronon (1990).

largo plazo, y desarrollo; así como, en la caracterización de la clase de necesidades humanas, presentes o futuras, que deben ser satisfechas.

El fárrago de información relacionado con el *desarrollo sostenible* ha llevado a muchos críticos a sostener que la idea es, una utopía inaprensible e inútil, debido a que no puede ser precisamente definida. En la crítica al concepto, realizada por *The World Conservation Union* (IUCN) en el 2006 se afirma:

“La definición de Brundtland era nítida pero inexacta. El concepto es holístico, atractivo y elástico pero impreciso. La idea (...) puede unir a las personas, pero no necesariamente les ayuda a convenir en las metas. Indudablemente, al implicar todo, el término (...) acaba por no significar nada” (Adams, 2006: 3).

La detracción es sorprendente, cuando se considera que la idea de la *sostenibilidad* nació, en 1969, con un mandato adoptado por la IUCN que se refería a “La perpetuación y el mejoramiento del mundo viviente (...) y los recursos naturales (...) [mediante la gestión] del aire, agua, suelos, minerales y especies vivientes, incluido el hombre, para lograr la calidad de vida *sostenible* más alta posible” (Adams, 2006: 1).

La misma elasticidad conceptual del *desarrollo sostenible*, que ha permitido, por un lado, la aceptación ecuménica de la idea; ha favorecido, por el otro, su uso indiscriminado para legitimar cualquier tipo de proyectos, incluso algunos esencialmente perversos, con costos ambientales enormes e irreversibles, como la recientemente promulgada Ley de Promoción y Desarrollo de los

Bioenergéticos, en la que el Gobierno de México facultó a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; para otorgar permisos de producción de bioenergéticos, a partir del grano de maíz, y aunque se establece que sólo se otorgarán cuando existan inventarios excedentes; no se establece si estos se calcularán en función de la demanda o de la necesidad; al considerar exclusivamente criterios mercantiles la Ley soslaya las profundas implicaciones, sociales y culturales, que tales proyectos pueden tener en el campo mexicano. Desbrozando, de paso, el camino a las grandes empresas energéticas.

A diferencia de lo sucedido con el término *ecodesarrollo*, incomodo predecesor, anatemizado por Kissinger (Jiménez Domínguez, 2001); el concepto de *desarrollo sostenible*, políticamente más correcto, ha sido conducido a una especie de trivialización retórica. En efecto, en varios casos, la idea se ha convertido en poco más que una manifestación de buenos deseos, en un cosmético de los programas de crecimiento económico. Parafraseando a Adams (2006): frecuentemente el *desarrollo sostenible* acaba siendo simplemente el crecimiento económico, como siempre ha sido, con un reconocimiento escrito, efímero y casi avergonzado de la conveniencia de considerar al *capital natural* en las cuentas.

No es extraño que el fracaso constante de este concepto fortalezca la cínica visión decadentista, que favorece al proyecto civilizatorio dominante. García (2007) refiere que en una encuesta internacional realizada por GlobeScan Inc., en 2006, que incluyó a 360 expertos, se encontró un aumento en los niveles de escepticismo y una disminución en la confianza, con relación a la factibilidad del

desarrollo sostenible. El 64% de los encuestados opinó que es improbable que puedan evitarse daños irreversibles en los ecosistemas, mientras que un 10% considera que los daños irreversibles ya se han realizado y que nada puede evitar la manifestación de sus efectos sobre las poblaciones humanas. Esta desesperanza, en forma intangible, se ha extendido a toda la sociedad; como muestra Cronon (1993), cuando se refiere a la conclusión unánime de sus estudiantes al finalizar su curso: la Historia Ambiental es un decurso inflexible, lineal y deprimente, en el que el estado del ambiente varía de bueno a malo, sin dejar ninguna esperanza para el futuro.

¿Qué tan útil? – Se pregunta Cronon – resultan las ciencias ambientales cuando los jóvenes que estudian nuestro trabajo encuentran en él una invitación a la desesperación y por consiguiente a la inactividad (Cronon, 1993). Efectivamente, la información que se recibe diariamente sobre la crisis ambiental es abrumadora; los problemas ambientales no parecen tener solución. Este discurso totalizador y fundamentalista del *decadentismo*, se ha convertido en un discurso privilegiado, sostenido por múltiples científicos; sin embargo como argumenta Odum algunas de las afirmaciones realizadas se basan simplemente en que los: “Ecólogos, como muchos otros profesionales, tienen sus artículos de fe, es decir creencias generalizadas y excesivamente simplificadas que no pueden soportar un análisis deductivo” (Odum, 1980: 14). En múltiples foros se anuncia una catastrófica extinción de especies que puede alterar la diversidad biológica del planeta tan profundamente que, a las conocidas tasas de especiación, tardaría millones de

años en recuperarse. La inminente catástrofe rivalizará, se dice, con la ocurrida en el Cretácico (Ehrlich y Ehrlich, 1981). Sin embargo, hasta antes de la aparición de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio realizada entre 2001 y 2005, las razones en que se sustentaban estas afirmaciones eran vagas, incluso los mismos autores de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio afirman, con cautela, que sus evidencias aún no son concluyentes. En primer lugar tenemos el problema de escalas, que ya se ha tratado, una extinción global responde a procesos ecológicos que se suceden sobre áreas correspondientes a miles de km², en tiempos mucho más largos que nuestras más cuidadosas investigaciones, e incluye más organismos que los que podemos contar. Paradójicamente, pocos ecólogos estudian la extinción; menos aun analizan procesos que duren más de dos años, involucren más de un puñado de especies y cubran un área superior a unas cuantas hectáreas. Las escalas temporales, espaciales y organizacionales de la mayoría de los trabajos son tales, que uno puede leer volúmenes enteros de revistas especializadas, sin encontrar indicios de la inminente catástrofe. Si los estudios de los ecólogos son de pequeña escala, sus especulaciones no lo son (Pimm, 1991).

Pese a todo, aún existen razones para el optimismo (Toledo, 1998), en gran parte del Mundo, diversos grupos, han continuado desarrollando una profunda y honesta reflexión sobre estos temas. Sus resultados los han llevado lejos de la corriente dominante de pensamiento, hasta la conclusión de que es necesario construir un

nuevo paradigma de la **sostenibilidad**, versión alternativa e incluso antagónica, a la de **desarrollo sostenible**.

Una diferencia sustancial entre los partidarios de la **sostenibilidad** y los del **desarrollo sostenible**, es que los segundos aceptan la posibilidad de sustituir los recursos naturales finitos mediante: la inversión en capital reproducible, tal como la maquinaria (Burket, 2006), y el avance tecnológico; o dicho en otros términos, la posibilidad de resolver el problema de la destrucción del **capital natural** por medio del crecimiento económico. A decir de la Comisión en la materia de las Naciones Unidas:

“El desarrollo sostenible es una aproximación integrada a la toma de decisiones y elaboración de políticas, en la que la protección ambiental y el crecimiento económico de largo plazo no son incompatibles, sino complementarios, y más allá, mutuamente dependientes: solucionar problemas ambientales requiere recursos que sólo el crecimiento económico puede proveer, mientras que el crecimiento económico no será posible si la salud humana y los recursos naturales se dañan por el deterioro ambiental" (Nieto Caraveo, 1999).

En cambio, los adeptos de la **sostenibilidad** concluyen que el crecimiento económico indefinido no es sostenible en un planeta finito, consideran que existe un acervo de unidades funcionales naturales, denominadas **capital natural**, que producen un flujo de valiosos recursos y servicios (Costanza y Daly, 1992) y que este acervo no es sustituible con inversiones en bienes de capital ni mediante el

avance tecnológico. También postulan, que los problemas ambientales no se deben a la escasez de recursos, que sólo el crecimiento económico puede proveer; sino que encuentran su origen en un modo de producción basado en la acumulación de ganancias y en la injusta distribución de la riqueza y el poder. En resumen, el objetivo del **desarrollo sostenible** es construir un capitalismo sostenible que preserve las actuales relaciones de producción; mientras que el objetivo de la **sostenibilidad** es mejorar la calidad de vida de los seres humanos en condiciones que garanticen la equidad social y la integridad funcional de la biosfera. Claro, como el sol de mediodía, que las diferencias van mucho más allá de la aceptación de límites biofísicos al crecimiento económico.

Es posible que otra diferencia fundamental entre los partidarios de la **sostenibilidad**; y los defensores del **desarrollo sostenible**, débil, fuerte o ausente; sea que para los últimos, los ecosistemas existen sólo como una difusa escenografía de la Historia, en la que el mercado es al mismo tiempo: autor, director, escenógrafo y actor. A partir de este patrón de pensamiento los economistas de esta especie, han construido una ciencia económica basada en la epistemología reduccionista denominada, mecanicismo (Prigogine y Stengers, 1984), o iatromecánica (Ávalos Lozano *et al.*, 2007), que pretende la explicación del funcionamiento de los sistemas abiertos con base en la aplicación de los métodos, leyes y principios de la física clásica.

La idea central de esta escuela de pensamiento fue formulada por Adam Smith, en la Riqueza de las Naciones (Smith, 2002):

“Cualquier individuo (...) [que] viene a esforzarse (...) sólo [pensando] en su ganancia propia (...) es conducido como por una mano invisible, a promover un fin que nunca tuvo parte en su intención (...) siguiendo (...) cada particular por un camino justo y bien dirigido, las miras de su interés propio promueven el del común con más eficacia, a veces, que cuando de intento piensa fomentarlo directamente”.

Smith (2002) argumentó que los individuos prefieren invertir en su país para evitar gastos y vigilar de cerca sus intereses y dado que la renta de una nación es la producción sumada de todas sus industrias; el industrial que se esfuerza en que su producto sea el mayor posible, pensando en su ganancia propia, viene a esforzarse, sin intentarlo directamente, en aumentar al máximo la renta de la sociedad en común.

La Economía Neoclásica, formulada a fines del siglo XVIII, desestimó por completo, durante doscientos años, a los paisajes. Considerando que éstos eran externalidades irrelevantes; lo que no resulta sorprendente, dada la abundancia de recursos que éstos presentaron en el período, fuentes pletóricas de materias primas y energía barata, sumideros para disponer los residuos y una población humana en crecimiento. Gracias a estas condiciones, el modelo capitalista, dependiente del crecimiento de la producción y el consumo, funcionó un tiempo. Pero todo proceso encierra en sí mismo el germen de su propia destrucción, y la propia lógica perversa del capitalismo exacerbó sus contradicciones internas hasta corromper a toda la Sociedad. Mientras la producción precapitalista de **valores de**

uso tiene su límite en la satisfacción de las necesidades humanas, el modo de producción capitalista de **valores de cambio** no tiene límite, pues su función es incrementar en forma desmedida la ganancia, este modelo económico fue conocido desde la antigüedad (Aristóteles lo denominó crematística); pero no se convirtió en el modelo dominante, sino hasta la revolución industrial, debido al aprovechamiento de los combustibles fósiles y al capital acumulado por la inversión de las incontables riquezas extraídas de las colonias americanas, sin ellos – apunta Zaid (2001) – la concentración física de la producción y el desarrollo científico y tecnológico, no hubieran llegado tan lejos. En los últimos 200 años se ha consumido más energía que en toda la historia humana. El crecimiento económico que durante el siglo XX, multiplicó la producción industrial 40 veces; provocó, en el mismo periodo, el incremento de la población humana multiplicada por un factor de cuatro (Arrow *et al.*, 2004).

Iniciando la década de los setentas, la realidad se hizo presente: una crisis económica mundial, estimulada por el aumento de los precios del petróleo, combinada con una crisis ambiental global, provocada por la disposición incontrolada de residuos y el consumo disipativo de diversas sustancias peligrosas; provocaron la aparición de un creciente interés de la sociedad sobre la existencia de límites al crecimiento. En particular, se destacó el influyente informe realizado para el Club de Roma por el M.I.T., bajo la dirección de Denis Meadows, denominado “Los Límites del Crecimiento”, que escandalizó al mundo con sus conclusiones:

“Si las actuales tendencias de crecimiento en la población mundial, industrialización, contaminación, producción de alimentos y explotación de recursos continúan sin modificaciones, los límites del crecimiento en nuestro planeta se alcanzarán en algún momento dentro de los próximos cien años. El resultado más probable será una declinación súbita e incontrolable tanto de la población como de la capacidad industrial” (Meadows *et al.*, 1993: 1).

Lo más asombroso de “Los Límites del Crecimiento” – según Ernest García (2007) – “Es que las cosas han ido muy cercanas a la proyección tendencial simple (...) sorprenden más los aciertos de la proyección que sus desviaciones”. Pero la capacidad del grupo del M.I.T., para construir modelos no debe sorprender, sus recursos y pericias siempre han sido suficientes para atender estas tareas. Lo verdaderamente sorprendente es la ausencia de respuestas sociales ante advertencias tan ominosas, que desgraciadamente se han venido confirmando; y como podría ser de otra forma, cuando cualquier reflexión profunda lleva a soluciones que radicalmente afectan los intereses de grupos, tan poderosos, que han logrado poner una correa a la mano invisible, evitando que “promueva el bien común”; pues, como anota Zaid (2001), el capitalismo no es el mercado, sino el control del mercado por un pequeño grupo de grandes familias. La estrategia de los economistas neoclásicos, a cargo, fue restar importancia a los hechos, reduciendo la realidad compleja a simples modelos matemáticos, con los que se pretende demostrar que basta incorporar el **capital natural** (acervo de elementos

naturales que producen un flujo de valiosos recursos y servicios), a las funciones agregadas de producción, que anteriormente sólo incluían al **capital manufacturado** (el acervo de elementos manufacturados que producen bienes y servicios) y al trabajo humano (Burket, 2006); para permitir a la economía mantener crecientes niveles de consumo. Usando este marco conceptual Solow argumentó que los niveles de consumo de los países ricos podrían mantenerse en el futuro, invirtiendo una porción de las utilidades en **capital manufacturado**, en la medida en que éste puede ser utilizado para sustituir a los recursos naturales. Harwick (citado por Burket, 2006) utilizando las ideas de Solow, postuló que la inversión en bienes de capital (maquinaria) de las utilidades obtenidas por el consumo de los recursos no renovables; resolvería el problema ético del **desarrollo sostenible**, pues la acumulación de **capital humano** y **manufacturado**, junto al cambio tecnológico, compensarían la disminución de recursos naturales (Arrow *et al.*, 2004); debido a que la regla de Harwick sólo requiere que la *capacidad general de producción sea mantenida*, sin importar ningún recurso; la teoría se llamó **desarrollo sostenible débil**. La consecuencia última de esta línea de pensamiento fue formulada por Solow: Siendo fácil substituir los recursos naturales con otros factores de la producción, entonces en principio no existe problema. La Sociedad puede continuar sin recursos naturales, su agotamiento no es una catástrofe, con algún costo, la producción puede ser liberada completamente de su dependencia a los recursos no renovables (Burket, 2006).

En la misma línea Arrow *et al.* (2004) han reformulado la vieja tesis del **desarrollo sostenible débil**: consideran a éste como la ausencia de disminución temporal del bienestar social intertemporal (V), tal que, al tiempo (t) $\frac{dV_t}{dt} \geq 0$.

Los autores concluyen que una manera de evaluar el avance en el **desarrollo sostenible** consiste en determinar el cambio neto en los activos de **capital** constituidos por: el **capital manufacturado**, el **capital humano** y el **capital natural**. El cambio neto denominado **inversión genuina** se calcula restando a la inversión social realizada en **capital manufacturado** y **capital humano** el costo de los recursos no renovables consumidos más el costo de los daños provocados al ambiente (aunque no aclaran como consiguieron esto último). Si el valor de la **inversión genuina** es positivo, se incrementa el **bienestar social genuino** y por consiguiente el **desarrollo sostenible**. Aplicando el modelo encontraron que en China y Estados Unidos se está incrementando el desarrollo sostenible. Kirk Hamilton del departamento ambiental del Banco Mundial declaró, que el argumento reforzaba sus propios hallazgos: “Nuestros clientes necesitan consumir más, no menos (...) la implicación última es que los países ricos se encuentran en una vía sostenible y los pobres no” (Christensen, 2005).

La estructura formal de los enunciados incluidos en *Are We Consuming Too Much?* Es impecable, casi mueve a elevar su discurso al rango de verdad incontrovertible. Además, la formulación cuantitativa de sus argumentos contribuye, en forma no despreciable, a aumentar el prestigio del trabajo entre los profanos. Sin embargo, La regla esencial de todo sistema científico empírico es

que debe poder ser refutado por la experiencia (Popper, 2004). Por otro lado, Las ecuaciones son modelos útiles, sí y solo si, se relacionan con la comprobación de las hipótesis; pero la comprobación o refutación, vienen primero y en los hechos ésta es más fuerte cuando es absolutamente convincente sin mediciones cuantitativas (Platt, 1964). La crítica fundamental que puede hacerse a este modelo es que es un **intento de adaptar la realidad material a una teoría abstracta** (Burket, 2006).

Consideremos la siguiente aseveración de Hartwick, la acumulación de capital total (manufacturado más natural) es cero, en todo el tiempo. Es decir el crecimiento en el **capital manufacturado** solo puede hacerse a costa del **capital natural** (Burket, 2006). Arrow *et al.* (2004) establecen, por su lado, que el requerimiento de que la base productiva sea mantenida no implica mantener ningún particular conjunto de recursos en cierto tiempo dado. Si algunos recursos, por ejemplo, ciertos minerales son agotados en una trayectoria de consumo, el criterio de sostenibilidad podría ser satisfecho, si otros bienes de capital fueran acumulados en forma suficiente para sustituir la declinación de los minerales.

Tristemente las inferencias lógicas anteriores son incorrectas pues descansan en premisas inagotablemente falaces, aún utilizando los modelos neoclásicos.

La primera inferencia falsa es que resulta posible cambiar el **capital natural** por el **capital manufacturado** y **humano**. Este discurso se sustenta en la incorrecta separación de los recursos naturales en dos categorías: no renovables y renovables. Efectivamente existen cierto tipo de recursos que no son renovados

en términos prácticos por la biosfera, como el petróleo y los minerales. Es fácil, por otro lado, equiparar estos bienes con materiales concentrados en un almacén con existencias limitadas, también es cierto que este tipo de recursos han sido sustituidos con éxito, en forma parcial, como el cobre por la fibra óptica, o el petróleo por energía solar, muchos de ellos incluso se reciclan. Pero considerar que estos materiales constituyen el **capital natural, es decir el acervo de sistemas responsables de la producción de recursos y servicios ecológicos**, equivale a confundir los huevos con la gallina. El **capital natural**, constituido por los ecosistemas articulados en paisajes y los paisajes articulados en biomas, es indispensable. Como anota Sarukhán (1998), la humanidad está muy lejos de poder controlar, dominar y utilizar directamente la energía solar para satisfacer sus necesidades. Por lo tanto, seguirá dependiendo de los ecosistemas del planeta. Todas las actividades humanas dependen de los atributos ecológicos, que son variables de índole muy diversa, e incluso de diferente jerarquía, los de menor rango se refieren a los bienes y servicios ambientales proporcionados por los ecosistemas (agua, suelo, madera, fijación de CO₂, producción de O₂, depuración del agua); los de clase superior son el acervo de elementos naturales (procesos y estructuras) de los que depende el funcionamiento de los ecosistemas y la producción de bienes y servicios ambientales; estos últimos son definitivamente insustituibles por capital manufacturado, pues ni siquiera entendemos completamente su funcionamiento. En otras palabras, podríamos sustituir de manera imperfecta algunos recursos pero no los sistemas que los producen.

El hecho de que los servicios ambientales realizados por los ecosistemas se consideren recursos renovables e ilimitados, ha provocado que nunca hayan sido considerados en las cuentas de los economistas neoclásicos. Esta percepción, incluso, se extiende a los científicos marxistas. Recientemente Foladori (2001) ha señalado que la pregunta ¿existen límites físico-materiales a la producción humana?, es incorrecta, pues el problema no es de límites absolutos sino de ritmo; a su juicio, la correcta formulación de la pregunta es: ¿crece la producción humana a un ritmo que plantea límites de abastecimiento de materiales en un futuro previsible? La idea que subyace a esta formulación es que, aunque los límites existen, se encuentran demasiado alejados para tomarlos en cuenta. Pero tal declaración presenta algunas dificultades.

Empecemos por preguntarnos ¿cuál es realmente la cantidad de energía útil, aprovechable por los seres humanos? Y ¿qué porcentaje de la energía disponible es aprovechada por la Sociedad? Atjay *et al.*, calcularon, en 1979, la producción global neta primaria (NPP), definida como la cantidad de energía fijada por los organismos autótrofos, a partir de diferentes fuentes, principalmente la radiación solar, después de sustraer el gasto energético producido por la respiración de los productores, expresada en petagramos (pg) de materia orgánica” (un petagramo equivale a 10^{15} g). A escala global las áreas terrestres producen anualmente 132,1 pg de materia orgánica, mientras los ecosistemas acuáticos, en el mismo periodo, generan 92,4 pg; en total la NPP de la tierra se eleva aproximadamente a 224,5 pg de materia orgánica (Vitousek *et al.*, 1986). Utilizando estos datos Vitousek *et al.*

(1986), calcularon, en 1986, la fracción terrestre de la NPP utilizada por los seres humanos (HTNPP), de acuerdo a tres diferentes estimaciones.

a) Estimación baja.- los seres humanos utilizan 7,2 pg de materia orgánica anualmente, aproximadamente el 3% de la NPP de la biosfera.

b) Estimación intermedia.- los humanos utilizan 42,6 pg de materia orgánica anualmente. Equivalentes al 19% del total de la producción primaria neta – 30.7% de la producida por los ecosistemas terrestres y 2,2% de la producida por los ecosistemas acuáticos.

c) Estimación alta.- los humanos utilizan 60,1 pg de materia orgánica anualmente. Equivalentes al 24,8% del total de la producción primaria neta – 38,8% de la producida por los ecosistemas terrestres y 2,2% de la producida por los ecosistemas acuático.

Utilizando nuevos datos recolectados a escala global, analizándolos con técnicas Monte Carlo para incorporar errores conocidos y estimados, y bajo los parámetros aplicados en la estimación intermedia de Vitousek *et al.* (1986); Rojstaczer *et al.* (2001) estimaron que la HTNPP se situaba entre el 10 y el 55% de los productos fotosintéticos terrestres.

Imhooff *et al.* (2004) determinaron los patrones espaciales de *producción primaria neta* y de HTNPP, que no habían sido estudiados, debido a que las estimaciones anteriores se basaron en promedios globales, los resultados globales de HTNPP obtenidos se acercan a 43,8 pg de materia orgánica, muy similares a los de la estimación intermedia de Vitousek *et al.* Los autores calcularon que a escala

global las áreas terrestres producen anualmente 119,6 pg de materia orgánica, datos similares a los de Atjay *et al.*, y los seres humanos consumen el 20% (14-26%) de la NPP terrestre, estos resultados se basan, como los de Rojstaczer *et al.*, en la estimación intermedia de Vitousek *et al.*, aunque estos últimos autores afirman que la estimación alta es la que más se acerca a la realidad. Algunas regiones como Europa Occidental, China e India utilizan más del 70% de su TNPP y el promedio anual per cápita de HTNPP en los países ricos es de 3,2 t, contra 1,8 t en los países pobres. Vitousek, *et al.* (1986), argumentan que tal concentración equivalente de recursos en una especie que, según Imhooff *et al.* (2004), representa el 0,5% de la biomasa total de heterótrofos, no se había presentado en el Mundo, probablemente, desde la primera diversificación de las plantas terrestres.

El **capital natural** es un sistema integrado por elementos tangibles e intangibles, que producen flujos de bienes y servicios indispensables para el funcionamiento de la biosfera, aún cuando la sustitución de **capital natural** por **capital manufacturado** y **humano** fuera posible (que no lo es), la posibilidad de construir maquinaria capaz de proporcionarnos los bienes y servicios que producen los paisajes es remota, no sólo porque no entendemos cómo funciona los paisajes, pues el conocimiento podría alcanzarse, sino simplemente por los costos que implica su sustitución. Costanza *et al.* (1997) realizaron la estimación mínima del valor actual de diecisiete servicios ambientales realizados por la biosfera en su conjunto, el monto estimado se encuentra entre 16 y 54 (10^{12}) billones de dólares

por año, con un promedio de 33 billones de dólares, mientras el Producto Global Bruto Mundial fue en 1997 de 18 billones de dólares. Esta es una razón adicional del porque el **capital natural** no puede ser sustituido por el **manufacturado**, sus servicios son demasiado valiosos.

La respuesta de la economía neoclásica a la **crisis ambiental** fue trivializar y minimizar los límites naturales, pero incluso los economistas neoclásicos más ortodoxos matizan sus opiniones, Arrow *et al.* (2004) aceptan que si **los recursos no renovables** son suficientemente importantes para la producción y el consumo entonces es concebible que ningún programa de **desarrollo sostenible** pueda funcionar bajo el modelo que ellos proponen. Solow, por su parte ha establecido que la política de invertir los excedentes en capital reproducible sugiere **que algún acervo definido debe ser mantenido intacto y el consumo debe ser circunscribirse al interés generado por ese acervo** (Burket, 2006).

Pero, los límites del crecimiento no son nuestro problema fundamental. La existencia de límites a la producción de mercancías; o el hecho de que la producción humana crezca a un ritmo que planteé límites de abastecimiento de materiales en un futuro previsible, resultan intrascendentes, cuando consideramos las perturbaciones provocadas en los ecosistemas. La pregunta realmente pertinente es ¿pueden los ecosistemas mantener su integridad funcional bajo el régimen de disturbio al que se encuentran sometidos? Aunque encontramos indicios que apuntan a que la respuesta es... no, la realidad es que no lo sabemos. Si los ecosistemas que conforman la biosfera se colapsan, entonces

todos los recursos se convertirán en **no renovables**, y la menor de nuestras preocupaciones será el crecimiento económico.

Los resultados de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio realizada entre 2001 y 2005 son desoladores:

El 60% (15 de 24) servicios prestados por los ecosistemas se están degradando, incluyendo la disponibilidad de agua potable, las pesquerías, la purificación de aire y agua, la regulación global y regional del clima. Existen evidencias, **aún no concluyentes**, de que los cambios realizados en los ecosistemas están incrementando la probabilidad de que se presenten cambios no lineales en la dinámica de los paisajes (incluyendo: cambios acelerados, abruptos e irreversibles). Actualmente los cultivos cubren el 25% de la superficie terrestre, la cantidad de agua embalsada en presas se ha cuadruplicado desde 1960 y se ha duplicado la toma de agua de ríos y lagos en el mismo periodo. En la segunda mitad del siglo XX se perdieron el 20% de los arrecifes de coral, 20% se encuentran actualmente amenazados y se ha perdido el 35% de los manglares (Anonimo 2005.). En el periodo comprendido entre 1950-2000: la mitad de los catorce biomas evaluados han experimentado cambios de uso de suelo en sus territorios en porcentajes que van del 20 al 50%; en la mayoría de los grupos taxonómicos las poblaciones disminuyen, con excepción de los organismos que constituyen la cohorte de la sociedad humana y aquellos que tienen un estatuto de protección; el 12% de las especies de aves; el 23% de las de mamíferos; el 25% de las coníferas y el 32% de los anfibios se encuentran en peligro de extinción.

Como un desagradable y peligroso subproducto de la Revolución Verde en los últimos cuarenta años la diversidad genética de los organismos domesticados se ha derrumbado (Anónimo, 2005b).

Otros problemas que podrían amenazar al **capital natural** son los siguientes: los ciclos biogeoquímicos básicos han sido alterados por la intervención humana; la tasa de movilización de nutrientes atribuible a las actividades industriales para el caso del carbono, fósforo y azufre excede los flujos naturales por un margen considerable, y lo mismo aplica para la mayoría de los metales pesados (Ayres y Simonis, 1994). La pérdida de la capacidad productiva del suelo ha alcanzado tasas tan altas que, a juicio de varios expertos, amenaza incluso la existencia de la sociedad; pues durante los últimos cuarenta años una tercera parte de la superficie cultivable del mundo se ha perdido por erosión, y continúa perdiéndose a una tasa de más de 10 millones de hectáreas por año (Pimentel *et al.*, 1995). Diversas mezclas de sustancias químicas tóxicas se encuentran, a nivel planetario, incorporadas en las redes tróficas de los ecosistemas. Estos compuestos han dañado a las poblaciones de vida silvestre y tienen el potencial de provocar daños a la salud humana. Por ejemplo, en Los Grandes Lagos 362 compuestos químicos sintéticos han sido identificados en el agua, sedimentos y cadenas tróficas; se estima que existen más de 700 sustancias químicas orgánicas xenobióticas en el tejido adiposo de la población de los Estados Unidos; y al menos 188 pesticidas organoclorados, disolventes, bioproductos y metabolitos han sido identificados en la sangre, leche, semen, orina y/o el aliento de la

población de los Estados Unidos y el Canadá, en personas que no habitan sitios industriales ni presentan exposición local a estas sustancias (Thornton, 2000).

A pesar de toda la información disponible, los problemas son tan complejos que es posible afirmar que desconocemos lo que está sucediendo. En estas condiciones el principio precautorio es nuestra única herramienta, como Aldo Leopold ha señalado la primera regla de la manipulación inteligente es conservar todas las piezas; principalmente, cuando no conocemos como funciona el sistema, y, por consiguiente, ignoramos las consecuencias de los cambios. Pero a pesar de la situación, en todo el mundo, fuera del ámbito meramente declarativo las políticas destructivas de manejo de los ecosistemas se mantienen, en forma inflexible, sin cumplir siquiera los acuerdos y recomendaciones realizadas por los partidarios del **desarrollo sostenible débil**. Resulta absurdo pensar que un ser humano podría estar interesado en destruir el acervo insustituible del que depende su vida, pero las relaciones de producción y la búsqueda de ganancia han cegado a las instituciones humanas. En una nueva versión de la Tragedia de los Comunes (Hardin, 1968) el capitalismo ha alcanzado su máximo nivel de iniquidad al socializar los costos provocados por la alteración o destrucción del **capital natural** debido a las actividades industriales, mientras privatiza los beneficios. Si los industriales fueran obligados a incluir en sus costos el efecto deletéreo provocado por el consumo disipativo de sus productos en los ecosistemas; que en el caso de las industrias de metales pesados (Ayres y Ayres, 1994) y petroquímica contribuyen casi con el 100% de la aportación de contaminantes, la industria se

colapsaría (Commoner, 2001) arrastrando al sistema económico. Las obvias limitaciones del **desarrollo sostenible débil**, establecidas, en palabras de Engels (2006), por la fuerza coercitiva de los propios descubrimientos de las ciencias; llevaron a los economistas neoclásicos más liberales a construir el **desarrollo sostenible fuerte**, que reconocía la necesidad de identificar porciones del **capital natural**, denominadas **críticas**, que debían ser preservadas, pues eran **insustituibles**, estableciendo adicionalmente otras categorías como **capital natural constante** y **capital natural intercambiable** (Roberts, 2004). Esta nueva visión representó un avance alentador, que desgraciadamente, mantenía puntos de contacto con el **desarrollo sostenible débil**. Por ejemplo, la visión de Solow (Burket, 2006) de que el mundo puede continuar sin recursos naturales, sigue aplicando a cierto tipo de capital natural no-crítico, lo cual es preocupante, si se consideran las dificultades para decidir que porción del **capital natural** es **crítica**. Bajo el actual nivel de conocimientos sobre el funcionamiento de los paisajes ¿Quién tomará estas decisiones y bajo qué criterios?

Cómo se ha demostrado, la idea de desarrollo sostenible, en cualquiera de sus vertientes, es básicamente inadecuada para impulsar la transición hacia una nueva economía¹⁰. Ha llegado el momento de construir nuevas herramientas conceptuales que permitan establecer vías de transición hacia formas de intercambio orgánico entre la Sociedad y la Naturaleza más racionales, de forma

¹⁰ Sistema de extracción, transformación y distribución de los bienes generados, a partir de los recursos y servicios proporcionados por el **capital natural**, caracterizado por un tipo particular de relaciones de producción.

tal, que se garantice la preservación de todos los elementos del paisaje, manteniendo, al mismo tiempo, su integridad funcional. Pero en este punto, es preciso reconocer la extremada dificultad que representa construir una nueva cosmovisión. La **sostenibilidad** es, en principio, una **visión**, es decir, una manifestación de intención de lo que la Sociedad aspira a ser en el futuro. Por tanto, resulta injusto exigirle precisión a una idea que se diseña para permitir su aplicación en múltiples escenarios. Pero la implantación de esta **visión** requiere de objetivos, metas, estrategias, que en todos los casos, aún se encuentran en proceso de construcción, y que exigen robustos procedimientos operativos y la solución previa de un conjunto de problemas de carácter metodológico, hasta ahora insalvables. Adelante se presentan un conjunto de razonamientos de los que se deriva el Marco Conceptual de la presente tesis. Se considera que su aplicación podría contribuir, con algunos elementos prácticos, a la construcción del metaparadigma de la sostenibilidad.

- 1) El primer problema, claramente manifiesto, es que las evaluaciones de la condición de los ecosistemas, realizadas a la fecha, son de carácter global y por lo tanto de baja resolución, lo que impide obtener conclusiones útiles para construir programas de intervención a escala local, pues no incorporan variables esenciales para comprender estos fenómenos. Factores muy relevantes a gran escala como: el clima regional, la geomorfología, la edafología, los usos de la tierra son soslayados. La heterogénea distribución espacial de estos forzantes provoca que los

regímenes de disturbio se manifiesten en formas diversas en diferentes regiones. Esta variabilidad característica de nuestro planeta, que aumenta con la resolución, resulta un obstáculo formidable para el manejo sostenible de los ecosistemas. El paso previo al diseño de un programa de esta índole, es la consideración de las escalas temporales y espaciales sobre las que el concepto puede aplicar. Parafraseando a Sauer (1925) el establecimiento de una **estrategia general de sostenibilidad** aplicable a toda la Tierra es imposible de realizar. Las **estrategias de sostenibilidad** sólo pueden ser exitosas aplicándose en el ámbito particular de cada paisaje. Es, por tanto, fundamental, al identificar los elementos que deben integrar la **Planeación Sostenible**, considerar la variante expresión de los ecosistemas en las diferentes partes de la superficie de la tierra; y preferir las ventajas que nos da el conocimiento sintético de un paisaje o unidad funcional de extensión limitada, sobre la ciencia general de la tierra. Como ha señalado W. Cronon (1990) es más útil poseer un conjunto de herramientas que permitan identificar, en una situación histórica específica, las relaciones más importantes entre una comunidad y su territorio. Iniciando en un nivel general de indagación de tipo inductivo, que analizar la biosfera como un todo. Un aspecto extremadamente importante de la aplicación **local** de las **estrategias de sostenibilidad** es que admite una **construcción participativa**, que hasta ahora no se ha conseguido en proyectos de menor resolución; permite, además, la recuperación de conocimientos tradicionales, tales como: modos de producción, que han

coevolucionado con los paisajes, demostrando su efectividad al operar sosteniblemente por largos periodos de tiempo; o experiencias de los actores locales sobre la dinámica del paisaje ante diversos regímenes de disturbio.

2) Un segundo problema, destacado por Burkett (2006), es la interesante tensión que descansa en el corazón de la sostenibilidad, la cual, como sujeto de estudio es una materia demasiado amplia y compleja para abarcarla, en su totalidad, con nuestras limitadas herramientas de percepción; por lo que su estudio especializado rebasa las posibilidades epistemológicas de cualquier disciplina. Por consiguiente, su comprensión demanda un enfoque posmoderno que debe materializarse en nuevas herramientas teóricas, metodológicas y epistemológicas construidas bajo un amplio pluralismo conceptual y con **metodologías multidisciplinarias**. Ciertamente la complejidad de la **sostenibilidad** resulta abrumadora, y parafraseando a Keats diríamos que el hombre capaz de comprender sus infinitos matices podría destejer un arcoíris. Este complejo concepto se constituye por tres dimensiones inextricables: la dimensión ecológica, la económica y la social correspondientes a los tres grandes subsistemas de la biosfera: el ecológico; el social; y el económico. Estos subsistemas que comparten el mismo origen y funcionan articulados, son producto de procesos de coevolución, que en el transcurso de la historia, han establecido interacciones determinantes, y han conformado la intrincada urdimbre sobre la que se entrelaza la trama global de flujos de circulación

de materiales y energía. Por las razones expresadas, los procedimientos de investigación que dividen artificialmente a los tres subsistemas para su estudio, arrojan siempre conclusiones parciales y equivocadas. Estas tres entidades sólo pueden ser comprendidas en función de su articulación, de la misma forma que el cerebro o el hígado de un organismo no pueden entenderse fuera de su sistema orgánico. Bajo estas consideraciones, no es difícil entender, porque se ha considerado a esta nueva cosmovisión como una especie de **Metaparadigma** (Burket, 2006) y porque se ha manifestado que la aproximación válida a los problemas ambientales es la multidisciplinaria.

- 3) Un tercer problema de la **sostenibilidad** es que es una idea elástica e imprecisa, que no se ha convertido aún en un concepto operativo. Sin embargo, se piensa que este inconveniente puede ser resuelto asociando la **sostenibilidad** a un ámbito espacial definido, y materializando el concepto como una característica particular del territorio. La materialización de la idea puede realizarse afinando el concepto de la **sostenibilidad**, mediante la incorporación de los dos atributos ecológicos esenciales de los ecosistemas y paisajes. Al incorporar el atributo **integridad funcional y estructural**; la definición de la sostenibilidad queda de la forma siguiente: **Un sistema es sostenible si mantiene su integridad funcional y estructural por un tiempo especificado (no infinito)** (Costanza *et al.*, 2000). Bajo la anterior definición se considera que la condición esencial de la **sostenibilidad** es el mantenimiento de la **integridad funcional** de los

sistemas ecológicos que conforman el **capital natural**, por esta razón, el estudio y la comprensión de los procesos funcionales de los ecosistemas y paisajes se han convertido en un asunto esencial, del que depende el futuro de las comunidades humanas. Los intentos para evaluar la condición de degradación de los ecosistemas forman legión, en la primera mitad del siglo XX, el descubrimiento de las capacidades homeostáticas de los ecosistemas, llevó a la comunidad científica a construir falsas expectativas sobre las capacidades de autorregulación de la biosfera. Esta confianza se reflejó en los modelos conceptuales utilizados en los programas de conservación y manejo de ecosistemas, llamados **ecológicos sucesionales**, que explicaban cómo y por qué los ecosistemas cambian en el tiempo y cómo los afectan los diferentes tipos de disturbio; de acuerdo a estas hipótesis algunos factores podrían empujar a las comunidades vegetales fuera del estado maduro y estable denominado **clímax**, pero se asumía que el ecosistema se recuperaría, una vez eliminada la variable que produce el disturbio. Desgraciadamente, la realidad tiene sus propias reglas, y nuevos descubrimientos han establecido que los ecosistemas presentan **dinámicas de no-retorno, de respuesta no-lineal** y de **umbral**. En otras palabras, un ecosistema alterado podría no recuperar su estructura histórica en décadas, siglos o nunca debido, por ejemplo, a cambios en la humedad, pH del suelo y composición y estructura de la comunidad microbiana, inducidos por modificaciones en la composición y estructura de la comunidad vegetal,

ignoramos casi todo sobre las sutiles interacciones que se presentan en la rizósfera. El balance termodinámico que se manifiesta en cualquiera de los niveles superiores de la jerarquía ecológica, se presenta en una forma o estado **multiestable**, no estático, es decir, el fenómeno puede adquirir diferentes valores, incluidos en un espacio de **amplitud** característica (la **amplitud** es la distancia a la que se puede alejar un sistema de un valor de tendencia central, sin destruir su estabilidad). Es decir, el sistema oscila constantemente con una **amplitud** que depende de dos propiedades: la **inercia** o **resistencia** a una perturbación y la **resiliencia** o **elasticidad**, que es la capacidad de un sistema abierto para regresar al **estado multiestable** después de una perturbación; cuando la perturbación rebasa un **umbral**, el sistema se transforma, arribando a un nuevo **estado estable**, con diferente funcionamiento, composición y estructura; el nuevo **estado estable** depende del régimen de disturbio y de la condición inicial del sistema; existen algunos umbrales, como la pérdida del suelo en un ecosistema, que cuando se traspasan provocan el colapso y desaparición del sistema (Bestelmeyer *et al.*, 2004). Este principio es la base de los modelos de **estado-y-transición**. La construcción de indicadores e índices de la salud funcional de los ecosistemas se realiza, actualmente, utilizando dos nuevas y poderosas herramientas: la modelación de ecuaciones estructurales; y los indicadores de la integridad funcional y estructural de los paisajes. Ambas herramientas pueden funcionar gracias a los datos proporcionados por investigaciones ecológicas y paleoecológicas sobre: el

tipo, composición y estructura actual de los ecosistemas; sobre sus articulaciones en los paisajes organizados en unidades funcionales (cuencas hidrográficas); sobre su historia y, a partir de ella, sobre las relaciones de la composición y estructura del paisaje con sus fuerzas conformadoras. El estudio ecológico y paleoecológico para resultar útil debe enfocarse en dar respuestas simples a un conjunto de preguntas clave (Maass y Cotler, 2007): ¿Cuáles son los procesos puntuales y transferencias laterales que mantienen la integridad funcional de los paisajes?, ¿es posible reconstruir las diferentes etapas serales del paisaje para utilizarlas como data de referencia para el manejo sostenible del paisaje?, ¿cuál ha sido la dinámica histórica de los paisajes y cuáles factores ecológicos que la impulsan?, ¿cuál es la historia de su manejo?, ¿cómo han evolucionado los sistemas de producción en la unidad paisajística y por qué?

- 4) El segundo atributo ecológico esencial de los ecosistemas y paisajes es la complejidad. Nuestro planeta es heterogéneo y sus condiciones son fluctuantes; bajo estas circunstancias, los sistemas vivos tienden a diversificarse, adaptándose para ocupar todos los nichos posibles, con el fin de aprovechar todas las fuentes de energía libre y sumideros disponibles de entropía; es decir, los sistemas ecológicos tienden a la mayor complejidad posible. Tras la ocupación de todos los nichos se construye una red compleja de flujos que permiten la circulación óptima y ordenada de materiales y energía y por consiguiente la disminución de la

entropía y el aumento en la estabilidad del sistema, aunque no necesariamente el aumento de su eficiencia energética; estos flujos van más allá de las redes alimentarias y constituyen los ciclos biogeoquímicos. Según Oriens (1980) la **estabilidad** en los ecosistemas naturales parece estar asociada con la **biodiversidad**, en particular, la **inercia** o **resistencia** de un ecosistema depende de la heterogeneidad espacial y la consiguiente multiplicidad de trayectorias de los flujos energéticos. Sin embargo, la complejidad de los ecosistemas tiene límites, no existen ecosistemas en los que la **equidad** alcance su valor máximo (condición en que la importancia relativa de las especies presentes sea la misma); siempre existen especies dominantes, lo que puede explicarse considerando las diferencias competitivas entre los organismos y entre las poblaciones, la **exclusión competitiva** y las diferentes **densidades de la eficacia ecológica** que se presentan en los hipervolumenes n dimensionales que constituyen los diferentes nichos (Pianka, 1982). Lo anterior no significa que los ecosistemas **que naturalmente** presentan **mayor diversidad**, como la selva alta perennifolia, sean más estables, en condiciones de disturbio, que aquellos que naturalmente presentan menos diversidad, como los matorrales micrófilos. En los hechos, realmente sucede al revés, pues los sistemas de mayor complejidad requieren condiciones de mayor estabilidad ambiental, por lo anterior, los ecosistemas más complejos son más vulnerables a las perturbaciones que los ecosistemas simples (May, 1980) (la selva alta perennifolia es más vulnerable al disturbio que el

matorral micrófilo). La relación de dependencia entre la **complejidad**, en el sentido de más especies y una estructura de interdependencia más rica; y la **estabilidad**; **sólo es aplicable a cada paisaje o ecosistema en particular**; es decir, en general, todos los ecosistemas tienden a evolucionar a la condición de mayor biodiversidad posible y a la estructura de interdependencia (red compleja de flujos) más rica, de acuerdo a sus condiciones particulares; en esta condición disminuyen su entropía al mínimo y aumentan su estabilidad. Cuando la biodiversidad o la estructura de interdependencia se degradan, el ecosistema pierde capacidad homeostática y su fragilidad aumenta. La simplificación de la complejidad multidimensional en un ecosistema mantiene una relación inversa con la estabilidad y por consiguiente con la **sostenibilidad**; la simplificación de los ecosistemas y paisajes actualmente es evaluada mediante los métodos de la Ecología de Comunidades; la Geometría Fractal; y nuevos índices contruidos para determinar la pérdida de dimensiones culturales en una comunidad (modos de producción tradicionales, germoplasma, lenguajes, patrones de ocupación espacial).

- 5) Evidentemente las estrategias de transición a la **sostenibilidad** no resultan útiles, si no es posible evaluar sus avances. En el presente estudio se plantea la posibilidad de construir baterías de evaluación de la **sostenibilidad**, basadas en indicadores mensurables de integridad funcional y estructural y complejidad.

1.2 Justificación

La justificación básica de la presente investigación se encuentra en la necesidad de realizar estudios ecológicos y paleoecológicos para facilitar la construcción de un Plan de Manejo para el Sitio Sagrado Natural de *Wirikuta*; en la presente tesis se reconstruyó la Historia Ambiental de la porción sur del Desierto Chihuahuense, en el actual estado de San Luis Potosí, México, en un periodo que se considera clave para explicar la conformación actual de los paisajes del Altiplano Potosino; dado que los resultados deben ser contrastados con información reciente para aumentar su resolución, se identificaron la composición y estructura de las formaciones vegetales (que fueron equiparadas con los ecosistemas), las articulaciones (patrones hidrológicos superficiales) y las unidades paisajísticas y su dinámica ecológica actual. Con base en los resultados obtenidos se intenta demostrar que en un nivel de aplicación local, en paisajes específicos; utilizando una aproximación sistémica, multidisciplinaria, multivariada y participativa, basada en datos obtenidos de la aplicación simultánea de estudios paleoecológicos y ecológicos, es posible aplicar **estrategias de sostenibilidad** y manejo de ecosistemas que produzcan frutos más tangibles en el corto y mediano plazo. La aproximación paleoecológica nos permite la realización de estudios de gran visión imposibles de conseguir con las metodologías tradicionales. Por ejemplo, a partir de un análisis paleoecológico Butzer (2005) estableció que el mundo Mediterráneo ha sostenido modos de producción agrícolas durante ocho mil años, a lo largo de los cuales, el ambiente ha sido repetidamente descrito como

degradado, sin embargo, la conservación de sus atributos ecológicos demuestra que los repetidos anuncios de degradación, se basan en una confusión conceptual entre transformación y destrucción, esta conclusión no podría haber sido formulada sin la aplicación de las metodologías de la Historia Ambiental; resultados similares han sido obtenidos en el presente trabajo.

Los estudios de gran visión son especialmente importantes para el caso que nos ocupa, La vegetación del desierto engaña al observador con un simplista uniformismo¹¹, las observaciones realizadas en cortos periodos de tiempo, y en diversos proyectos de investigación, han sido arbitrariamente utilizadas para modelar procesos que ocurren en los periodos más grandes de tiempo (Miriti, *et al.*, 2007). Dado que las especies leñosas y suculentas, que integran las fitocenosis de las arbustadas desérticas, presentan tasas de cambio poblacional muy lentas, resulta difícil detectarlas, lo que puede producir la falsa impresión de que en estas formaciones no se presentan procesos de sucesión (Flores y Yeaton, 2000). Dos factores contribuyen a generar esta percepción: la gran longevidad de las especies dominantes (Vasek, 1980), unida con una muy baja mortalidad observada de los organismos adultos. Por su importancia, estos factores dirigen la dinámica de la vegetación del desierto. Las oportunidades iniciales para el reclutamiento de plántulas, durante periodos de alta precipitación o cuando las plantas nodrizas facilitan el establecimiento de organismos jóvenes, no permiten

11 Asume que los procesos y las leyes naturales, que operan en la actualidad en los sistemas naturales, han actuado de la misma manera regular, y esencialmente con la misma intensidad a lo largo del tiempo.

cambios de largo término en la composición de la comunidad, debido a que la facilitación de las nodrizas en el establecimiento de plántulas se transforma posteriormente en una terrible competencia. El análisis demográfico de las plantas del desierto demuestra que la tasa de mortalidad disminuye cuando las plantas alcanzan el tamaño reproductivo. Una consecuencia de este hecho es que las trayectorias de la dinámica poblacional son sensibles a los cambios en la persistencia de los adultos. En ausencia de mortalidad entre los adultos, el potencial de los ciclos de reclutamiento de plántulas para cambiar la composición de la comunidad es muy pequeño; debido a la poca importancia de las oscilaciones amplias en el número de plántulas. En las comunidades de plantas desérticas perenes la muerte de organismos adultos es episódica y los eventos formativos que cambian su composición son raramente observados. La longevidad de los organismos, la baja frecuencia de las anomalías climáticas y la escases de estudios complican las observaciones demográficas y su interpretación. Miriti *et al.* (2007) han demostrado que para algunos arbustos como *Ambrosia dumosa*, las proyecciones basadas en diez años de observación son suficientes, porque en ese periodo se capturan procesos sustanciales de sucesión. Pero ese mismo periodo para *Larrea tridentata* (Zygophyllaceae), y la mayoría de las plantas perenes con las que se encuentra asociada, es insuficiente. Si estos autores hubieran realizado inferencias sobre la sucesión de estas comunidades a partir de sus resultados, obtenidos en sus primeros diez años de investigación, entonces tendrían que haber concluido que estas asociaciones viven por milenios. La ilusión de comunidades inmortales desapareció cuando el periodo de estudio se amplió unos

años más, pues una anomalía climática de baja frecuencia causó la muerte episódica del 55 al 100% de los organismos adultos de seis de las siete especies más comunes de plantas perenes, incluyendo a *Larrea tridentata*, que era la más importante. Este evento restableció los procesos de sucesión y subraya la importancia de los eventos climáticos de baja frecuencia (Miriti *et al.*, 2007).

En la presente investigación se considera que la Historia Ambiental puede ayudar a resolver el corazón de las dificultades teóricas de la Ecología y evitar la paradoja, establecida en el Exordio, sobre la diferencia de escalas entre los estudios actuales de la ecología (normalmente de tres a cuatro años) y los problemas ambientales que enfrentamos y que se construyen en el término de décadas o centurias. El análisis histórico de los procesos sin duda permitirá aumentar las herramientas disponibles para la comprensión de los fenómenos ecológicos, haciendo de la Historia Ambiental una herramienta inevitable para resolver los problemas ambientales. Se reconoce, sin embargo, que un estudio paleoclimático simple, no ofrece la resolución necesaria para comprender como las dinámicas de facilitación, competencia, nacimiento, muerte y dispersión que determinan la abundancia relativa de especies, por esta razón se debe realizar un estudio ecológico complementario que analice estos procesos, en las condiciones actuales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

El objetivo fundamental de la presente tesis consistió en la reconstrucción de los procesos de conformación de los paisajes del Altiplano Potosino, en el periodo comprendido entre 1772 y 1827 y en el periodo comprendido entre 1976± 3 y 2000; lo que permitió discernir el impacto del sistema minero-metalúrgico sobre los ecosistemas de Catorce a fines del siglo XVIII e identificar los factores ecológicos determinantes de la dinámica ecológica en el Sitio Sagrado Natural de *Wirikuta*.

1.3.2 Objetivos específicos

El primer objetivo específico fue la ponderación de la influencia del sistema minero-metalúrgico en la composición y dinámica de los paisajes del Distrito Minero de Catorce, lo que implicó la reconstrucción de los flujos tangibles e intangibles que constituyeron el intercambio orgánico entre los reales mineros y los ecosistemas que forman su base de sustentación.

Un segundo objetivo fue la caracterización de otras variables ambientales, en particular las climáticas, que en forma concurrente provocaron la dinámica del paisaje de *Wirikuta*, mediante la realización de un ejercicio de identificación y atribución de los diferentes regímenes de disturbio.

El tercer objetivo específico del presente trabajo fue la caracterización de los patrones geográficos de la Sierra de Catorce y de los agentes que determinaron su formación, en el periodo de estudio.

1.3.3 Objetivo de gran visión

El objetivo de gran visión del estudio fue escribir la historia ambiental de *Wirikuta*, en el siglo XVIII y XIX bajo una visión diferente que extendió sus fronteras más allá de las instituciones humanas – economías, sistemas de clases y géneros, organizaciones políticas, religión y cultura – hasta los ecosistemas que proveen el contexto para las sociedades humanas (Cronon, 2003).

1.4 Hipótesis de trabajo

1. Si bien las actividades minero-metalúrgicas provocaron impactos significativos en el paisaje de *Wirikuta*, se ha sobreestimado su efecto sobre algunos ecosistemas, en el periodo comprendido entre 1772 y 1827; obviando otros factores importantes.
2. La deforestación, la erosión y la alteración del funcionamiento del paisaje de *Wirikuta*, que se presentó, principalmente en la parte norte de la Sierra de Catorce, en el periodo de estudio; no es consecuencia exclusiva de las actividades industriales, se debe también a un periodo de anomalías climáticas (intensas sequías seguidas de violentas precipitaciones), que se presentó a fines del siglo XVIII.
3. Las formaciones de matorrales micrófilos de *Larrea tridentata* (DC.) Cov., y *Flourensia cernua* DC., se encontraban en la vertiente oeste de la Sierra de Catorce (Llanura de San Cristóbal) cuando menos desde el siglo XVI y su invasión sobre los pastizales no fue originada por un aumento en la actividad ganadera, consecuencia de la bonanza minera. Sin embargo, las

asociaciones y consociaciones correspondientes sí han sufrido fuertes modificaciones en su composición, estructura y funcionamiento.

4. En diversas áreas de *Wirikuta* aún existen acumulaciones significativas de sustancias peligrosas asociadas a las actividades minero-metalúrgicas realizadas en el sitio y periodo de estudio.
5. El Metabolismo Industrial del sistema minero-metalúrgico en el Distrito Minero de Catorce (*Wirikuta*), entre 1772 y 1827, presentaban un carácter particular, resultado de la adaptación de los procesos tecnológicos a las condiciones de los paisajes que constituían su base de sustentación (climáticas; derivadas de las características de los minerales procesados; de disponibilidad de insumos; económicas, sociales e institucionales,) que determinaron las razones complejas de su aplicación.

1.5 *Bosquejo histórico del labrado de las minas y beneficio de la plata en México del siglo XV al siglo XIX*

1.5.1 Minería precortesiana

Probert (1987: 25) reconoce que la fecha de inicio de la minería de metales en México es un misterio elusivo. Sin embargo, el descubrimiento de antiguas minas de cinabrio o bermellón en el centro de México proyecta cierta luz en estas oscuridades.

“Al ejecutar...trabajos en la (...) Sierra (de Querétaro) en (...) El Soyatal”, los técnicos [del Consejo de Recursos Naturales no Renovables] detectaron

(...) la existencia de labores mineras ejecutadas antes de la llegada de los españoles” (Langenscheidt *et al.*, 1970; citados por Probert, 1987: 25).

Aparentemente las operaciones mineras se realizaron desde el año 400 a. de C., y hasta 900 d. de C. El hallazgo de ofrendas de jade y huesos de niños, enterrados en cinabrio (HgS) Venator (1897), en el territorio de la Cultura Olmeca, sugiere la utilización de este compuesto en toda Mesoamérica.

León Portilla (1984: 18) apuntó que los antiguos mexicanos trabajaron el oro, cobre, bronce, plata, estaño y plomo. Si el primero se conseguía lavando las arenas de los ríos (placeres), el resto se obtenían con auténticas actividades mineras. Clavijero (2003: 12) menciona: “La plata que tenía allí (...) menor aprecio que en otras naciones se sacaba de las minas de Tlachco (hoy Taxco), de Tzompanco [Zumpango del Río] y otras”, afirma, además, que el arte de las minas y la metalurgia alcanzo tales avances, bajo los reyes aztecas, para permitirles extraer minerales de una gran profundidad y reducir las combinaciones minerales más complicadas. Flores (1920) ha citado al historiador de Michoacán Velasco que afirma que el Mineral más antiguo de México es Tlalpujahuá, y que su plata fue explotada antes de la Conquista, aunque el mismo no le da mucho crédito (Flores, 1920: 10). Sin embargo no todos los expertos se muestran de acuerdo, con la explotación prehispánica de las menas de plata, Duport (1843: 2-3) pensaba que:

“El oro y la plata que se encontraron (...) en gran abundancia entre los mexicanos, provenía principalmente del lavado de las arenas y de la

fundición de minerales recogidos en la superficie del suelo, en los cuales los metales se encontraban casi puros”

Abundan sobre el mismo tema De Lassága y Velázquez de León, en la *Representación que a Nombre de la Minería de esta Nueva España hacen al Rey...* (1774: 4):

“Los primeros (...) criaderos de oro y plata (...) los conocieron nuestros españoles por medio de los naturales, que ya los trabajaban (...) en lo superficial y blando a muy poca profundidad, y aprovechando solo lo muy rico, porque ignoraban el arte de apurar la materia, hasta hacerla rendir todo lo que tenía de precioso”.

Santiago Ramírez, en su Noticia Histórica de la Riqueza Minera de México, se muestra de acuerdo con Duport afirmando que los mexicanos no conocían procedimientos para el beneficio de la plata, su principal argumento (tomado de la obra de Saint Clair Duport, 1843. *De La Production des Métaux Précieux Au Mexique*, es que en México, y en el mundo, la plata es mucho más abundante que el oro, por ejemplo, entre 1874 y 1879, la proporción entre el oro y la plata producida en la República fue de 3:100. En cambio, en los placeres¹² es el oro el que se presenta con frecuencia, mientras la cantidad de plata es despreciable. Es notable, entonces, que en el botín de los conquistadores arrebatado a Moctezuma el oro se encontraba en proporción de la plata con relación 21:5 (1884: 27):

12 ‘Arenal donde la corriente de las aguas depositó partículas de metales preciosos’.

“Puede, pues, asegurarse, (...) que (...) la plata que tuvieron los Aztecas, (...) [la] habían recogido en los placeres, o extraído de muy cortas profundidades, y sin otro tratamiento metalúrgico que el del lavado o una simple calcinación”.

En cambio, los mismos autores aceptan que los naturales conocían otras operaciones metalúrgicas, aun cuando fuera de forma rudimentaria, el mismo Ramírez refiere que conforme a una relación presentada al Virrey, impresa en 1643, ciertos españoles informaron haber hallado en Pachuquilla señales de excavaciones, someras, sin señales de herramientas mineras, y que habían sido explotadas por torrefacción (Ramírez, 1884: 26; Bargalló, 1969: 46; León Portilla, 1984: 20). León Portilla (1984: 24) presenta evidencias de que el cobre era extraído por “torrefacción”¹³; mediante una hoguera avivada por operarios que soplaban por canutos de caña; o según ilustraciones contenidas en los códices Florentino y Tlotzin poseían crisoles de barro donde mezclaban minerales de cobre mezclados con carbón sobre hornillos corrientes, avivados con cañutos y en los que se recogía el metal en el fondo del horno, como informa Vasco de Quiroga, en 1533 (citado por León Portilla, 1984).

Los que deseaban beneficiar este tipo de metal en el Reino de Michoacán lo purificaban fundiéndolo hasta en tres ocasiones (León Portilla, 1984: 26). Humboldt (2004: 322) afirma que antes de la llegada de los españoles conocían

13 “Calentada la roca por medio del fuego (...) se vierte agua sobre ella (...) matriz y mineral se revientan ofreciendo resquebrajaduras sobre las cuales pueden obrar las cuñas”, Orozco y Berra 1960, citado por León Portilla 1984.

los pueblos aztecas el uso de varios metales y aleaciones: plomo y estaño que obtenían de las vetas de Taxco e Ixmiquilpan; cinabrio que procedía de Chilapan y la Cuenca de Río Verde, SLP; cobre procedente de las montañas de Zacatollan, Coahuila y de las minas de Guadalupe, SLP; y bronce (del que se han analizado aleaciones extraordinarias), incluso señala que probablemente conocieron el hierro, aunque éste no fuera apreciado.

El debate sobre las capacidades metalúrgicas de los antiguos mexicanos continúa hasta nuestros días, sin embargo, como se fundamentará adelante, con base, en el análisis de la composición química de las vetas explotadas por los naturales, se concluye que aunque es poco probable que los mexicanos hayan beneficiado minerales rebeldes a la fundición, es bastante probable que sí hayan realizado ciertos procedimientos sencillos para la obtención de plata de fuego, en menas oxidadas con presencia de derivados oxidados de la galena, llamados en el periodo virreinal *carbonatos*, acompañados por otros fundentes vigorosos como la fluorita.

1.5.2 Primeras empresas minero-metalúrgicas

“Los primeros y más antiguos de estos riquísimos criaderos de oro y plata (refiriéndonos a la época del descubrimiento y conquista de este Nuevo Mundo) los conocieron nuestros españoles por medio de los naturales” (De Lassága y Velázquez de León 1774: 4).

Los vencidos informaron a sus nuevos señores la ubicación de los sitios donde obtenían metales. Los interrogatorios – señala León Portilla (1984: 25) – como

prueban las Relaciones Geográficas, permitieron el redescubrimiento de antiguos sitios de explotación; – según Bargalló (1966) –, ya desde 1525, se explotaban algunas en Villa del Espíritu Santo (Sinaloa) y *el Morcillo* en Tamazula (Jalisco); afirmación discutible, cuando menos en el caso de Espíritu Santo, pues hasta 1529 se inició la conquista de las tierras situadas al norte del río Santiago (Bakewell, 1997: 17). Bargalló (1966) brinda el siguiente orden cronológico de los primeros descubrimientos: Zacualpan y Sultepec «ambas en el actual Estado de México», en 1530; Taxco y Zumpango (en Guerrero), en 1534; Tlalpujahuá (Michoacán), y Amatepec (Estado de México), en 1538. Humboldt (2004: 332) propone como las primeras a Taxco, Sultepec, Tlalpujahuá y Pachuca, Hidalgo, opinión compartida por Ramírez (1884: 31). Según los mismos autores, el laborío de las minas de Zacatecas, Zacatecas, siguió inmediatamente al de los criaderos de Taxco y Pachuca, iniciando en 1548, mismo año en el que la veta de Bolaños fue acometida. Más o menos por este tiempo se iniciaron los trabajos de extracción en las minas de Comanja, Jalisco.

Los procedimientos de explotación y beneficio de las primeras vetas fueron similares a los utilizados por los indígenas. Considerando que la mayoría de los trabajos de explotación minera precortesiana se realizaban a cielo abierto ha sido posible comprobar que las primeras de los españoles fueron de este tipo, como demuestra Duport (1843: 8):

“Incluso algunos de los primeros trabajos ejecutados por los españoles fueron de la misma naturaleza. Como ejemplo Taxco y principalmente

Panuco, en las cercanías de Zacatecas, [laborío] que se inició en noviembre de 1548. Estos trabajos fueron conocidos con el nombre de «Veta de los tajos de Panuco», y se extendieron sobre una longitud de más de setecientos metros, obligando a la realización de un tajo a cielo abierto hasta una profundidad de más de doscientos metros”.

Trabajos perfectamente factibles si consideramos la disponibilidad de mano de obra originada de los “repartimientos forzosos de trabajadores indios, el *coatequill*” (Sánchez, 2002:138).

Una prueba adicional de que los españoles aplicaron en las primeras minas procedimientos de explotación heredados de los pueblos precortesianos, se deriva de la composición mineralógica de éstas:

- i. El distrito de Sultepec presentaba gran cantidad de menas plomosas de galena y la presencia de fluorita (un energético fundente), los minerales oxidados superficiales presentaban derivados oxidados de la galena como cerusita. Una mena con esta composición podía rendir su plata con una fundición simple.
- ii. Las minas de Zacualpan presentaban en forma abundante: galena y sus derivados anglesita y cerusita, además de fluorita. Minerales muy dóciles a la fundición.
- iii. Taxco presentaba colorados con halogenuros de plata concentrados, mezclados con derivados oxidados de la galena.

- iv. En Pachuca una proporción importante de los minerales eran plomosos conteniendo galena y sus derivados oxidados (vanadinita, piromorfita), adicionalmente presentaba hematites (un poderoso fundente).
- v. Las minas de Zumpango del Río contenían una mena de plata derivada por oxidación de la galena que se denomina anglesita, este mineral es extremadamente dócil a la fundición, facilitando la de los minerales rebeldes, además en el sitio se presentaba hematites, un poderoso fundente.

Es curioso que la composición mineralógica de estas, las primeras minas explotadas por los españoles, sea en todos los casos del tipo “muy dócil a la fundición”. Estas menas podían fundirse sin liga, en hornos castellanos simples por la presencia de plomo y diversos fundentes, los naturales seguramente utilizaban estos minerales, que deben fundirse, pues como señala León Portilla (1984) ellos indicaron a los españoles donde se encontraban las primeras minas.

Esta condición continuó hasta que llegaron de “La Península (...) los auxilios y luces que [facilitaron] los progresos [en la extracción y el beneficio de los metales]” (Elhuyar, 1825: 45-46). Las relaciones existentes, en esos tiempos, entre Alemania y España, gobernadas por un mismo príncipe, posibilitaron, sin duda, la rápida introducción a México de las técnicas descritas por Agrícola para la explotación de minas (Duport, 1843: 8). La utilización de herramientas de fierro y acero y la introducción de medios de extracción del mineral, más rápidos y económicos, como el torno de mano, disminuyeron los esfuerzos invertidos en la

explotación y el desagüe de las minas, el mismo Cortez utilizó bombas de mano para desaguar sus minas en Taxco. (De Lassága y Velázquez de León, 1774: 4, Ramírez, 1884: 32)¹⁴.

El laborío de las minas continuó algunos años sin contratiempos, debido a la suma riqueza de sus producciones y a los bajos costos de extracción, hasta que los *planes*¹⁵ alcanzaron las aguas subterráneas como nos ilustran De Lassága y Velázquez de León (1774: 4-5):

“Siguióse (...) su laborío, entre tanto que la suma riqueza de sus producciones y poco costo con que se lograban, pudo suplir a la limitada extensión de sus conocimientos en el arte (...), pero así que llegaron a romper los hidrofilacios, o senos subterráneos de aguas, cuya abundancia y profundidad hacia ya muy costosa su extracción, se vieron precisados a

14 Ramírez y De Lassága y Velázquez de León aseguran que la pólvora se utilizó en las minas en los primeros años del virreinato (De Lassága y Velázquez de León, 1774: 4, Ramírez, 1884: 32); afirmación rebatida por Brading (2004 :184), que aunque reconoce que no se sabe a ciencia cierta cuándo se difundió el uso de cartuchos explosivos en la Nueva España, con base en el consumo de pólvora en Zacatecas, piensa, que el explosivo no se usaba comúnmente en la década de los treinta del siglo XVIII, pues en 1732 en Zacatecas sólo se compraron 1 300 libras del explosivo, cantidad insignificante, comparada con las 90 000 libras anuales que Guanajuato consumió entre 1778-95. Sin embargo, en 1732, se produjeron en Zacatecas un poco más de 110 000 marcos de plata (Bakewel 1981:34), mientras que en Guanajuato entre 1778 y 1795 la producción se elevó a un promedio anual de 537 192,88 marcos; no podemos perder de vista, como apunta el mismo Brading (2004:183) que las condiciones y la velocidad de extracción eran totalmente diferentes, siendo una diferencia fundamental entre los dos periodos, e incluso entre los dos asientos de minas, la profundidad de los tiros, que era mucho mayor en Guanajuato.

15 El piso o profundidad de la mina (Gamboa, 1874: 498)

ceder a este poderoso inconveniente”, pues “Son las aguas la mayor borrasca de las minas” (Gamboa, 1874:353).

La primera respuesta a este problema fue la construcción de los tiros

“Que son unos pozos perpendiculares o inclinados (...) por donde se sacan los frutos, el agua y demás que se ofrece” (Sarría 1784: 89), estas obras se perfeccionaron en Alemania en el siglo XV y fueron descritas en el *Re Metallica* por Agrícola en 1556 (Ruiz de Esparza, 1984:100). Los socavones o contraminas también se utilizaron en fase temprana como se demuestra con la nota de Humboldt (2004: 332) en la que se comenta que Cortés construyó el gigantesco Socavón del Rey, en el cerro de la Compañía, cerca de Taxco. La descripción de los socavones y tiros se realizará adelante.

En general, se puede afirmar que el labrado de las minas era una empresa complicada y que se realizaba de manera muy deficiente, esta situación cambio poco en los siglos siguientes. D. Josef de Bustamante, destacadísimo minero, escribió a fines del siglo XVIII (citado por Lassága y Velázquez de León, 1774: 89): “Es tan grave la dificultad que las minas contienen en sí mismas para su trabajo, que se puede decir, que en algún modo supera las fuerzas de todo el arte y avasalla el entendimiento”, De Bustamante asegura que es la impericia, o falta de inteligencia en la minería, una de las causas principales de que se pierdan muchos de los que se dedican a estos ejercicios.

Sin embargo, no todos los problemas se encontraban en el labrado de las minas. Desde que los minerales, arrancados de sus yacimientos, se extraían a la superficie, pasaban del dominio del minero al del metalurgista, ramo, este último, nacido al mismo tiempo que la minería, cuando menos, desde que ésta, se dejó de localizar en los placeres y pasó a los criaderos (Ramírez, 1884: 32); y esta actividad tenía sus propios problemas.

En los albores del Virreinato se beneficiaba la plata “en pequeños hornos castellanos; a veces con no pocas dificultades por falta de peritos” (Bargalló 1969: 47); sin embargo, dado que se reducían yacimientos superficiales de la zona de oxidación y alta ley, es decir, dóciles al beneficio por fuego, y con presencia de *carbonatos* y fundentes, las dificultades no fueron grandes, hasta cuando las menas comenzaron a perder la ley y la buena fundición. Las matrices resistentes a la fundición son: las pizarras, los pórfidos, las rocas arcillosas y talcosas, los jaboncillos y los cuarzos. Entre los metales el hierro y por consiguiente las piritas (Sulfuros de hierro, FeS_2). Cuando por su quema se han despojado de su azufre, y las blendas que llaman estoraques y ojos de víbora.

El hombre que más contribuyó a vencer las dificultades provocadas por el agotamiento de los minerales dóciles a la fundición, fue Juan Alemán (Juan Enchel) que con otros mineros alemanes fue enviado en 1536 por Martín Verdegar (Verger) y Cristóbal Reizer (Kaiser), relacionados con la casa Függer (Fúcar), concesionaria de todas las minas en España de 1524 hasta 1645 (Bargalló 1969: 40). Con “aparejo e industrias para fundir metales de las minas de plata que

componían ellos y hasta entonces no se entendían en estas tierras” (Ruiz de Esparza 1995: 28) Enchel redujo los metales ricos “sin lavar y revolviéndolos con metales plomosos y greta y cendrada, y con esto se sustentó la tierra” (Paso y Troncoso, a, doc. 659, citado por Bargalló 1966: 75).

1.5.3 El método de patio

Hacia 1553 la crisis se volvió a presentar, con mayor fuerza, y de nueva cuenta los métodos disponibles para el tratamiento resultaron insuficientes. El periodo en el que la tecnología de beneficio más importante fue la fundición concluyó y se constituyó en el simple prelude de una nueva metalurgia, basada en la amalgamación. Esta tecnología surgió por la presión de la demanda sobre los limitados recursos que habían bastado para el funcionamiento de la industria minera de la primera mitad del siglo XVI (Castillo Martos, 2008), pero que en el siglo XVIII resultaban insuficientes. Como hijo de la necesidad, a fines de 1554, fue concebido, en México, el método de beneficio por amalgamación en frío de los minerales de plata o simplemente método de patio (método de amalgamación mexicana), al que Humboldt (2004: 373, 378) se refirió como la “Ingeniosa manipulación (...) a la cual se deben la mayor parte de los metales preciosos que hay en Europa (...) inventado por un minero de Pachuca, llamado Bartolomé de Medina” (...) una de aquellas operaciones químicas que siglos hace se practica con cierto buen éxito”. “Admirable parto de la industria [que] ha sido la llave maestra que ha facilitado la extracción de las prodigiosas sumas de plata con que las Américas han asombrado al mundo”: lo define Garcés y Eguía (1873: 72). Este

proceso constituyó una verdadera revolución tecnológica que transformó los modos de producción asociados a la minería y provocó la transformación del paisaje del norte y el centro de México. Resultó tan adecuado a las condiciones nacionales que se convirtió, con ciertas modificaciones, en el procedimiento esencial de beneficio de los minerales de plata en la República Mexicana durante 350 años. La aplicación del método de patio, permitió procesar, con mayor eficiencia, las menas descubiertas en el noroeste de la Nueva España, ampliando la gama de minerales que podían refinarse con beneficio económico. La principal fortaleza del método fue que funcionaba perfectamente con minerales de baja ley, que eran la mayoría de los minerales mexicanos y que anteriormente no podían procesarse, su principal desventaja es que provocó la dependencia del sistema industrial de insumos extranjeros como el azogue. El mismo Medina describe sus propósitos:

“Yo, Bartolomé de Medina, vecino de la ciudad de Sevilla, digo que estando en los reinos de Castilla yo tomé grande afición y curiosidad para procurar de entender y saber el beneficio de los metales [hay que interpretar minerales] y perfección de él y con mis costas y grandes experiencias alcancé que los metales de plata fundidos por fundición se requería que tuviesen mucha ley y que será necesario numerosas costas y trabajo para que todo lo sufriese la ganancia, y que otros metales por tener poca ley no se podían beneficiar por fundición y que de ellos era numerosa y muy grande la pérdida de la plata que de ellos se perdía (...) y que con el

azogue la plata se podía sacar de los metales de mucha ley y poca” (AGI, Indiferente General 1381; citado por Castillo Martos, 2006: 83).

Esta nueva invención estimuló las actividades de extracción y la construcción de gran cantidad de haciendas de beneficio, aunque los procedimientos de molienda, amalgamación y refinación “Exigían una enorme inversión en maquinaria e instalaciones”: (Bakewell, 1997: 194);

“La amalgamación en frío pareció tan productiva (...) que cinco años después del descubrimiento (...) se contaban ya en Zacatecas treinta y cinco haciendas donde se manipulaban los minerales con el azogue y es de suponer que antes lo habrían adoptado Taxco, Sultepec, Tlalpujahua y otros”: (Humboldt, 2004: 373; Garcés y Eguía, 1873: 10);

En la construcción de estas treinta y cinco haciendas de beneficio los mineros de Zacatecas habían gastado la fabulosa cantidad, para la época, de ochocientos mil pesos, únicamente en edificios e ingenios (Bakewell 1997: 194).

El innovador proceso sumado a los avances conseguidos en la fundición y los nuevos descubrimientos – Veta Albarrada, San Bernabé y Pánuco, Zacatecas, entre 1546-48; Guanajuato en 1550-60; Pachuca; Real del Monte y Temascaltepec entre 1552-1555 (Bargalló 1966); San Martín, Fresnillo y Sombrerete, Zacatecas, entre 1554-58 (Bakewell, 1997: 30, 43-44, 52); Charcas, San Luis Potosí en 1572; y Mazapil, Zacatecas y Cerro de San Pedro, San Luis Potosí, a principios de la década de los ochenta del siglo XVI; provocaron que la producción de plata se cuadruplicara en el periodo de 1561-1580 alcanzando más

de 1 004 toneladas, mientras en el periodo de 1541 a 1560 la producción fue de 253.60 toneladas (Ruiz de Esparza, 1984:111).

La bonanza indujo la apertura de rutas de colonización y comercio entre La Ciudad de México y el norte del país (donde se concentraban los Reales mineros), con la construcción en 1550 del *Camino Real de la Tierra de Adentro* (Bakewell, 1997: 37) y diversos caminos secundarios (Velázquez, 2004).

En el periodo se diseñaron dispositivos sorprendentes por su complejidad y eficiencia como los arrastres o tahonas que realizaban el *molido fino*, operación crucial del beneficio por amalgamación, y de las cuales Humboldt (2004: 374) señaló:

“Es la operación que se hace con la mayor perfección (...) en ninguna parte de Europa he visto (...) lama tan fina y de grano tan igual como en las grandes haciendas de plata de Guanajuato”.

También el asombroso destilador hermético, diseñado en México, llamado en su conjunto capellina de bronce, con el que se separaba el mercurio de la plata, por destilación, operación que duraba de ocho a diez horas, resultando plata de toda ley, un ahorro importante de mercurio y ningún operario *azogado* ('intoxicado'), (Ávalos-Lozano *et al.*, 2007: 42; Bargalló, 1966: 91; Ramírez, 1884: 645; Rul, 1881: 38-39; Gamboa, 1874: 409; Sonneschmid, 1825: 50-51)

Desde 1580 la producción de plata aumentó de manera constante hasta 1630: año en el que se acuñaron 601 065 marcos¹⁶ (138,24 toneladas) (Elhuyar, 1825). “De este año en adelante, lejos de haber progresado, parece que más bien fue en decadencia por el resto de aquel segundo siglo [XVII]”: (Elhuyar, 1825: 47). Lo anterior aún cuando en 1631 se descubrió el rico mineral de Parral y la decadencia de Zacatecas no se presentó sino hasta el decenio de 1630-40. Parecía que el ímpetu original de exploración y explotación había desaparecido.

“No será difícil – explica Elhuyar (1825: 47-48) – descubrir las causas de aquel entorpecimiento, al que considere la diferente situación en que se hallaban los mineros en las dos épocas (siglo XVI y XVII). En el primer siglo (...) Los criaderos metálicos (...) [se] hallaron vírgenes (...) las excavaciones (...) [fueron] de corta profundidad (...) y (...) poca complicación (...) [además] (...) la plata (...) tuvo [mayor] valor que en la segunda época (...). Por el contrario, en el segundo siglo la mayor profundidad (...) [de] sus laboríos, les presentaba mayores embarazos”

Los anteriores factores, que explican la ausencia de incremento en la producción, pueden sintetizarse en uno: La ausencia de fuentes de financiamiento para “Las Minas, cuya esterilidad se lamenta por la falta de avíos, y de caudales”: (Gamboa, 1874: 3), en una época en que la minería requería fuertes aplicaciones en obras muertas (tiros profundos, socavones).

16 Un marco equivale a 230 g.

Como si el problema anterior no fuera suficiente otros elementos empeoraban la situación:

- i. La ausencia de un cuerpo normativo adecuado a las condiciones de la minería novohispana del siglo.
- ii. La escasa y costosa provisión de mercurio, elemento monopolizado por la Corona. Que en forma simultánea, desalentaba la explotación local de las minas y era incapaz de suministrar todo el azogue requerido calculado entre 4 000-5 000 quintales (Lang, 1977:257-258).
- iii. Los derechos reales cobrados a la plata ascendían al 26%. Para satisfacer derechos tan exorbitantes, era indispensable que el laborío y el beneficio fueran poco costosos; o que la abundancia de la riqueza fuera extremada (Elhuyar, 1825: 51).
- iv. La prohibición de comerciar la plata en pasta, el monopolio estatal de la amonedación y la concentración de esta operación en la Ciudad de México, además de las condiciones leoninas de los pagos, los mineros norteros tenían que esperar seis meses para recibir su plata amonedada, por lo que preferían venderla a los comerciantes del consulado.
- v. El alto precio de los utensilios importados de Europa, a causa de: la escasa y arriesgada comunicación; el monopolio ejercido por la Casa de Contratación de Sevilla, y los recargos en las alcabalas.¹⁷

¹⁷ Impuesto inmemorial en Castilla, se introdujo en la Nueva España en 1574 con un importe del 2% sobre el costo de gran variedad de artículos; en 1627 se aumentó otro 2% por "derecho de

- vi. La ausencia de escuelas que permitieran la formación de técnicos que pudieran dirigir los labrados de las minas y el beneficio de los metales (Lassága y Velázquez 1774: 36-37).

Resulta muy interesante considerar cual era la condición de los distritos mineros incluidos en el presente documento, entre los años de 1761 y 1774, la descripción se basa en Gamboa (1874) y Lassága, J. L. y J. Velázquez de León (1774):

Bolaños. Celebre mineral que produjo entre 1746 y 1761 de tres millones (352 941,17 marcos) a cuatro millones de pesos duros (470 588,23 marcos). En 1761 estaban en corriente sus seis minas fundadoras: La Conquista, El Parián, La Perla, La Castellana, La Zapopa y Montañesa (Gamboa, 1874: 503). Para 1774 el Distrito se encontraba en estado lamentable, por la abundancia de los hidrofiliacios y la profundidad de explotación que hacía muy costosa su operación (Lassága, J. L. y J. Velázquez de León, 1774: 6)

Sombrerete. Minas opulentas en otros tiempos, inundadas en 1761, con corto corriente (Gamboa 1874: 509). Chalchihuites arruinada en 1761 (Gamboa 1874: 503). En estado lamentable, en 1774, por la abundancia de los hidrofiliacios y la profundidad que hacía muy costosa su extracción (Lassága, J. L. y J. Velázquez de León 1774: 6).

unión de armas” para el mantenimiento de los galeones que protegían la ruta comercial del Atlántico; y finalmente en 1636 se fijó en el 6%, la razón del incremento fue el mantenimiento de la Flota de Barlovento (Bakewell, 1976: 115).

Guanajuato. Ciudad y mineral populoso y de gran duración. Fue opulentísimo, aunque decaído, en 1774, por la profundidad y aguas. Se componía de Real del Monte, San Nicolás, Peregrino, San Lorenzo, La Trinidad y El Realejo. En corriente en 1774 (Lassága, J. L. y J. Velázquez de León, 1774: 6).

Catorce. Para 1761 las minas del Distrito de Catorce aún no se habían descubierto, pero Gamboa cita a Matehuala (jurisdicción de Charcas), como asiento de minas plomosas en corriente (Gamboa, 1874: 505).

Zacatecas. Ciudad populosa y enoblecida con tres asientos de minas en la circunferencia, que fueron opulentísimos, y en 1761 no estaban en corriente por las profundidades y aguas (Gamboa, 1874: 510). El asiento de *Nuevo Descubrimiento* si se encontraba en corriente (Gamboa, 1874: 505). Zacatecas se encontraba en situación muy precaria en 1774, por la abundancia de los hidrofiliacios y la profundidad que hacía muy costosa su extracción (Lassága, J. L. y J. Velázquez de León, 1774: 5)

Pachuca y Real del Monte. Mineral antiguo y muy celebrado por sus platas, en 1774, estaban en corriente muchas minas y el Socavón de la veta la Vizcaína, que era una de las más ricas. Pachuca se encuentra a 2 leguas (11,14 km) del Real del Monte y en 1774, se encontraba en estado terrible por la abundancia de los hidrofiliacios y la profundidad que hacía muy costosa su extracción (Lassága, J. L. y J. Velázquez de León, 1774: 5). Real del Monte en corriente en 1774 (Lassága, J. L. y J. Velázquez de León, 1774: 6).

Sultepec. Provincia nombrada de la plata, minas que han tenido varios estados, en 1761 se trabajaban algunas (Gamboa, 1874: 509). En corriente en 1774 (Lassága, J. L. y J. Velázquez de León 1774: 6).

Taxco. Mineral antiguo, donde Hernán Cortés y otros conquistadores labraron minas, en 1761 corrientes, aunque muy profundas y anegadas (Gamboa 1874: 509). En lastimoso estado en 1774, por la abundancia de los hidrofiliacios y la profundidad que hacía muy costosa su extracción (Lassága, J. L. y J. Velázquez de León, 1774: 5)

Tlalpujahuá. Dos asientos de minas de plata, con ley de oro, que estaban corrientes en 1761 (Gamboa, 1874: 509). Muy decaídas en 1774, por la abundancia de los hidrofiliacios y la profundidad de explotación (Lassága, J. L. y J. Velázquez de León, 1774: 5)

Batopilas. Minas de plata las más ricas que se labraron en el siglo XVII y XVIII en el Reino y no se oiran mejores en el mundo; pues se ven piedras con 3 de las 4 partes de plata, pero de suma dureza por el pedernal, que guarnece sus vetas, que sólo con polvora se trabajan, estaban corrientes en 1761 (Gamboa, 1874: 510).

Zacualpan. Antiguo mineral de plata, corriente en 1761 (Gamboa, 1874: 510).

Zimapán. Mineral antiguo, que conservó su labor, buen vecindario (Gamboa 1874: 510). En corriente en 1774 (Lassága, J. L. y J. Velázquez de León, 1774: 6).

Lassága, J. L. y J. Velázquez de León (1774: 7-8), explican que la causa de la deserción de las minas, supuesto que la mayoría eran muy antiguas y muy trabajadas, no fue la falta de metales útiles en ellas, que fueran suficientes para compensar los costos y dejar una utilidad, sino la falta de caudales y avios, como lo demostraban los testimonios de viejos mineros, los libros y registros de impuestos, y la pericia de los *prácticos* al reconocer el cuerpo, la situación, el rumbo y demás fundamentos de las vetas, distinguiendo las madres de las accesorias, pues las vetas madres presentaban perene riqueza, ya porque – anotan los autores – en las matrices aptas se reproduzca el mineral, ya porque fue creado de una vez tan copiosamente, por la naturaleza, en las grandes venas, que no ha podido agotarse en largos siglos de explotación; es muy interesante que estos autores citen la inundación de la mayoría de las minas como prueba de su aserto, pues afirman, que se sabe que las aguas de calidad mineral sirven de vehiculo a los principios elementales de la plata. Muy pronto el devenir les daría la razón.

1.5.4 El México Borbónico

El presente capítulo establece el marco de causas concurrentes: regionales, nacionales e internacionales; políticas, económicas, y tecnológicas que determinaron el aumento en la producción de la plata mexicana a partir de 1777 y hasta 1827.

En el indicado estado alcanzó al Reino – escribe Elhuyar (1825: 53) –: “El [siglo] decimoctavo (...) En sus principios empezó a abrir sus ojos el gobierno, y a

conocer el camino errado que hasta entonces había seguido”. Claro que esta nueva conciencia, que produjo la «Revolución en el Gobierno» (Brading, 1975: 57), y que implicó una serie de reformas y cambios en la administración ocurridas en el periodo denominado *México Borbónico* (1763 a 1810); tenían un nuevo y poderoso motor, la transformación en la industria minero-metalúrgica, que aunque afectó a todas las regiones del sistema, revolucionando la estructura de producción de plata en México; se presentó con fuerza extraordinaria en catorce asentamientos de minas (trece distritos), en los que se concentró el 95% de la producción de plata mexicana. Esta extraordinaria riqueza se concentró en las manos de unas cuantas familias, capaces de invertir sus gigantescos excedentes financieros (obtenidos en el comercio):

Los Romero de Terreros propietarios de las nueve minas del filón¹⁸ de la Vizcaína en Real del Monte y Zimapán. Fundada por D. Pedro Romero de Terreros, español peninsular, que llegó a México antes de cumplir 21 años (Probert 1987: 146), conde de Regla y el súbdito más rico de la monarquía española (Probert 1987: 146), Romero de Terreros inició su fortuna construyendo una institución mercantil.

La familia Borda con propiedades en el Distrito de Zacatecas, la diputación de Taxco y fundamentalmente en la Cañada del distrito de Tlalpujahuá, donde en una bonanza que dio inicio en 1743 y duró diez años, Borda obtuvo la fabulosa

18 Veta que se ha desarrollado vigorosamente y cuyos cuerpos son poderosos. Flores (1920).

cantidad de 33 000 000,00 de pesos fuertes, esta dinastía fue fundada por Joseph Laborde, súbdito francés, que se avecindó en México.

Vicente Sardaneta y su socio el Conde de San Mateo de Valparaíso, con minas en el distrito de Guanajuato.

Los Obregón y asociados, con varios sitios en el Distrito de Guanajuato y en el de Catorce.

El Conde de Peñasco, dueño del Cerro de San Pedro en San Luis Potosí. Francisco Xavier de Vizcarra, Marqués de Pánuco, en Pánuco, Zacatecas.

El Marqués de San Miguel Aguayo y Juan Lucas de Lassága, en Mazapil, Zacatecas (Lassága y Velázquez de León, 1774: 20).

La importantísima familia Fagoaga, en el Distrito de Zacatecas, patrocinadores, junto con otros, de la misión alemana que a finales del siglo XVIII enviara el Rey para reformar la industria minero-metalúrgica de México.

Todos ellos, verdaderos empresarios, fundadores de gigantescos complejos agro-industriales (Langue, 1999: 50; Sánchez, 2002: 132), y posiblemente de las empresas más grandes del mundo, la concentración y la integración de actividades fueron las características de los centros mineros de fines del siglo XVIII (Langue, 1999: 114): La Valenciana, Guanajuato con 3 332 trabajadores; La Vizcaína, en Real del Monte, Hidalgo, que agrupaba, en 1766, a 3 785 empleados, en nueve minas (Ladd, 1988: 16); y La Quebradilla, Zacatecas con 2 550 operarios. Siendo este fenómeno el responsable, junto con las reformas

económicas y políticas de los borbones, de la bonanza del México borbónico (1777-1810), que sacó de su inacción a la minería y al Reino todo de su languidez Elhuyar (1825: 49); esta riqueza beneficio exclusivamente a un pequeño grupo social, incluso dentro del gremio minero, Langue (1999: 118) ha calculado que mientras el minero común recibía “una utilidad desdeñable del orden del 5%” de su producción, los grandes empresarios, que contaban con complejos agroindustriales, trataban su propio mineral, y eran favorecidos con exenciones fiscales y con el reparto del mercurio; se beneficiaban con el 25% del total de su producción. Desgraciadamente estos recursos no fueron suficientes para borrar la terrible asimetría en la distribución de la riqueza en México, la gigantesca producción de plata del distrito de Guanajuato no fue utilizada para remediar, en 1784, la falta de alimentos que provocó en la ciudad y minas de Guanajuato la muerte de más de 8 000 seres humanos, obviamente, miembros de la clase más pobre del pueblo. No se engañó Humboldt (2004: 68) al afirmar: “México es el país de la desigualdad. Acaso en ninguna parte la hay más espantosa en la distribución de fortunas, civilización, cultivo de la tierra y población”.

Es probable que este proceso de concentración haya sido la respuesta natural, de familias con suficiente capital, a una oportunidad excelente de inversión; la cual habían estudiado perfectamente en todos sus detalles y que aunque presentaba ciertos riesgos asociados a una minería bicentenaria, estos eran manejables, con el apoyo financiero y técnico de la Corona, que consiguieron a toda costa. Esta industria una vez bajo control, les brindó pingües beneficios.

Los problemas de la minería y el beneficio: las vetas emborrascadas, las inundaciones, las mayores profundidades de las obras de disfrute, los aumentos en los costos debidos a la construcción de obras muertas y al ademado, los incrementos en los gastos de operación y mantenimiento de la maquinaria utilizada para el desagüe de los planes y la extracción del mineral; las matrices profundas resistentes al tumbe, los minerales rebeldes a los procesos de beneficio, incluso la escases de mano de obra calificada y no calificada, mercurio, plomo y madera y los procesos inflacionarios liderados por el maíz, alimento básico de operarios y bestias mulares (Sánchez, 2002: 132), eran simples manifestaciones de una industria que había llegado a su madurez; y que por lo tanto requería, como condición liminar, resolver el primero y mayor de los obstáculos, definido claramente por Lassága y Velázquez de León (1774: 18):

“Queda pues establecido, que la causa principal, y que generalmente influye en la inhabilitación actual de todas las minas de este Reino, sean las que fueren, es la falta de caudales, con que pueda instaurarse y fomentar su laborío”.

La revolución de la industria modificó las peculiaridades de los procesos en todo el país; provocando: el aumento en la producción de plata; la constitución del Tribunal y el Colegio de Minería (instituciones fundamentales en la vida de México); la normalización industrial de los métodos de saca y beneficio (en los distritos principales se abandonaron los procesos artesanales); la construcción de gigantescas obras de infraestructura como la contramina de la veta la Vizcaína, en

Real del Monte, el Socavón de Purísima, en Catorce, los gigantescos tiros de San Cristóbal, Pinto, San José y Quebradilla de Tlalpujahua, que funcionaban con 16 malacates, o las gigantescas haciendas de beneficio de: El Salto, en Hidalgo; La Saucedá y Cinco Señores, en Zacatecas; el incremento en la proporción de la plata de azogue a costa de la de fuego; la rehabilitación de viejos asientos de minas abandonados, como las nueve minas de la Vizcaína y varias de Zimapán a cargo de los Romero de Terreros, o la de las minas de Veta Grande restauradas por una compañía en la que se asociaron Los Borda, con los Anza y los Fagoaga; el reproceso de jales, graseros y escoriales (Sánchez, 2002: 131-132); la transformación de las relaciones laborales, incluyendo la eliminación del partido¹⁹ y la recuperación de algunas prácticas que llevaban 100 años en desuso, como el repartimiento forzado de indios (Sánchez, 2002), o las levas o reclutamiento forzoso de vagos, ambas prácticas al recuperarse la población a principios del siglo XVIII había disminuido hasta hacerse insignificantes, pero ante las nuevas necesidades de mano de obra, fueron reinstauradas por la Corona, que las autorizaba expresamente en el código minero de 1783 (Brading 2004), a fines del siglo XVIII: “El conde de Regla obtuvo una leva del 4% de la fuerza laboral masculina en todos los poblados dentro de un radio de 48 kilómetros de Real del Monte” (Brading 2004: 201). Los principales afectados por la Revolución

19 En Guanajuato, Catorce, Zacatecas y Real del Monte, una vez que el trabajador completaba su cuota diaria de mineral, obtenía del 50 al 30% de lo demás que extrajera durante el resto del día” (Brading, 2004: 202), esta proporción variaba en otros reales. Común fue el *peonaje por endeudamiento*, que motivó numerosas leyes que limitaron los préstamos a 4-8 meses de salario. (Bakewell, 1997: 177).

Capitalista fueron los operarios de minas y haciendas, lo que se demuestra por los múltiples motines y la primer huelga registrada en Norteamérica, realizada por los operarios de la Vizcaína en Real del Monte, Hidalgo, en 1766.

Resulta claro que, aunque la mayoría de las innovaciones se realizaron en este lapso de tiempo no se circunscriben exclusivamente a él, pues varias, de la mayor importancia, se iniciaron desde 1723 o incluso antes. Las novedades acicatearon la economía, produciendo una bonanza minera sin precedentes en el mundo (la producción de plata que en la década de 1710-19 fue de 1 781,24 toneladas ascendió en la de 1790-99 a 5 984,89). Para entender la magnitud de esta nueva prosperidad es preciso consultar la participación de la producción de plata mexicana en el total mundial: En el periodo de 1681-1700 la plata mexicana representó el 32,23% de la producción mundial, para el espacio de tiempo 1781-1800 el porcentaje de plata originado en México se elevó al 63.41% (González J. R., 1956: 96-97). Analizando la producción de plata de los dos periodos se pueden encontrar lo siguiente, en los 20 años transcurridos de 1781 a 1800 la producción mundial se elevó con relación al periodo 1681-1700 en 10 570 toneladas (257.39%), lo que representaba el aumento relativo en la producción más importante en la historia de la Tierra. Realizada la misma comparación para la producción de plata mexicana ésta se elevó 8 936 (505.45%). En términos prácticos, puede afirmarse que México produjo casi totalmente esta bonanza.

Se ha documentado que la minería mexicana no recibió estímulos internacionales materializados a través del aumento de precios (que no se presentaron en el siglo

XVIII), pero es destacable la capacidad del mercado mundial para recibir el aumento de plata sin que los precios del metal se derrumbaran, lo anterior ha sido explicado considerando la extraordinaria expansión capitalista de la Europa finisecular (Sánchez, 2002: 4-5).

Es difícil alambicar la asombrosa complejidad de estos procesos históricos, sin embargo, las reformas establecidas por la «Revolución en el Gobierno», que iniciaron en 1723 con la reducción del impuesto de la plata y adquirieron fuerza con la llegada del visitador general José de Gálvez, el cual permaneció en México entre 1765 y 1771 (Brading, 1975), no hubieran sido posibles sin la existencia de un grupo de empresarios con el suficiente capital y con una panoplia de tecnologías minero-metalúrgicas desarrolladas o adaptadas en La Nueva España y que fueron financiadas por ellos mismos. La bonanza no se debió, con excepción de Catorce, a nuevos descubrimientos, sino al rescate de antiguos reales que habían probado su riqueza y se abandonaron por falta de recursos para seguirlos explotando. Estos poderosos comerciantes enviaron a la metrópoli a varias misiones de cabilderos y pactaron con José de Gálvez la restructuración de la industria. Apoyados por algunos miembros del Gobierno despojaron a los operarios de la parte sustancial de su salario (el partido) y consiguieron estados de excepción en diversos pagos impositivos y otras prebendas como las siguientes:

El 19 de junio de 1723 por Real Cedula, se redujo el impuesto de la plata del 20 al 10%, con otras disminuciones posteriores, por derechos de fundición, ensaye y marca, el total de impuestos y costos de acuñación pagados por los mineros bajo

del 26 al 13% de toda la plata producida (Brading, 1975: 200). “Estas concesiones fueron de suficiente entidad para alentar el cultivo de las minas” (Elhuyar, 1825: 56), de tal forma que en el decenio 1720-29 la producción de plata se incrementó en un 25% con respecto a la década anterior, pero lo mejor, para los mineros, estaba por venir.

La disminución del costo del mercurio, en 1767, de poco más de 82 pesos el quintal (precio que mantenía desde 1617) a 62 pesos y 9 años después (1776) a un precio ligeramente superior a los 41 pesos (Elhuyar, 1825: 63-65; Elhuyar, 1818: 125). Ya con anterioridad el precio se había estrechado, pues Humboldt (2004: 383) menciona que: «en 1590 se vendía en La Nueva España el quintal a razón de 187 pesos».

La reunión de los mineros en un cuerpo formal mediante la creación de diputaciones territoriales en los minerales, y “De un tribunal que (...) los gobernara (...) el año de 1777”: Elhuyar (1825: 68). A la que siguió la promulgación en 1783 de las *Reales Ordenanzas...* nueva ley minera que modificó la operación del ramo en todos sus aspectos y de manera relevante ordenó la fundación del Real Seminario de Minería, realizada en 1792.

La declaración del libre comercio de La Nueva España en 1778. Eliminado el monopolio de La Casa de Contratación de Sevilla, que garantizó el abasto a mejor precio de los artículos que se importaban de Europa. No menos trascendente fue la exención de los derechos de alcabala en los utensilios (principalmente el hierro

y el acero) utilizados en la minería, declarada por el Gobierno Virreinal en 1781 (Elhuyar, 1825: 71).

En 1786 se dispuso que todas las tesorerías de las provincias, en las que existieran minas, deberían contar con los recursos necesarios para el rescate y pago de la plata de los mineros, esta disposición, brindó un alivio a las carencias de capital y frenó los abusos de los intermediarios (Elhuyar, 1825: 75).

Por último en 1801 el precio de la pólvora bajo de 6 a 4 reales la libra (Elhuyar, 1825: 77); este insumo que se empezó a utilizar en el laborío de las minas en 1726, se había convertido en indispensable.

Las referidas reformas detalladas arriba y el descubrimiento del Real de Catorce, en 1773, provocaron un extraordinario aumento en la producción que llegó a veintisiete millones de pesos; México se convirtió en un “país de plata”.

Una conclusión, que se antoja herética, es que se ha confundido la razón de la gran bonanza del México Borbónico, es posible que no haya sido la “Revolución en el Gobierno” la que produjo el incremento en la producción de plata y el fortalecimiento de la aristocracia minera, que había comenzado desde principios de siglo. Esta afirmación equivale a poner los bueyes detrás de la carreta, es posible que las cosas hayan sido precisamente al revés, fue realmente el fortalecimiento de los ricos comerciantes de origen peninsular que contaban con cuantiosos excedentes financieros, generados por el comercio y las alianzas matrimoniales, aliados a la Corona Española, empeñada en reconquistar México

del dominio de los criollos, lo que provocó la revolución de la industria minera novohispana.

Para finalizar el presente capítulo es preciso considerar la importancia que la minería tuvo en la economía doméstica novohispana: Brading (2004) basado en los cálculos de José María Quirós argumenta, con toda prudencia, que el porcentaje del Producto Interno Bruto correspondiente a este ramo era del 15%, otros autores aumentan o disminuyen esta cifra, pero no sustancialmente. Por otro lado, en el México de principios del siglo XIX el número de personas empleadas en los trabajos subterráneos no excedían de 28 a 30 000 (0.5% de toda la población) y alrededor de cinco a seis mil personas se afanaban en el beneficio de los metales (0.1% del total de población) (Humboldt, 2004: 49). Ya hemos hablado de la influencia de la minería en otras actividades como la agricultura o la industria, en la generación de empleos y sin duda, eran los metales preciosos el primer producto de exportación de México, pero esta riqueza extraordinaria no se aplicaba al bien común: los ingresos de la producción de la plata se aplicaban a la compra de haciendas de labor, fincas urbanas y a la importación de artículos suntuarios destinados a las elites criollas y peninsulares: entre 1780 y 1810 las mercancías importadas se conformaban en un 75% de productos manufacturados, principalmente, tejidos de lino, algodón y seda; el 25% restante se componía de productos agrícolas y sus derivados destacando, en particular, el vino y el aguardiente catalán (Sánchez, 2002). Simplemente la importación de lino creció en su volumen de importación en 400% entre 1767 y 1793.

1.5.5 Las empresas minero-metalúrgicas en los inicios del México independiente

En 1821 tras su declaración de independencia, México sufrió una terrible sangría a cargo de los capitales retirados del país por los españoles, “el cónsul británico en Jalapa escribió en 1824 que no era menos de ciento cuarenta millones de pesos” (Randall, 2006: 42), podemos fácilmente imaginar lo que este despojo provocó a la República; en primer lugar, la falta de recursos paralizó la economía nacional, los tres distritos mineros importantes que habían mantenido sus operaciones (Sombrerete, Catorce y Zacatecas), pese a la Revolución de Independencia, fueron abandonados. Las minas en su caída arrastraron a la agricultura y al comercio internacional (Ward, 1995: 346). La situación de la Patria era apremiante, para proporcionar alivio inmediato a la situación la Regencia emitió un bando el 20 de febrero de 1822, disminuyendo los impuestos a la producción de plata del 13% al 3%. Además se concluyó el monopolio de la Casa de Apartado y se dio libertad a los mineros para separar el oro de la plata donde y cuando quisieran. La importación del azogue se declaró libre de derechos y se ordenó entregar a los mineros la pólvora a precios de costo (Ward, 1995). La última disposición legal importante fue formalizada por el Congreso de la Unión, en 1823, al derogar los artículos de las ordenanzas de minería de 1783 que prohibían a los extranjeros invertir en la industria minero-metalúrgica mexicana (Randall, 2006), el decreto permitió a los extranjeros asociarse con los ciudadanos mexicanos en la explotación de las minas y el beneficio de los metales. Los Ingleses aprovecharon

con avidez estas reformas, iniciaron por el reconocimiento formal de la Independencia de México y el establecimiento de relaciones diplomáticas con el Gobierno Mexicano en 1825 y continuaron con una inversión gigantesca que se materializó en sólo tres años (de 1823 a 1826) por más de doce millones de pesos, a cargo de siete empresas: *Real del Monte Company* (en Zimapán y Real del Monte); *Bolaños Company* (en Bolaños, Jalisco y Zacatecas); *Tlalpujahu Company* (en El Oro y Tlalpujahu); *Anglo Mexicana Company* (en Guanajuato, Zimapán, Catorce y Real del Monte), la *Guanajuato Company* (en Guanajuato); la *Mexican Mine Company*, y la más grande, dirigida por don Lucas Alamán, *United Mexican Company* (en Guanajuato; Comanja, Jalisco; Zacatecas, Chihuahua, Oaxaca y Temascaltepec y Zacualpan) (Ward, 1995). Este fue el preámbulo de una terrible farsa que terminó en el más grave desastre financiero de la *City*, en doscientos años. H. Ward (1995: 357) escribió al respecto:

“Es preciso asentar que el único conocimiento que hace tres años el público británico tenía de México provenía de una ligera familiaridad con el *Essai politique* del barón de Humboldt; que, aunque contiene información (...) valiosa (...), propendía, sin embargo, a crear una impresión errónea sobre el estado (...) de la Nueva España” (Ward, 1995: 357).

La *Guanajuato Company* fracasó inmediatamente sin llegar a establecerse, las otras seis si lo consiguieron. Aunque la *Mexican Mine Company* quebró en 1826 y la *Anglo Mexicana Company* un año después. Para fines de 1848 sólo sobrevivía

la *United Mexican Company* que el primero de junio de 1849 cedió sus intereses a una compañía de inversionistas mexicanos y desapareció definitivamente.

Las razones del desastre fueron explicadas por Ward (1995), al invertir en México los ingleses no tomaron en cuenta los efectos morales y físicos de la larga guerra de independencia, la dispersión de los trabajadores especializados y la destrucción de la infraestructura nacional. Elementos esenciales para explicar la debacle fueron los errores en la visión científica del barón de Humboldt, que provocaron el desprecio de la experiencia y la tecnología mexicana, se condenaron la maquinaria y los procedimientos, sin ningún análisis previo de su adecuación y potencia.

“Cornualles fue despoblada de la mitad de sus habitantes, para sustituir con un método completamente nuevo el que los mexicanos había preferido a través de su experiencia de tres siglos. El fracaso total de este intento fue la natural consecuencia de la falta de reflexión con que se hizo” (Ward, 1995: 357).

Inclusó la selección de las minas, por los inversionistas ingleses, se hacía basada en alguna referencia de Humboldt. Cualquier mina no mencionada por el explorador alemán era considerada indigna de atención.

1.6 La estructura de la industria mexicana de producción de plata, en los siglos XVIII y XIX.

Escribió el ilustre polígrafo D. Francisco Xavier de Gamboa en sus celebres Comentarios a las Ordenanzas de Minas (1874: 501):

“Conviene conservar la memoria de los lugares insignes en la producción de metales, no sólo por la curiosidad de la noticia, sino por la importancia de la materia. Renacen los metales en muchos terrenos, y su semilla se actúa en las entrañas de la tierra, como las de otros frutos. Habiendo faltado ley al metal, se ha encontrado después con ella. Desamparase las minas por las aguas, falta de fomento, y otras distintas causas, que pueden cesar y si se ignora la ubicación, será difícil volver a su labor. Describen muchos las minas de Francia, que no se les pone mano. Carrillo las de España, estando olvidadas. Barba las del Perú, sin trabajarse en las más de ellas. Y así será conveniente que se tengan noticias de los minerales de la Nueva España corrientes, atrasados y decaídos en su actual estado”

Gamboa realizó un índice de los asientos de minas correspondiente al capítulo XXVIII de sus Comentarios, estableciendo que en 1761 existían en la Nueva España 115 asientos de minas corrientes y desamparadas, noventa y siete de plata, doce de oro, uno de azufre, cuatro de cobre, cuatro de mercurio y uno de estaño.

Humboldt (2004: 324-325, 328) por su parte, asienta que en el reino de la Nueva España, en 1803, había cerca de 500 reales y realitos (es decir incluía a los asientos de minas de poca importancia lo que podría explicar la gran diferencia con los datos de Gamboa); que explotaban cuatro o cinco mil vetas, mediante cerca de tres mil minas. Estas minas se subdividían, a su vez, en 37 distritos mineros, a cuyo frente se encontraban otras tantas diputaciones de minería. Para dar una idea concreta y gráfica de la posición relativa de los criaderos se presenta en los mapas siguientes, el trazado de la línea metalífera formada por el barón de Humboldt (2004) y modificada por Claire Duport (1843), construida uniendo dos centros mineros de primerísima importancia en la época (Guanajuato, Guanajuato y Guadalupe Calvo, Chihuahua) tiene una dirección média de NO-45°-SE (Ramírez 1884: 63). Cerca de esta línea se encuentran los minerales que han sido los más importantes del país durante casi quinientos años: Zacatecas, Fresnillo, Sombrerete, Durango, San Dimas, Guarisamey, Gavilanes, Aguascalientes, Querétaro y Estados de México y Oaxaca; y cerca de ella al Oeste, los minerales pertenecientes a Sinaloa, Sonora, Bolaños, El Oro, Tlalpujahua, Angangueo, Sultepec, Temascaltepec, Zacualpan y Taxco; y al Este; Batopilas, Catorce, Ramos, Charcas, San Pedro, Guadalcázar, Zimapán, El Chico, Pachuca y Real del Monte. (Ramírez 1884: 63).

LÍNEA METALÍFERA



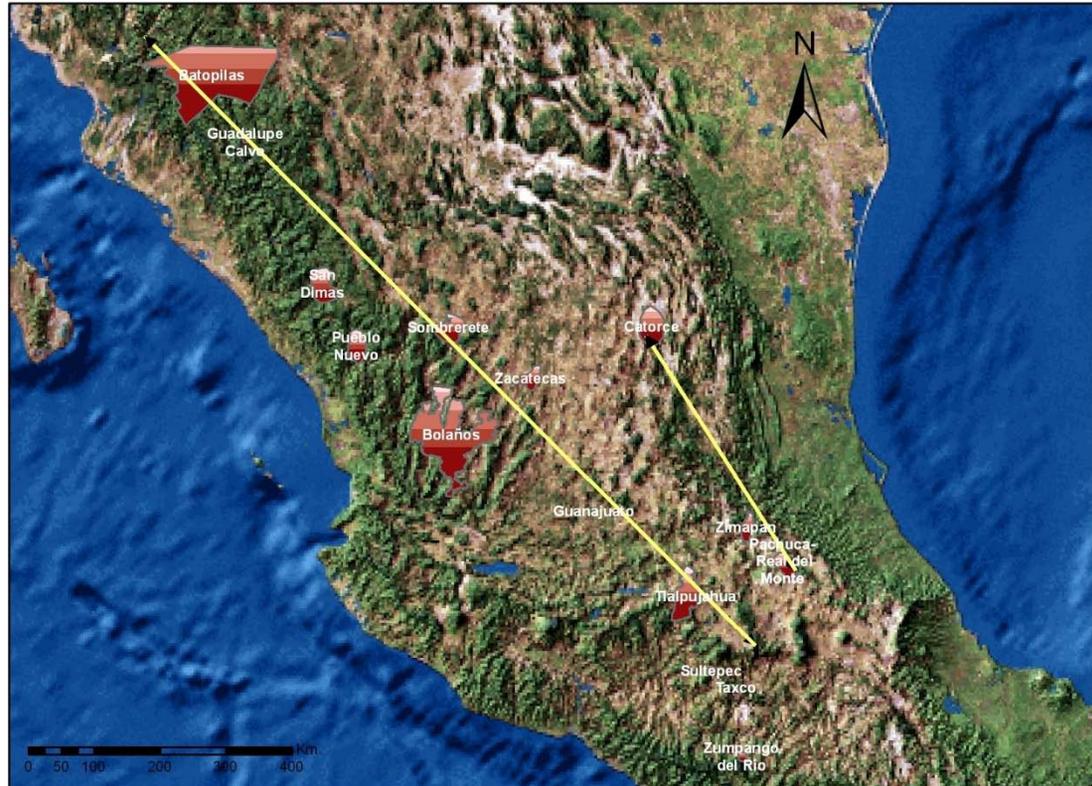
SIMBOLOGÍA

-  Línea metalífera
-  Distritos y Regiones mineras

AUTORES
Avalos-Lozano, J.A., Aguilar-Robledo, M., Medellín-Mián, P., Flores, J.L.
ELABORÓ
Navarrete-Ramírez, F., Hernández-García, A.R. Lab. de SIG de la A.A. de la UASLP, Agosto 2009
FUENTE
Humboldt (2004), Duport (1843), Ramírez (1884)



LÍNEA METALÍFERA



SIMBOLOGÍA

- ← → Línea metalífera
- Distritos y Regiones mineras

AUTORES
Avalos-Lozano, J.A., Aguiar-Robledo, M., Medellín-Mián, P., Flores, J.L.
ELABORÓ
Navarrete-Ramírez, F., Hernández-García, A.R.
Lab. de SIG de la A.A. de la UASLP, Agosto 2009
FUENTE
Humboldt (2004), Dupont (1843), Ramírez (1884)

Santiago Ramirez (1884: 65) ha demostrado que hasta el año de 1884 la Minería en nuestro país, obviamente también la metalurgia que de ella se deriva, estuvo representada (y aún puede decirse que lo está) por las minas de oro y plata, siendo este el primer carácter de la minería mexicana. Al examinar la naturaleza de los criaderos de los minerales de oro y plata, ésta se puede resumir diciendo que casi la totalidad de los minerales de oro y plata en México se encontraban en vetas (Ramírez, 1884: 65). Es conveniente, por lo tanto, antes de pasar a describir las características mineralógicas de los criaderos de plata de México y establecer sus relaciones con las tareas básicas del labrado y la metalurgia de los minerales mexicanos; explicar algunas de las características de las vetas que se beneficiaban a fines del siglo XVIII y principios del XIX, en nuestro país. Estas masas que contienen minerales útiles entre dos capas de un terreno y se llaman vetas son:

“Vena[s] de piedras metálicas, que atraviesan los cerros; llamase manto cuando se extiende en el monte; clavada, cuando va recta y perpendicular al centro; echada, recostada [o inclinada, que penetra en forma diagonal en el suelo y es el tipo de veta más abundante]; (...) serpenteada cuando culebrea; socia cuando se junta con otra; rama cuando sale de la principal”: Gamboa (1874: 500).

Los minerales que entraban en la composición de las vetas metalíferas explotadas en la Nueva España, en la generalidad de los casos, no tenían

relación alguna con la roca de caja o rocas en que armaban, y por lo tanto, no debían estas influir en la composición de aquellas (Ramírez, 1884: 66). De esta forma se deben considerar fundamentalmente las matrices que son principalmente:

- a) La silíceo, denominada siliza en el periodo, principalmente en su variedad de cuarzo, suele presentarse cristalizado, pero es generalmente amorfo; translucido; graso, en ocasiones.
- b) La *calcita*, $CaCO_3$, denominada en el periodo de estudio: espato calcáreo o calizo, casi siempre cristalino, teñido por óxidos metálicos, principalmente de fierro; cuando se presenta magnesio, en la composición, entonces el mineral se denomina dolomita ($Ca, MgCO_3$, llamada en el periodo bruno-espato (Prost, 1998: 46), espato amargo, espato perla o perlado.
- c) La *fluorita*, CaF_2 , llamada en el periodo espato flúor, con sus diversas coloraciones, en ocasiones mezclada con la calcita y el cuarzo.
- d) La *baritina*, $BaSO_4$, blanco, hojoso o cristalizado.
- e) La arcilla impura, entre estas hay algunas que se llaman terrosas o podridas, ricas en mineral útil, al que se da el nombre de *jaboncillo*.
- f) Los óxidos de hierro, que desempeñan un importante papel en la mineralización de los colorados y los *ixtajales*.

Los minerales de plata se dividían, en general, en minerales con matrices metálicas y minerales terrosos. Los primeros comprendían: los minerales plomosos ricos en plata (galena), los minerales cobrizos (fahlerz, cobre gris arsenical), los blendosos (esfalerita) y los piritosos (pirita y calcopirita) [estos minerales se acompañan de una ganga constituida por minerales espáticos, en especial los lapídeos, minerales de brillo vítreo (que presentan caras cristalinas nítidas)]; los segundos todos los que contienen matrices de cuarzo, de arcilla, de óxido de hierro, caliza, etc. (Carrión, 1900: 35).

Francisco Xavier de Sarría (1784: 85) escribe que las reglas para descubrir vetas metálicas consisten en: saber distinguir los crestones; tomarse algunos indicios por el orden o calidad de ciertos árboles o plantas que suelen criarse siguiendo el rumbo de las vetas – doscientos años después apenas comenzamos a comprender estas relaciones, perfectamente factibles –; y encontrar manantiales que pueden dar indicios de la presencia de las vetas, porque regularmente salen de ellas.

En los terrenos donde se dice que las venas son abundantes, la ganga más común es el cuarzo, y a menudo en las pendientes bajas se observan por varias leguas líneas prominentes, o crestones, que se elevan varios metros por encima de las rocas encajonadas. No parece fácil poder admitir que es la acción atmosférica la que causa estas protuberancias. La característica de estos crestones de carecer por

completo de vegetación, permite que sean fácilmente distinguibles en las montañas que han proporcionado las principales explotaciones de México, brindando indicios que motivan los trabajos de exploración de los mineros (Duport, 1843:23).

1.6.1 La naturaleza de los criaderos de minerales que contienen el oro y la plata en el mundo.

En aquel pasaje del prefacio de *The Metallurgy of Lead & Silver*, Collins escribe en 1900:

“Espero que en el resumen ahora presentado se encuentren combinados los requerimientos de precisión y actualidad tan íntegramente como lo permitan las limitaciones de espacio (...) Los procesos obsoletos han recibido sólo una mención casual. Juzgó que los estudiantes de lo que puede ser denominado “metalurgia histórica”, harán mejor en consultar las páginas de autoridades que fueron más cercanos contemporáneos de los procesos que ellos describen”.

Resulta paradójico que, justamente ahora, los estudiantes de la *Metalurgia Histórica* puedan seguir su consejo... estudiando su obra. Collins se ha convertido en una autoridad que analiza procesos hoy obsoletos, pero no por eso menos importantes.

Percy “El padre de la literatura metalúrgica inglesa escribió en su prefacio de *Metallurgy of Silver and Gold, Part I, London, 1880*: “De todas las ramas de la metalurgia, aquella que tiene a la plata como objeto es la más vasta, la más variada y la más complicada” Collins (1900: v). Para el caso mexicano el problema es aun más complicado, pues el argento que se obtiene de las minas mexicanas se extrae de “muy varios minerales” (Humboldt, 2004: 337). La plata se encuentra en la naturaleza en forma nativa (metálica) y combinada con otras sustancias, en sus diferentes combinaciones, la plata puede ser un componente esencial o fortuito de la sustancia mineral que la contiene; sin embargo, en ambos casos los mineros la consideran una mena de plata (Collins, 1900: 19).

Resulta de la mayor importancia establecer, con tanta precisión como sea posible, la forma en la que la plata se combina con otras sustancias (lo mismo sería para las menas de cualquier otro metal), pues de las propiedades de las diferentes combinaciones depende, principalmente, la elección del método para su extracción. A este respecto la metalurgia de la plata resulta mucho más compleja que la del oro, cobre o plomo (Collins, 1900: 19). No solamente es importante considerar el tipo de especies minerales que contienen plata, sino también su ley, es decir, la cantidad de este metal que contienen por unidad de peso de mena, de lo que depende su valor comercial. Las especies minerales que contienen argento como uno de sus componentes esenciales son de tres clases:

- a) Las de importancia mundial: aquellas ampliamente distribuidas y que se presentan, además, con la ley y cantidad suficiente, como para convertirse en menas fundamentales de plata.
- b) Las de importancia local: aquellas ampliamente distribuidas pero que sólo en ciertas localidades se presentan con la ley y cantidad suficiente como para adquirir importancia comercial.
- c) Los minerales raros.

A nivel planetario en la clase *Importancia mundial* encontramos a los siguientes minerales (Collins, 1900: 19-21):

Plata nativa, en ocasiones el metal contenido en esta mena puede encontrarse con notable pureza, con leyes de 995, o bien, en aleación con trazas de oro, cobre, mercurio, níquel, antimonio o bismuto, forma las principales menas de Kongsberg (Noruega) y se presentaba en considerable cantidad en Freiberg (Sajonia).

Argentita, Ag_2S (Glaserz y Sprödglerz), son las menas más comunes de plata en el mundo, es ligeramente maleable, si se encuentra cristalizada o masiva es muy pura, en ocasiones presenta trazas de plomo, fierro y cobre. Era la mena principal de *Erzgebirge*, Sajonia; y del Alto Harz, Alemania.

Estefanita, Ag_5SbS_4 , contiene plata en un 68.5%, era una mena muy abundante y ampliamente distribuida, muy importante en Sajonia, Bohemia y *Schemnitz*, Hungría.

Pirargirita, Ag_3SbS_3 (*Rothgiltigerz*), contiene 59.8% de plata, mena muy distribuida, se presenta casi siempre acompañando a la argentita, estefanita y otras especies, formando agregados. En Europa se encontraba en *Andreasberg, Harz*; Sajonia, Bohemia y Guadalcanal, España.

Proustita, Ag_3AsS_3 , con 65.4% de plata, mena tan ampliamente extendida como las precedentes pero que ocurre en pequeñas cantidades y acompañando a otras especies. Sus principales localidades son en *Erzgebirge*, Sajonia; *Joachimsthal*, Bohemia; Guadalcanal, España.

Polibasita, $(Ag, Cu)_{16}(As, Sb)_2S_{11}$, contiene de un 64 a un 72% de plata, ampliamente distribuida, especialmente en América, se localizó en Aspen, Colorado; *Reese River*, Nevada, *Owyhee*, Idaho; *Freiberg*, Sajonia y *Przibram*, Bohemia.

Tennantita $(Cu, Ag, Fe, Zn)_{12}As_4S_{13}$, (*Fahlerz*), Importantísima mena de plata, la proporción del argenteo varía de 0.06 a 31% siendo la concentración mayor en las variedades libres de arsénico. Es la mena principal en *Ontario (Utah)*; *Huanchaca y Potosí (Bolivia)*; *Casapalca (Perú)*; en *Harz, Sajonia, Bohemia, Hungría y Transilvania*, en *Río Tinto, España*, se encuentra asociada con piritita y calcopiritita.

Clorargirita, $AgCl$, (*Hornerz*); con 75.3% de plata, mena de amplia distribución, aunque en muchos asentamientos de minas se ha confundido con la *Br-Clorargirita*. La clorargirita es común en *Potosí, Bolivia*; *Pasco*,

Perú; y en *Leadville*, Colorado. El *Hornerz* de Europa tiene una diferente composición a la de la clorargirita mexicana, pues aquella presentaba aluminio y ácido sulfúrico.

Br-Clorargirita, $Ag(Cl, Br)$, llamada clorobromuro de plata, plata córnea verde, clorobromoargirita y embolita mena muy abundante en Potosí (Bolivia), Pasco (Perú), Leadville (Colorado), y *Broken Hill* (N.S.W.).

A nivel mundial en la clase *Importancia local* encontramos a los siguientes minerales (Collins 1900: 22-23):

Amalgama, Ag_mHg_n , en el siglo XIX sólo fue una mena de importancia comercial en Arqueros (Chile).

Discrasita, Ag_3Sb , se presentaba en grandes masas en Chile, Bolivia y Harz.

Stromeyerita, $AgCuS$, presenta un 51.3% de plata, no se encuentra ampliamente distribuida, se explotaba en Aconcagua (Chile), Arizona y Colorado.

Freieslebenita, $AgPbSbS_3$, tiene una concentración de plata de 22 a 24%, mena poco distribuida, se explotaba comercialmente en La Encina (España) y Przibram (Bohemia), también se localizaba en Freiberg.

Cosalita, $Pb_2Bi_2S_5$, presenta de un 2.5 a un 16% de plata se encontró en Colorado.

Hessita, Ag_2Te , contiene 62,8% de plata, pero a menudo la plata es remplazada por el oro, mezclada con otros minerales es importante en Transilvania, Hungría y Savodinski (Altai, Rusia).

Bromoargirita, $AgBr$, contiene 57.4% de plata, se encuentra en Chañarcillo (Chile), Bolivia y Perú.

Yodargirita, AgI ; contiene 46% de plata, se encuentra en Algodones y Chañarcillo (Chile), y en Arizona.

A nivel mundial en la clase *minerales raros encontramos* a los siguientes minerales (Collins 1900: 23):

Electrum ($AuAg$); *Acantita* (Ag_2S); *Petzita* ($AuAg_2$) *Te*; *Naumannita* (Ag_2S); *Aguilarita* (β - Ag_4SeS); *Miargirita* ($AgSbS_2$); *Jalpaita* ($3(Ag_2S)$).

Los siguientes minerales contienen plata sólo como un constituyente accidental, pero su abundancia puede ser tan grande que ellas pueden ser menas de plata de gran importancia, en ocasiones su explotación resulta comercialmente más ventajosa que la de los minerales de plata (Collins, 1900: 23):

Galena (PbS), Sulfuro de plomo, importante mena de plata y única fuente de plomo, contiene de 1 a 200 onzas por tonelada de plata y de 70 a 80% de plomo. "Una grandísima parte de la plata que se produce en Europa, se debe a la galena argentífera (*silberhaltiger Bleiglanz*) (Humboldt 2004: 339). Este mineral es particularmente rico cuando se encuentra mezclada

con otros sulfuros, en especial con la tennantita o *fahlerz*, y más particularmente cuando se encuentra en contacto con rocas eruptivas, cristalinas o metamórficas, como en Bohemia, Sajonia, Hungría y el Harz, es riquísima en plata, no como un constituyente sino debido a la presencia de minerales argentíferos finamente diseminados en la galena o en su matriz, tal como la argentita (polvorilla), estefanita (rosicler negro) o la tennantita (*fahlerz*), aun la blenda y la pirita en estas vetas mezcladas usualmente contienen plata (Collins, 1899: 36-37).

Esfalerita, $(Zn, Fe)S$; presenta de 0 a 95 onzas de plata por tonelada.

Pirita, FeS_2 ; mena que puede contener de 0 a 146 onzas de plata por tonelada.

Tetraedrita $(Cu, Fe)_{12}Sb_4S_{13}$.

Calcopirita, $CuFeS_2$, mena de plata.

Calcosina Cu_2S .

Arsenopirita, $FeAsS$.

1.6.2 La naturaleza de los criaderos novohispanos de minerales que contienen el oro y la plata.

Santiago Ramírez (1884: 79-80) escribió que a medida que aumenta la profundidad de las vetas— por lo menos dentro de ciertos límites — aumenta también la riqueza en platas de las mismas. El mismo autor observó que en muchas vetas se presentaba una notable diferencia entre

los caracteres mineralógicos de las partes superficiales y las más profundas, pues – anotó – en la mayor parte de las minas mexicanas, los minerales de plata superficiales, localizados en la parte de la veta que los europeos llamaban el “sombrero de hierro” de los filones, o “*gossan*”; están diseminados en tierras ferruginosas, que por ser fácilmente desmoronadizas se denominan *podridas*. Estos minerales oxidados se llamaban colorados en México (pacos o cascajos en Perú), deben su nombre a la presencia de óxidos de hierro, por lo que su color normalmente era pardo-rojizo; las combinaciones químicas que presentaban eran en lo general cloruros, bromuros, yoduros y sulfuros, hallándose también la plata en estado nativo. Pero no todos los colorados contenían halogenuros, en Bolivia y algunos distritos de México los óxidos de hierro se mezclaban exclusivamente con plata nativa y *argentita*; en cambio en el distrito de Catorce los colorados (de color rojo ladrillo) eran óxidos de hierro mezclados con *clorargirita* y otros halogenuros. Los colorados, en lo general, presentaban bajas leyes de plata, pero su explotación resultaba ventajosa pues eran fáciles de tumbar y entraban bien a la amalgamación por patio y en Catorce por cazo, Ramírez (1884: 79).

A cierta profundidad la mayoría de las vetas mexicanas presentaban otro aspecto, en lo general, estaban compuestas de minerales reducidos como sulfuros, en particular pirita, y otras sulfosales, sobre matrices o gangas

duras y resistentes, por lo que su *tumbe* era muy costoso. A estos minerales se les denominaba *los negros* en la Nueva España, y desde un punto de vista metalúrgico se consideran muy rebeldes.

Considerando la composición mineralógica y la influencia de ésta sobre la extracción y el beneficio, Ramírez (1884: 80) afirma, y junto con él diversos autores, que la ley de plata aumenta con la profundidad de la veta; razón por la cual los mineros mexicanos procuraban establecer los trabajos de disfrute a la mayor profundidad posible. Estas opiniones fruto de la observación y la experiencia con las minas mexicanas, no fueron compartidas por Brading (2004: 181) quien erróneamente afirmó:

“Generalmente se extrae el mineral más rico; después al irse haciendo más profundos los tiros, los costos de producción aumentan [aseveración que por supuesto es correcta] y la calidad del mineral decae [afirmación errónea], hasta que llega el momento en que la extracción deja de ser productiva”

La equivocación es comprensible pues Brading se basó en un texto de Barger y Schurr, que se refiere a industrias mineras con recursos técnicos modernos y sin problemas financieros, cuya única limitación, en la explotación, es el precio internacional de la plata. No es, por supuesto, el caso de los mineros mexicanos del siglo XVIII que se veían forzados a abandonar la explotación de sus minas, por no tener los recursos para seguirlas operando. Por otro lado, la definición de un tiro profundo varía

dependiendo de los recursos tecnológicos para su explotación, un tiro profundo en el siglo XVIII, no necesariamente lo es en el siglo XX:

Para nuestros fines es conveniente señalar que en los colorados de varios reales mexicanos se encontraban muy frecuentemente: cerusita (PbCO_3), y *anglesita*, (PbSO_4 , espato de plomo), aunque esta última en menor proporción, como en las minas de Linares, España. Otro mineral plomoso que solía presentarse en el sombrero de hierro es la *piromorfita*, $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ (Collins, 1899: 33,34), llamado en México, plomo verde. El cambio de las vetas oxidadas a las reducidas podía tener lugar gradualmente, como en Catorce y muchos otros distritos mexicanos, o repentinamente, como en *Iron Hill*, *Leadville*. La profundidad a la que el cambio tiene lugar es muy variable y depende del nivel del acuífero, de la permeabilidad de las rocas y de la precipitación (Collins, 1899: 35). En México la zona de colorados (*gossan*) se forma por oxidación atmosférica de los sulfuros de la vetas, que se oxidaban transformándose en otros compuestos: las piritas se convierten en óxidos de hierro; la calcopirita forma óxidos de hierro y carbonatos de cobre; la esfalerita se lixivia parcialmente como sulfato de zinc, y parte se modifica a smithsonita (ZnCO_3); una fracción de los sulfuros y sulfosales de plata se conservan, pero muy comúnmente forman halogenuros (Clorargirita, Br-Clorargirita, Bromoargirita y Yodargirita) con las trazas de halógenos que contienen el agua meteórica y la atmósfera; tanto la anglesita, como la cerusita y la

piromorfita, presentes en la zona de oxidación, y denominadas en México en forma genérica como *carbonatos*, son productos de descomposición secundaria de la galena. Es curioso que los depósitos de colorados que presentan *carbonatos* sean generalmente más ricos en plata que los depósitos profundos de sulfuros, a cuya oxidación deben su origen, esto es debido a un proceso de concentración, pues los sulfatos, carbonatos y fosfatos de plomo son mucho más solubles que los halogenuros y sulfuros de plata. En la zona de colorados frecuentemente se localizaban pequeños nódulos de galena, mucho más ricos en plata que su matriz. En ocasiones se presentaba en el sombrero de hierro oro que permanecía en forma nativa. La particularidad de algunos de los minerales oxidados de presentar un peso específico considerablemente diferente al de la galena y otros sulfuros y su gran friabilidad²⁰, comparada con la del cuarzo, la limonita y otras gangas, permitía la aplicación de procedimientos de concentración mediante máquinas *Stossheerd* como las utilizadas en 1826 por la compañía alemana del Chico, Hidalgo; o las planillas, utilizadas desde el siglo XVIII en el distrito de Catorce (Ward 1995: 511, 604).

La zona de colorados fue muy importante en Catorce, especialmente en la mina de Concepción, donde la *clorargirita* se acompañaba de Wulfenita

²⁰ Desmenuzable

(molibdato de plomo, $PbMoO_4$), conocida en México como plomo amarillo y en Europa como *Gell-bleierz*; y de *piromorfita*, $Pb_5(PO_4)_3Cl$, llamada plomo verde en México y *Grünbleierz* en Sajonia. En el distrito de Batopilas la zona de colorados presentaba *bromoargirita* ($AgBr$), mezclada con plata nativa (Cronshaw 1921), Humboldt (2004: 339) señala que en Batopilas la plata nativa se encontraba en masas considerables de más de 200 kilogramos de peso, en forma filiforme, dendrítica y como entretejida a través de mantos de carbonato de cal; en Guanajuato la zona oxidada era muy superficial, la minería se concentro, por lo tanto, en la zona de negros. En Pachuca la *gossan* se constituía de óxidos de hierro y manganeso mezclados con *bromoargirita* y *clorargirita*, pero su explotación nunca fue muy importante todas las bonanzas en el distrito se basaron en la explotación de las zonas de negros; en el distrito de Taxco los colorados se constituían por óxidos de hierro, rojo, amarillo y pardo, en los cuales se encontraban diseminadas partículas casi imperceptibles de *argentita* y plata nativa, adicionalmente se observaba galena y sus derivados anglesita, cerusita y piromorfita, magnetita y azurita (Prost 1998: 213), pero eran muy pobres en plata no alcanzando por lo común más de 4 onzas de este metal por quintal, esta formación era análoga a los *pacos* de Fuentestiana y de Pasco en el Perú (Humboldt 2004: 365); en Zimapán la zona de colorados presentaba anglesita, cerusita y piromorfita, además de Fluorita (CaF_2) o espato flúor, un fundente poderosísimo, que además se encontraba en los distritos de Sultepec,

Zacualpan, Sombrerete y Bolaños; fue en este último donde Joseph Garcés y Eguía (1873: 56) descubrió la acción del fundente:

“En el año de [1795], haciendo demostración de mi beneficio en Bolaños, observé que un horno sin el mejor soplo, me fundía en veinticuatro horas, veinticuatro quintales de mineral con sus correspondientes ligas: me admiró el suceso, porque en los mejores hornos y con el mejor soplo, nunca había conseguido que mi fundición llegara a las dos terceras partes que allí fundía. Hice algún examen de las causas (...) pero no pude encontrar otra a que atribuirlo que al espato flúor de que están cargados aquellos minerales”

No es sorprendente que los colorados fueran dóciles a la fundición, esto es fácil de explicar por la presencia común de minerales plomosos en éstos, lo que adicionalmente aumentaba su ley obligando su tratamiento por fundición, si además se presentaba la fluorita entonces el beneficio por fuego resultaba muy conveniente y sencillísimo. Por otro lado el tumbe de estas tierras ferruginosas llamadas *podridas*, resultaba muy barato y podía realizarse sin utilizar acero y pólvora. Estas condiciones permitieron las primeras operaciones metalúrgicas. Los colorados que no presentaban minerales plomosos podían ser fundidos agregándoles litargirio (γPbO), también conocido como greta, pero este procedimiento no fue favorecido, pues desgraciadamente se perdía mucha plata por

volatilización o en las escorias, Garcés y Eguía (1873) lo resolvió destruyendo los cloruros con tequezquite en la fundición.

Aunque la cantidad de *colorados* en México era enorme (Humboldt 2004: 341), las cuatro quintas partes de la plata que se beneficiaba en nuestro país, en 1884, eran *negros* (Ramírez 1884: 84), alcanzando, en 1843, 7/8 partes de la plata producida en la República (Duport 1843: 29), .

En México los minerales de argentíferos más importantes fueron los siguientes:

Plata nativa. En México era la mena principal del distrito de Batopilas (México) y se encontraba en los distritos de Zacualpan, Tlalpujahua, Catorce, Pachuca, Guanajuato, Zacatecas, Taxco (era dendrítica y se encontraba mezclada con la selenita), Sombrerete y Guarisamey (Dovalina, J., G. Vivar, M. Santillan, C.G. Mijares. 1923).

Argentita, Ag_2S (Glaserz y Sprödglerz), eran las menas más comunes de plata en la Nueva España, es negra y suave, por lo que se conocía en México como plata negra o polvorilla (Halse, 1908), En México se le conoce como plata vítrea, plata negra, polvorilla, azul plomillosa, negrilla, petlanque negro; y se encontraba en gran abundancia en las diputaciones de minería de Guanajuato, Zacatecas y Real del Monte; en forma abundante en Pachuca, Taxco, Catorce, Guarisamey y Batopilas; se presenta en forma regular en Sultepec, Zacualpan y Tlalpujahua; poca en Zimapán; y muy poca en Sombrerete (Dovalina *et al.*, 1923).

Estefanita, Ag_5SbS_4 , contiene plata en un 68.5%, era una mena muy abundante en nuestro país, se le conocía como plata agría, plata gris antimonial, rosicler negro, plata quebradiza y se localizaba en forma muy abundante en Sombrerete (Ramírez 1884: 138-39), Guanajuato, Zacatecas y Real del Monte, Taxco, Catorce, Guarisamey, Zacualpan y Zimapán (Dovalina *et al.*, 1923).

Pirargirita, Ag_3SbS_3 (*Rothgiltigerz*). En México se localizó en los distritos de Zacatecas y Sombrerete, de este último distrito se obtuvieron, beneficiando la pirargirita, 700 000 marcos de plata, a fines del siglo XVIII y en el espacio de cinco a seis meses, de una sola mina llamada “La Veta Negra”. En Sombrerete abundan las piritas (FeS_2), diseminadas entre la pirargirita, lo que estorbaba mucho al beneficio de patio. La pirargirita era conocida en la República Mexicana como plata roja antimonial, rubí blenda, rosicler oscuro, petlanque. Otros distritos en los que se presentaba fueron: Sultepec, Zacualpan, Tlalpujahuá, Catorce, Pachuca, Real del Monte, Guanajuato (poca), Taxco (poca), Batopilas y Bolaños (Dovalina *et al.*, 1923).

Proustita, Ag_3AsS_3 . En México se le llamaba plata roja arsenical, rosicler claro; y se explotaba en los distritos de Taxco, Pachuca, Catorce, Zacualpan, Guanajuato, Zacatecas, Bolaños, Tlalpujahuá (muy poca) (Dovalina *et al.*, 1923).

Polibasita, $(Ag, Cu)_{16}(As, Sb)_2S_{11}$. En México se observó en las diputaciones de Guarisamey, Taxco, Zacualpan, Tlalpujahuá, Catorce, Pachuca, Real del Monte, Zacatecas y Guanajuato (Dovalina *et al.*, 1923).

Tennantita $(Cu, Ag, Fe, Zn)_{12}As_4S_{13}$, (Fahlerz), Importantísima mena de plata. En México se conoce como cobre gris arsenical y panabasa y era una mena de gran importancia en Sierra de Pinos y Ramos (en Ramos se acompaña de argentita, pirita, esfalerita y calcosina), ambos en San Luis Potosí; Taxco, Real del Monte, Pachuca, Charcas, Parral y Cusihuiriachic. La *tennantita* no era apta para el tratamiento por amalgamación (Dovalina *et al.*, 1923).

Clorargirita, $AgCl$, (Hornerz). En nuestro país la *clorargirita* se denominaba plata córnea, plata muriatada y cerargirita, era una mena muy importante en Catorce y Santa Eulalia, se presentaba en Zacualpan, Tlalpujahuá, Guanajuato, Sombrerete y en la mina Apagacandela de Taxco (Dovalina *et al.*, 1923).

Br-Clorargirita, $Ag(Cl, Br)$. En México se encontraba en los distritos de Santa Eulalia y principalmente en Catorce, también en Tlalpujahuá, Guanajuato y muy poca en Zacatecas y Durango (Dovalina *et al.*, 1923).

Cosalita, $Pb_2Bi_2S_5$. Es una importante mena de plata en Candameña (Chihuahua, México), donde una variedad presentaba una ley del 15%, en la mina de Loreto ((Dovalina *et al.*, 1923).

Bromoargirita, AgBr. En México se le conoce como bromirita, bromiargirita, plata verde, bromuro de plata, plata córnea amarilla melada; y se encuentra en Fresnillo, Plateros, Mazapil y principalmente en Catorce. Este mineral se presenta en la zona de colorados de las vetas (Dovalina *et al.*, 1923).

Yodargirita, AgI. En México se le conoce como plata yodurada, plata córnea amarilla; y se encuentra en, Mazapil y en Catorce. Este mineral se presenta en la zona de colorados de las vetas (Dovalina *et al.*, 1923).

Electrum (AuAg), Ramírez (1884: 83) mencionó que en el siglo XIX la explotación de este mineral adquirió cierta importancia comercial en México.

Naumannita (Ag₂S). Se encuentra en los distritos de Taxco y Guanajuato ((Dovalina *et al.*, 1923).

Aguilarita (β-Ag₄SeS); Se encuentra en el distrito de Guanajuato (Dovalina *et al.*, 1923).

Miargirita (AgSbS₂); Se encuentra en los distritos de Sombrerete y Catorce (Dovalina *et al.*, 1923).

Galena (PbS), Sulfuro de plomo. En México aunque la mayor parte de las vetas presentaban un poco de galena argentífera, sólo había un pequeño número donde fuera muy importante – según Humboldt, 2004: 339 – sólo era objeto especial de laborío en unas pocas minas, ubicadas en

Zimapán, Parral y San Nicolás de Croix, en las restantes se trabajaba en forma secundaria. Esta diferencia explica las particularidades de los sistemas de beneficio en México. En nuestro país la galena se denominaba alcohol de alfareros, michoso, relumbroso, soroche, plomo reluciente, plomo michoso, esmeril, tescuabate.

Esfalerita, $(Zn, Fe)S$; presenta de 0 a 95 onzas de plata por tonelada; una mena de plata bastante común en México, principalmente en Taxco y Sombrerete (Ramírez, 1884: 138-39), en la república Mexicana se conoce como blenda, falsa galena, estoraque, ojo de víbora, michoso, relumbrón.

Pirita, FeS_2 ; mena que puede contener de 0 a 146 onzas de plata por tonelada; muy común en México, donde se le conocía como fierro sulfurado, bronce chino, bronce margaritoso, bronce soroche. Las piritas se trataban por patio con cierta dificultad. Se presentaba en los distritos de Sultepec, Zacualpan, Tlalpujahuá, Catorce, Pachuca, Guarisamey, Batopilas, Bolaños, Guanajuato, Zacatecas, Taxco, Zimapán y Sombrerete; es decir en todos los distritos estudiados.

Tetraedrita $(Cu, Fe)_{12}Sb_4S_{13}$; presente en los distritos de Bolaños, Zimapán, Taxco, Zacatecas, Catorce y Zacualpan; mena de plata de regular importancia, se conocía en el país como cobre gris, cobre pavonado, panabasa. No se consideraba apta para el tratamiento por patio.

Calcopirita, $CuFeS_2$, mena de plata, llamada en la República Mexicana cobre amarillo, utilizada adicionalmente para la preparación del magistral (catalizador del método mexicano de amalgamación). Presente en los distritos de Zacualpan, Catorce, Pachuca, Guanajuato, Zacatecas, Taxco Zimapán, Sombrerete y Guarisamey.

Calcosina Cu_2S ; mena de plata, llamada en México cobre vítreo, calcosita y cobre sulfurado. Estorbaba el beneficio por patio si no se quemaban previamente los metales. Se encontraba en los distritos mineros de Sombrerete, Taxco (Garcés y Eguía, 1873: 78-79) y Sultepec (Ramírez, 1884: 501).

Arsenopirita, $FeAsS$; llamado en México mispickel, piritas arsenicales, piritita blanca, fierro arsenical; estorba el beneficio por patio si no se queman previamente los metales. Este mineral era muy raro en México y se encontraba en Taxco y en una sola mina de Catorce.

La presencia de calcosina y arsenopirita en los minerales de Sombrerete y Taxco podría explicar porque en estos reales, en 1803, a diferencia de todos los restantes, se reverberaba o se quemaba en piedra el mineral, en forma previa al tratamiento, la explicación comúnmente aceptada, formulada por Federico Sonneschmid (1825: 67) es que el tratamiento se aplicaba a los minerales muy abronzados (ricos en piritas), explicación también postulada por Humboldt (2004: 374):

“Cuando los minerales son muy piritosos, se los quema al aire libre, apilados sobre camas de leña como en Sombrerete, o ya reducidos a lama, poniéndolos en hornos de reverbero que llaman *comalillos*”.

En cambio, el mejor metalurgista de principios del siglo XIX don Joseph Garcés y Eguía no le veía ningún sentido a la reverberación:

“El quemado en piedra solo lo he visto practicar en Sombrerete (...) porque estando aquellos metales demasadamente cargados de azufre (...) La quema de los metales en polvo se practica en muy pocos reales de minas; yo solo lo he visto hacer en Sultepec, tengo noticia de que se hace en Taxco. En los dichos reales queman con unos hornos que llaman *comalillos* (...) en la práctica de estos reales de minas (...) nunca se me ha proporcionado el tratar (...) sus metales (...) he observado que abunda en ellos la pirita sulfúrea menuda (bronce *margaritoso*), alguna cobriza (no *chistle*), alguna blenda (estoraque y ojo de víbora), y poca galena (soroche plomoso reluciente), sus platas son comúnmente rosicleres diseminados (petlanque menudo), plata sulfúrea (polvorilla), y en la matriz alguna marga (lechilla). Todas estas sustancias en las mismas proporciones (según la vista) las he hallado en muchos metales de Zacatecas y siempre los vi beneficiar sin quema”

La calcosina y la arsenopirita no existían en Zacatecas, y es poco probable que metalurgistas expertos de reales importantes practicaran este paso del beneficio sin ninguna razón. Ramírez (1884: 646) señala “En algunas haciendas, antes de la formación de la torta, se somete el metal a una reverberación, que tiene por objeto destruir ciertos compuestos cuya presencia hace que sean rebeldes a éste tratamiento [amalgamación mexicana] los minerales en que se encuentran”

1.6.3 Menas comerciales y su modo de ocurrencia

La variedad de asociaciones de los minerales argentíferos es muy grande, es importante, por lo tanto, mencionar aquellos minerales de plata que se encuentren en las principales localidades de México, incluyendo algunos, especialmente relevantes, de otras partes del mundo, para propósitos de referencia, junto con los minerales metálicos y no-metálicos que los acompañan. Utilizando la misma simbología de Collins (1900: 23): los minerales argentíferos se identificarán con el símbolo P, los minerales pesados acompañantes (frecuentemente conteniendo plata) con el símbolo M, mientras la naturaleza de la ganga se identificara con el símbolo G. Los minerales en cada clase se colocarán en riguroso orden de importancia, los muy abundantes con **negritas** y los raros o poco importantes por su cantidad entre parentesis.

Europa.

Freiberg (Sajonia).

P: *freieslebenita*, $AgPbSbS_3$

M: **pirita**, FeS_2 ; **galena**, PbS ; *esfalerita*, $(Zn, Fe)S$; *calcopirita*, $CuFeS_2$; *arsenopirita*, $FeAsS$.

G: *cuarzo*, SiO_2 ; *dolomita*, $(Ca, Mg)CO_3$; (*fluorita*, CaF_2).

Schneeberg (Sajonia).

P: **plata nativa**; *argentita*, Ag_2S ; *pirargirita*, Ag_3SbS_3 .

M: *pirita*, FeS_2 ; *galena*, PbS ; *esfalerita*, $(Zn, Fe)S$; **esmaltita**, **arseniuro de cobalto**, $CoAs_2$; *cobaltita*, $CoAsS$; *bismuto nativo*; *níquel*; *minerales de uranio*.

G: *cuarzo*, SiO_2 ; *baritina*, $BaSO_4$; *fluorita*, CaF_2 .

Andreasberg (Harz).

P: *pirargirita*, Ag_3SbS_3 ; *proustita*, Ag_3AsS_3 ; *plata nativa*; *discrasita*, Ag_3Sb .

M: **galena**, PbS ; *esfalerita*, $(Zn, Fe)S$; (*arsenico nativo y antimonio*).

G: *cuarzo*, SiO_2 ; *calcita*, $CaCO_3$.

Rammelsberg (Harz).

P: Sin metales argentíferos especiales.

M: **pirita**, FeS_2 ; **galena**, PbS ; *esfalerita*, $(Zn, Fe)S$; *calcopirita*, $CuFeS_2$.

G: **baritina**, $BaSO_4$; *cuarzo*, SiO_2 .

Przibram (Bohemia).

P: *tennantita* $(\text{Cu,Ag,Fe,Zn})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$, *fahlerz*; la mayoría de la plata en galena y esfalerita.

M: **galena, PbS**; galena (antimonial); **esfalerita, (Zn, Fe)S**; *pirita, FeS*; (*calcopirita, CuFeS₂* y *estibina, Sb₂S₃*).

G: *cuarzo, SiO₂*; *siderita, Fe₂+CO₃*; *dolomita, (Ca, Mg)CO₃*; *baritina, BaSO₄*.

Kongsberg (Noruega).

P: **plata nativa**; *argentita, Ag₂S*; *pirargirita, Ag₃SbS₃*.

M: *pirrotina, Fe_{1-x}S*; *esfalerita, (Zn, Fe)S*; *pirita, FeS₂*; *calcopirita, CuFeS₂*; *Galena, PbS*; y *arsenico nativo, As*.

G: *calcita, CaCO₃*; *cuarzo, SiO₂*; *siderita, Fe₂+CO₃*; *fluorita, CaF₂*; *baritina, BaSO₄*.

Sudamerica.

Casapalca (Perú).

P: **tennantita** $(\text{Cu,Ag,Fe,Zn})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$, **fahlerz** (muy rico).

M: **galena, PbS**; *esfalerita, (Zn, Fe)S*; *pirita, FeS₂*; *calcopirita, CuFeS₂*.

Pasco (Perú).

P: **plata nativa**; *argentita, Ag₂S*; *proustita, Ag₃AsS₃*.

M: *pirita, FeS₂*; *cerusita, PbCO₃*; *galena, PbS*; *calcopirita, CuFeS₂*.

G: *cuarzo, SiO₂; óxidos de hierro; arcillas ferruginosas.*

Huanchaca (Bolivia).

P: ***tennantita (Cu,Ag,Fe,Zn)₁₂As₄S₁₃, fahlerz*** (muy rico freibergita con 12% de plata).

M: ***pirita, FeS₂; esfalerita, (Zn, Fe)S; galena, PbS; (calcopirita, CuFeS₂).***

G: *cuarzo, SiO₂, principalmente.*

México.

Guanajuato (Veta Madre).

P: *argentita, Ag₂S; estefanita, Ag₅SbS₄; polibasita, (Ag, Cu)₁₆(As, Sb)₂S₁₁;*
oro.

M: *pirita, FeS₂; calcopirita, CuFeS₂; (esfalerita, (Zn, Fe)S; galena, PbS;*
(arsenopirita, FeAsS).

G: *cuarzo, SiO₂; ametista; calcita, CaCO₃; dolomita, (Ca, Mg)CO₃; (talco;*
yeso; siderita; fluorita, asbesto). No se encuentran halogenuros de plata ni
baritina, BaSO₄.

Zacatecas (Veta Madre).

P: *plata nativa; pirargirita, Ag₃SbS₃; estefanita, Ag₅SbS₄; argentita, Ag₂S;*
(proustita, Ag₃AsS₃); y Clorargirita, AgCl.

M: ***pirita, FeS₂*** (sin ley de plata); ***esfalerita, (Zn, Fe)S;*** *galena, PbS;*
(estibina, Sb₂S₃).

G: cuarzo, SiO_2 ; piedra cornea; calcita, CaCO_3 ; baritina, BaSO_4 .

Catorce (colorados).

P: **Br-Clorargirita, Cl-bromoargirita, Ag(Cl, Br)**; plata nativa; clorargirita, AgCl ; bromoargirita, AgBr .

M: **wulfenita, PbMoO_4 ; piromorfita, $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$; galena, PbS ; cerusita, PbCO_3 ; pirolusita, MnO_2** (Humboldt 2004: 338).

G: cuarzo, SiO_2 ; calcita, CaCO_3 ; óxidos de hierro; arcillas ferruginosas.

Catorce (negros).

P: **pirargirita, Ag_3SbS_3 ; plata azul de Catorce (acantita, dolomita y plata nativa (Ag_2S , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, Ag))** (Halse 1908).

M: ninguno.

G: cuarzo, SiO_2 ; dolomita, $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$.

Pachuca.

P: argentita, Ag_2S ; plata nativa; tennantita $(\text{Cu}, \text{Ag}, \text{Fe}, \text{Zn})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$, fahlerz; pirargirita, Ag_3SbS_3 ; estefanita, Ag_5SbS_4 .

M: **esfalerita, $(\text{Zn}, \text{Fe})\text{S}$; arsenopirita, FeAsS ; galena, PbS ; pirita, FeS_2 ; calcopirita, CuFeS_2 .**

G: cuarzo, SiO_2 ; piedra cornea; ametista; calcita, CaCO_3 ; baritina, BaSO_4 .

Real del Monte.

P: *argentita*, Ag_2S ; *plata nativa*; *pirargirita*, Ag_3SbS_3 ; (*polibasita*, $(Ag, Cu)_{16}(As, Sb)_2S_{11}$).

M: *galena*, PbS ; *esfalerita*, $(Zn, Fe)S$; *pirita*, FeS_2 ; *calcopirita*, $CuFeS_2$.

G: *cuarzo*, SiO_2 ; *calcita*, $CaCO_3$; porfidos descompuestos. (Ramírez 1884: 470).

Taxco.

P: *argentita*, Ag_2S ; *polibasita*, $(Ag, Cu)_{16}(As, Sb)_2S_{11}$; *pirargirita*, Ag_3SbS_3 ; *tennantita* $(Cu, Ag, Fe, Zn)_{12}As_4S_{13}$; *proustita*, Ag_3AsS_3 .

M: ***esfalerita*, $(Zn, Fe)S$** ; *galena*, PbS ; *pirita*, FeS_2 ; *pirrotina*, $Fe_{1-x}S$; (*calcopirita*, $CuFeS_2$; *Azurita*: $Cu(OH)_2 \cdot 2(CuCO_3)$)

G: *cuarzo*, SiO_2 ; *calcita*, $CaCO_3$; yeso.

Batopilas.

P: ***plata nativa***; *argentita*, Ag_2S ; *clorargirita*, $AgCl$; *proustita*, Ag_3AsS_3 .

M: *ninguna*.

G: *dolomita*, $(Ca, Mg)CO_3$ (Del Río 1832: 85); *calcita*, $CaCO_3$; (*cuarzo*, SiO_2).

Sombrete.

P: *pirargirita*, Ag_3SbS_3 ; *proustita*, Ag_3AsS_3 ; *estefanita*, Ag_5SbS_4 . La abundancia de piritas dificultaba el tratamiento del rosicler (Humboldt, 2004: 338).

M: **pirita, FeS₂**. (De este mineral se extrajeron 700 000 marcos de la Veta Negra en cinco o seis meses) (Humboldt, 2004: 338).

G: *baritina, BaSO₄*.

Zimapán.

P: Ninguno.

M: **galena, PbS**, Mena explotada. (Humboldt 2004: 339); *esfalerita, (Zn, Fe)S*; *pirita, FeS₂*; **litargirio, greta, γPbO**; **cerusita, PbCO₃**; (*calcopirita, CuFeS₂*; *tetraedrita (Cu, Fe)₁₂Sb₄S₁₃*).

G: **fluorita, CaF₂**. (Humboldt, 2004: 338)

Bolaños.

P: *pirargirita, Ag₃SbS₃*; *proustita, Ag₃AsS₃*.

M: **litargirio, greta, γPbO**; **cerusita, PbCO₃**; *azurita: Cu(OH)₂-2(CuCO₃)*; *malaquita: Cu(OH)₂-CuCO₃*; *tetraedrita (Cu, Fe)₁₂Sb₄S₁₃*);

G: **fluorita, CaF₂**. (Humboldt 2004: 338), (Garcés y Eguía, 1873: 56).
Litargirio, greta, γPbO; *calcita, CaCO₃*.

Tlalpujahua.

P: **oro nativo** (diseminado sobre la matriz); **plata nativa** (en todas las minas); *argentita, Ag₂S* (*llamada plata azul en la localidad*); *pirargirita, Ag₃SbS₃*; *estefanita, Ag₅SbS₄*.

M: **pirita, FeS_2** (sin ley de plata); goetita-limonita, $FeO \cdot OH$ (hierro pardo argentífero denominado en México quemazón).

G: *cuarzo, SiO_2 ; calcita, $CaCO_3$.*

Sultepec.

P: (*argentita, Ag_2S*).

M: **galena, PbS** (con muy poca plata, se explotan los minerales plomosos para las fundiciones se llaman sorroches); *pirita, FeS_2 ;*

G: *cuarzo, SiO_2 ; calcita, $CaCO_3$; fluorita, CaF_2 ; baritina, $BaSO_4$.*

Zacualpan.

P: **argentita, Ag_2S** (en matriz ferruginosa formando los ixtajales, similares a los colorados); *pirargirita, Ag_3SbS_3 ; proustita, Ag_3AsS_3 ; plata nativa.*

M: **tetraedrita $(Cu, Fe)_{12}Sb_4S_{13}$** ; *pirita, FeS_2 ; calcopirita, $CuFeS_2$; esfalerita, $(Zn, Fe)S$; galena, PbS ; antimonio.*

G: *cuarzo, SiO_2 ; calcita, $CaCO_3$.*

1.6.4 La riqueza media de las menas comerciales en la Nueva España

El barón de Humboldt tan poco inclinado a reconocer los trabajos en que se basaban sus investigaciones, reconoce, en su Ensayo Político, la obra de José Gárces y Eguía... en dos ocasiones. Esta especie de elogio no resulta desproporcionado, Humboldt baso su análisis de la metalurgia mexicana en la *Nueva teórica del beneficio de los metales*, publicada por

primera ocasión en 1802, aunque no lo reconoció nunca. Entre los datos más importantes aportados por Gárces (Garcés y Eguía 1873: 105) encontramos la cantidad de metales que se beneficiaban en el Reino y que él determinó, por un cálculo bien formado, que no bajaban de diez millones de quintales al año, es decir, 460 250 t. Prosigue el autor (Garcés y Eguía, 1873: 108) considerando que a partir de aquellos diez millones de quintales, se producían tres millones de marcos de plata, (a los que con poca diferencia había ascendido en los últimos años del siglo XVIII el cuño en México); es decir 690 t entonces la riqueza media sería de 2.4 onzas por quintal (Humboldt 2004: 341), equivalentes a 1.4966 g de plata por kg de mineral. Elhuyar consideró, por su lado, que la riqueza media de los minerales mexicanos ascendía de tres a cuatro onzas por quintal, es decir de 1.87 a 2.49 g por kg de mineral; En 1803 – afirmó Humboldt (2004: 342) – la riqueza media de toda la veta madre de Guanajuato puede calcularse en cuatro onzas de plata por quintal de mineral (2.49 g/kg). Claire Duport (1843: 143-144) calculó que la producción en el periodo comprendido entre 1570 y 1585 la producción de plata fue de 772,25 marcos de plata (177,61 kg) extraídos de 2 370 quintales (109 079,25 kg), por lo que la ley de plata era de 1,62 g de plata por kg de mineral. Duport señaló que la proporción era exactamente la misma que se observaba en 1843; estas cantidades son muy similares al límite inferior establecido por Elhuyar de 1,87 g de plata por kg de mineral. Ramírez (1884: 36) por su lado establece que la ley media de los

minerales mexicanos, en 1884, y de acuerdo a las cifras asentadas, resultaba de 1,629 g de plata por kg de mineral. Estas cifras demuestran que las minas mexicanas comunes eran pobres, y que su ley no se modificó sustancialmente entre 1570 y 1884, pero más importante aún, Gárces y Eguía estableció que a fines del siglo XVIII los minerales que podían justificar los gastos de la fundición apenas alcanzaban el 13% del total de los extraídos, pues los costos se habían incrementado considerablemente debido a los costos del carbón y del litargirio y al hecho de que en la fundición normalmente se perdía hasta el 20% de la ley de plata. Los costos por carga tratada por fundición ascendían a 43,75 pesos; mientras el tratamiento de una carga por el beneficio de cazo costaba 8,875 pesos; y por el método de amalgamación mexicano 5,125 pesos (A.G.N., Minería, volumen 46. Documento remitido por los Diputados de Minería Mateo García y José Ignacio de Escalante el 21 de abril de 1801)

1.6.5 La explotación o labrado de las minas

“Las dos series de operaciones cuya ejecución es indispensable para el aprovechamiento de las riquezas que contienen las minas y que constituyen sus frutos (...) son las que tienen por objeto extraer dichos frutos del seno de la tierra (...) y separar de ellos, una vez colocados en la superficie, la sustancia útil que es el objeto de los trabajos, venciendo las resistencias que las retienen, destruyendo

las combinaciones que las ocultan y eliminando los elementos extraños que las acompañan”: Ramírez (1884: 619).

Estas dos operaciones se denominaron, en el periodo de estudio: *explotación o labrado de la mina y beneficio de los metales*, como todos los procesos tecnológicos, estos, aunque basados en principios básicos, sufren modificaciones, según las circunstancias particulares de cada mina o hacienda de extraer plata (Ramírez, 1884: 620). Estas particularidades dependen fundamentalmente de la localización geográfica del asiento de minas.

Resulta asombrosa la aseveración de Doris M. Ladd (1988: 7), afirmando que la de la plata en Real del Monte, en 1776, era una industria desarrollada por completo, que presentaba las características de una empresa moderna: división del trabajo, procesos seguidos en forma sistemática, despliegue de una gran fuerza de trabajo. El proceso; que incluía las operaciones realizadas entre arrancar el mineral de la veta, explotada en forma subterránea, hasta cargarlo en las mulas para conducirlo a las haciendas de beneficio; requería treinta diferentes tareas especializadas. El número de trabajadores empleados en estas labores en todo el territorio de la Nueva España, a fines del siglo XVIII y principios del XX, alcanzaba – según Humboldt (2004: 48) – 30 000 personas, sin considerar las que trabajaban en actividades de abastecimiento de insumos para minas y haciendas de beneficio y de medios de

subsistencia para los operarios y mineros²¹. En sólo dos minas trabajaban alrededor del 20 % del total nacional de los operarios: La Valenciana, Guanajuato en la que laboraban 3 332 trabajadores y La Quebradilla, Zacatecas con 2 550 operarios (Brading, 2004: 188). Lo que es una prueba adicional del alto grado de concentración que alcanzó la minería y la metalurgia finisecular.

Considerando, como ya se ha explicado, que normalmente la ley aumentaba a medida que aumentaba la profundidad, que el crestón es casi siempre estéril y que la mayoría de las vetas mexicanas son “inclinadas”, los mineros iniciaban sus trabajos con el cuele (‘construcción’) de un pozo vertical, al que llamaban *tiro*, construido en forma convergente a la veta hasta llegar a alcanzarla, normalmente a 8 varas²² de profundidad (6,688 m) (Sarría, 1784: 86) los tiros eran normalmente rectangulares, aunque había octogonales o hexagonales, las dimensiones generales eran de 3 a 5 m de largo por 2 a 4 m de ancho, si se utilizaban para el desagüe, y de 1,5 por 3 m para extracción de mineral. Fue en 1732 cuando José de Sardaneta introdujo, en Guanajuato, el uso de *tacos* (cartuchos de papel rellenos de pólvora negra, amarrados con fibras de ixtle y sellados con bentonita) para el

21 Mineros eran los propietarios y los que dirigen las labores (,...) de las minas (Lassága y Velázquez, 1774: 38), los empleados se llamaban “operarios”.

22 Equivale a 0.836 m (Humboldt, 2004: CXLIV)

cuele de las diferentes obras (Brading 2004: 184, Ladd 1988: 10); esta técnica que se utilizaba en Europa desde 1613 (Daubuisson; citado por Humboldt, 2004: 366) se constituyó en una imprescindible innovación técnica que permitió la construcción de tiros tan profundos como el de La Valenciana que, en 1810, alcanzó 531 m de profundidad, sin duda, el más profundo del planeta, en su época. Como los tiros se utilizaban para la extracción y el desagüe, en la mayoría se construía un cabrestante, llamado *malacate*, los *malacates* tenían normalmente dos espeques²³ y eran movidos por cuatro bestias (mulares o caballos), aunque había algunos de cuatro espeques y ocho caballos e incluso de 6 espeques (Ramírez, 1884: 622).

Alcanzada la veta se construían cañones horizontales abiertos a hilo de veta (siguiéndola) normalmente de 2,5 m por el ancho que exija la veta (Sarría, 1784: 86), estas excavaciones se denominaban laborío, los cañones paralelos se comunicaban por pozos y contracielos (denominados pozos de comunicación) y los más bajos se conocían como *planes*. Entre cada pozo, de acuerdo a las ordenanzas, se dejaban macizos de rocas llamados pilares para sostener los túneles. Estas obras construidas para acceder al mineral se denominaban de *disfrute*.

²³ Palanca de madera, redonda por una extremidad y cuadrada por la otra.

Es evidente que no todas las obras podían ser de disfrute, el aumento en la profundidad de los tiros, conseguido con el uso de pólvora, provocó, en el siglo XVIII, nuevas dificultades y costos, como lo apuntan Lassága y Velázquez de León (1774: 4-5, 20):

“Pero así que llegaron a romper[se] los hidrofiliacios, ó senos subterráneos del agua, cuya abundancia y profundidad hacia ya muy costosa su extracción, se vieron precisados a ceder a este poderoso inconveniente (...) y no siendo imposible, aun á su poca industria, el conseguir los desagües, les era sin embargo de grandes costos, en unas circunstancias en que ya no podían erogarlos”.

En el mismo tenor describe Gamboa (1874: 353):

“Son las aguas la mayor borrasca²⁴ de las minas (...) picándose las venas de las minas, saltan las aguas, como la sangre de las venas del cuerpo (...) De esta curiosa física sólo experimentan los dueños de las minas el efecto, viendo inundar sus planes y labores, que mientras más profundos más agua reciben”

En un principio los mineros resolvieron el problema utilizando *malacates* para desaguar las minas “Costumbre verdaderamente bárbara” según Humboldt (2004: 369); para realizar esta tarea se bajan con los

²⁴ Es perderse la veta, puede ser borrasca o emborrascarse la mina Gamboa (1874: 493).

cabrestantes unos cubos de cuero, llamados *botas*, fabricados con dos cueros de novillo cosidos, sin curtir, con capacidad aproximada de 575 kg (para malacates de 8 caballos), pendientes de unos calabrotes (Sarría, 1784). Cada malacate, movido por caballos, constaba de dos *botas*, luego que bajaba una *bota* la llenaba el *henchidor*, mientras se vaciaba la otra bota en un pileta en la superficie, el agua llegaba al tiro desaguada de los planes por trabajadores llamados *norieros* y *cigüeñeros* que utilizaban bombas manuales sencillas (norias y cigüeñas). Cuando la inundación era pequeña, o su control fácil, se utilizaba trabajadores que acarreaban el agua con bateas, a estos operarios se llamaba achichinques. Para extraer con el malacate el mineral y el cascajo se utilizaban unos cueros sin costura llamados mantas en lugar de botas (Sarría, 1784). Las bestias que movían los cabrestantes eran controladas por los arreadores o malacateros. Para servir al malacate estaban los cajoneros, encargados de recibir las botas y vaciarlas en cajones de madera. En algunas minas, se llegaron a colocar hasta ocho malacates en tiros octogonales, por la abundancia de agua. Pero ya desde las primeras operaciones mineras virreinales, cuando la topografía lo permitía, se utilizaron contraminas o socavones, que eran túneles horizontales que cortaban la veta conectándose a los diferentes tiros y extraían el agua de los planes por gravedad.

El conjunto de operarios, que bajaban cada día o noche (los turnos eran de doce horas) a la mina, se llamaban pueblo (Sarría, 1784). En cada labor de 2 a 3 varas de largo, por una y media de ancho podían trabajar a un tiempo dos hombres, conocidos como una parada, la cual se componía de dos barreteros o de un barrenador y un piqueador. Los barreteros (por usar barretas de acero) eran los trabajadores más comunes de las minas, se ocupaban en “descarnar la veta” (Sarría, 1784), cada barretero contaba con un ayudante denominado pepe que le tenían la luz al barretero; y otro denominado peón o tenatero, que eran los recogían en bolsas o tenates el mineral para sacarlo de las minas. El jefe de los barreteros denominado capitán de barras conocía las pintas de las vetas para indicar el sentido de las operaciones. Cuando se encontraba mineral endurecido se rompía el mineral con cohetes o pólvora y el operario especializado encargado de estas labores era el barrenador o coheteador. Los derrumbes de la mina se controlaban con pilares de refuerzo y ademes (labor de carpintería para sostener la tierra de los sólidos superiores y respaldos de las minas), de esta labor se encargaban los ademadores o carpinteros. En los planes de la mina había herreros con fraguas portátiles para reparar las puntas de las barrenas. Los trabajadores de confianza eran: el administrador o quitapepena (encargado de evitar robos); el mandón, capitán o minero (todos estos nombres recibía) que era el perito que gobernaba la operación de la mina, en algunas minas el mandón que trabajaba de noche se llamaba

sotaminero, el velador y el rayador. Luego que salían los frutos de las minas se apartaban las gangas de las piedras que contenía las pintas (señales o indicios de la presencia de plata) quebrándolas con unos picos de fierro, este trabajo era realizado por los pepenadores y era tan fácil que los operarios decían que era un trabajo propio de mujeres (Sarría, 1784). A lomo de tenatero o mula se llevaban los minerales a la hacienda de beneficio (Moreno, 1984).

Trabajar o ahondar los planes; permitir la ventilación; impedir los derrumbes, respetando los pilares, puentes y macizos de refuerzo o ademando la mina; seguir la dirección de una veta emborrascada; definir el trazado de un tiro o un socavón; el diseño y construcción de obras interiores, para comunicar las aguas a los tiros, para contener o desviar las aguas, dar barrenas de unas labores a otras para la comunicación del viento; y principalmente extraer las aguas subterráneas, exigían, de los responsables, profundas pericias, basadas en “Un serio estudio de la geometría práctica, la estática, la maquinaria y la hidráulica; y a más de esto, de una larga, advertida y sagaz experiencia en la minería” (De Lassága y Velázquez de León, 1774: 36). Diversos autores coinciden al afirmar que, en lo general, la geometría subterránea se encontraba totalmente descuidada en el México Virreinal (Humboldt, 2004: 368), a cargo de mineros y peritos prácticos, que aprendían la minería por imitación despreciando con soberbia los libros de la materia (De Lassága

y Velázquez de León, 1774: 38); “Unos ignorantes tales, que para medir dar contraminas, lumbreras, tiros y socavones, se fundan en débiles conjeturas, sin alcanzar siquiera el uso del agujón” (Gamboa, 1874: 231).

1.6.6 El beneficio de los minerales de plata

Diversos expertos han considerado que los procesos de afinación de la plata y el oro en México eran realmente complejos, la realización de estas operaciones requería más de dieciocho diferentes funciones especializadas (Ladd, 1988: 7).

En 1640 se publicó en Madrid el *Arte de los Metales...*, escrito por el licenciado Alonso Barba, primer escritor – según Garcés y Eguía (1873) – que redujo a un método las reglas del beneficio de la plata por mercurio y nos las dejó escritas. Explica Barba (1770: 73): “Dar el Azogue al metal que requiere fuego, es perderlo. Echar en el horno lo que no es para fundir, es estorbar, dañar, y no hacer nada; y aun dentro de los límites de ser para azogue, ó fuego hay sus diferencias, y grados fáciles de beneficio. Posteriormente Barba explica cuales metales debían ser procesados por fuego y cuales por amalgamación.

Ciento sesenta años después Federico Sonneschmid (1825: 54-56) difiere en varios sentidos de las reglas de Barba, escribe:

“No todos los minerales que contienen plata son aptos para el beneficio de azogue de patio. Los azogueros deben por consiguiente conocer (...) sus calidades (...) La plata blanca ó pella virgen (*plata nativa*, Ag), la plata sulfúrea dúctil (molonque, *argentita*, Ag_2S), y la plata cornea (plata parda, plata azul, *clorargirita*, plata muriatada, $AgCl$) [dentro de la plata cornea se incluye la plata verde que es, *bromoargirita* $AgBr$](...) son muy aptas para este beneficio, en pintas finas y delicadas (...) aun (...) en pintas gruesas [lo son] la plata sulfúrea quebradiza (*acantita*, beta-argirita, Ag_2S), el mineral fuliginoso de plata (*acantita*, Ag_2S), y el mineral rojo del mismo metal petanque de colorado rosicler [constituido por *proustita* (Ag_2AsS_3 , *sulfoarseniuro de plata*, plata roja oscura), *miargirita* ($AgSbS_2$) y *pirargirita* (*antimoniuro de plata*, plata roja clara, Ag_3SbS_3)]”, aunque este último es mucho menos dócil. Los minerales que repugnan á este beneficio [el de azogue], son los muy cobrizos con ley de plata, como por ejemplo el mineral gris de cobre (*tetraedrita*, $Cu_{12}Sb_4S_{13}$ y *tenantita* $Cu_{12}As_4S_{13}$). Igualmente los muy plomosos con ley de plata, como la *galena* (michoso, relumbroso, esmeril, tescuabate, *galena argentífera*, PbS) (...) y los espáticos y terrosos no se prestan a este beneficio cuando su ley de plomo es considerable (...) Tampoco se extrae con exactitud la plata de minerales plateros que contienen mucho antimonio, Ni las blendas [ojo de gato, ojo de víbora, *esfalerita*, (Zn ,

Fe)S], ni de minerales arsenicales, y verosímilmente ni aun de los cobalticos. Las piritas compactas o macizas con ley de plata” [*pirita argentífera*, (FeS_2 , bronce); *arsenopirita* ($FeAsS$), *calcopirita* (bronces, $CuFeS_2$)].¹⁸

Coetáneo de Sonneschmid, Garcés y Eguía (1873: 77-78), insigne metalurgista mexicano, en él que el barón De Humboldt soportó el apartado de beneficio de la plata en el capítulo XI de su famoso Ensayo Político, nos ilumina:

“Los prácticos juiciosos, que se gobiernan por razón, aplican al fundido por horno castellano todo lo que toca á plomo cenizo [copalillo, soroche muerto, cal de plomo (es decir: *óxidos de plomo*)] al vaso ó cebado sobre baño de plomo (ó escorificado) los metales ricos que llegan ó pasan de doce marcos por quintal, sean de la clase que fueren. Los metales que traen platas (...) corneas si no traen otros acompañados, van al beneficio por cazo; y al de patio todos los colorados que no traen platas verdes ni cales [óxidos] de plomo, y los negros abronzados, margaritosos ó piritosos”.

Sonneschmid y Garcés y Eguía eran los más ilustrados expertos en el arte de la metalurgia de su época, con énfasis diferentes perfeccionaron o inventaron diferentes procesos de beneficio, contaban con notable pericia obtenida en el trabajo cotidiano de las haciendas mexicanas, no obstante,

disentían en aspectos esenciales del beneficio: por citar un ejemplo, para el primero los minerales piritosos “repugnaban el beneficio por azogue, para el segundo eran aptos para “el patio”.

Humboldt (2004, 373-374) aumenta nuestra desconcierto

“No parece que los mineros de México sigan principios bastante fijos en la elección de los minerales que deben ir a fundición o a amalgamación; se ve fundir en unos distritos las mismas sustancias minerales que en otros se cree no poderse trabajar sino por amalgamación, los minerales que contienen muriato de plata [*querargirita, AgCl*] son unas veces fundidos con el carbonato de sosa (Tequesquite) [*bicarbonato de sodio hidratado Na_2CO_3 , $HNaCO_3$*]; otras van a la amalgamación ya en patio ya de cazo; y frecuentemente sólo la abundancia de mercurio y la facilidad de proporcionárselo es lo que decide al minero en la elección del método que emplea”.

Este aparente fárrago de técnicas y procedimientos provocó tal confusión en Humboldt que este llegó a considerar que los metalurgistas mexicanos eran verdaderamente ineptos, opinión aceptada en Inglaterra de forma tan irreflexiva que provocó la pérdida económica más importante de su historia.

Es evidente, sin embargo, que Humboldt no entendió cabalmente algunas de las sutilezas de tan difícil arte, como la influencia de las condiciones

climáticas, la gran diversidad química y física de los minerales procesados y la diferente calidad de los insumos empleados. Efectivamente, los maestros azogueros y fundidores utilizaban, obligados por la necesidad, diferentes procesos de beneficio, pero los rendimientos eran diferentes como apunta Sonneschmid (1825: 54-56-57):

“La antecedente superficial repartición de los minerales (...) como propios ó impropios, para el beneficio de patio, me ha parecido precisa para dar una idea general (...) pero (...) se hallaran a cada paso ejemplos que minerales (...) impropios se benefician ventajosamente por el beneficio de patio, y (...) otros (...) propios (...) no se puede extraer toda la ley (...) Estas diversas circunstancias provienen de varias causas. El mineral compacto (...) debe portarse en el beneficio de otro modo que el repartido (...) en partículas finas (...) la misma naturaleza de la guija influye á veces también (...) Los minerales impropios para el beneficio del patio, acompañando (...) a los propios, causan igualmente bastante trastorno.

Finalmente una y las mismas clases de minerales, cuyas partes constitutivas son variables, pueden hallarse propios é impropios.

“Además de estas circunstancias ocurre (...) que hallándose (...) metales impropios para el beneficio de azogue, y de tan corta ley que no pueden costear la fundición, se prefiere (...) beneficiarlos

por (...) patio aunque solo se extrajesen dos terceras partes de su ley de plata". En ocasiones el mineral debía ser procesado por dos o tres métodos diferentes: Incluir cazo y querargirita".

Brading (1975: 192-193) ha postulado que:

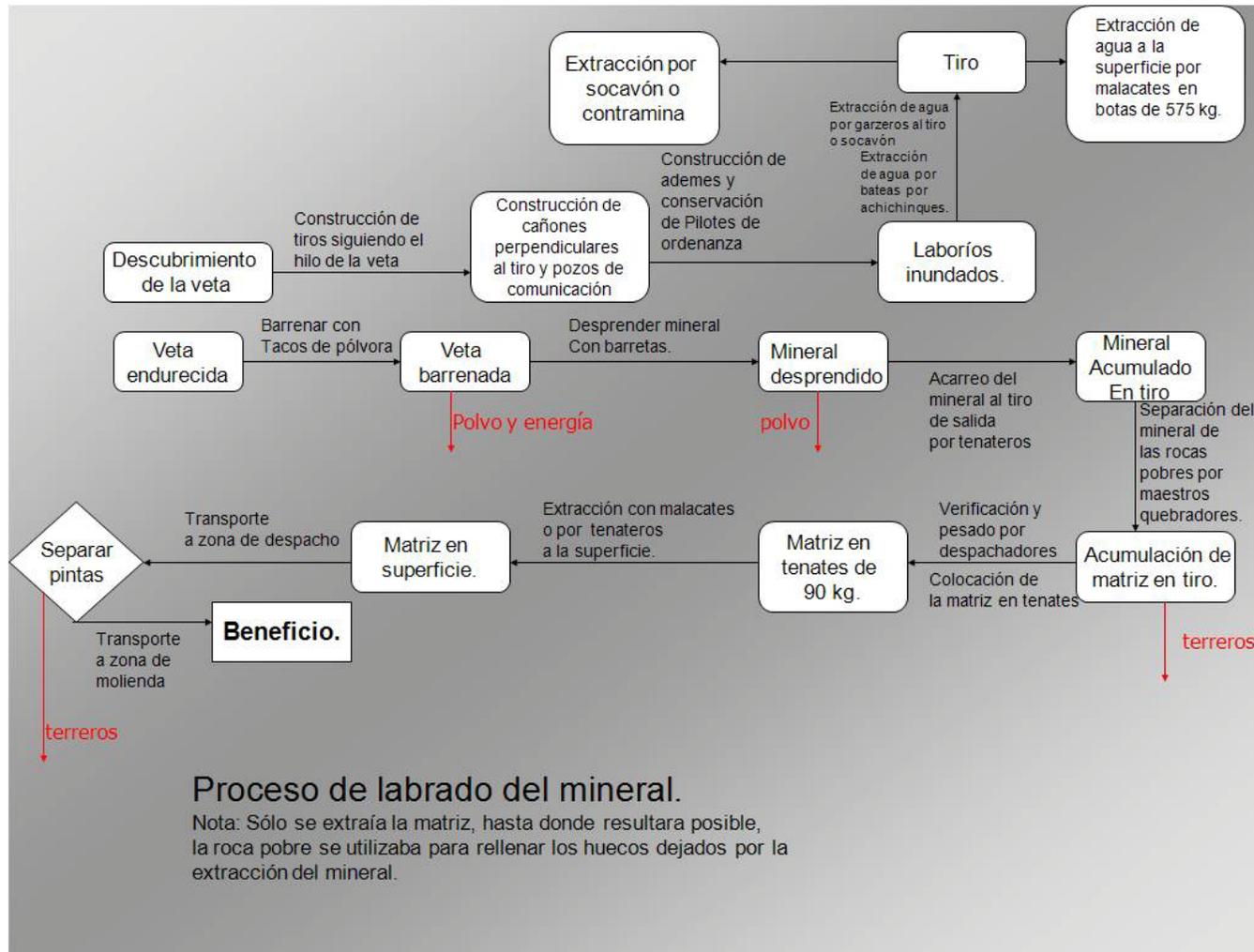
"Durante el decenio de 1770 a 1780 ocurrió un cambio significativo en el sistema de refinación. Anteriormente hasta un tercio de la plata se producía por fundición, mientras en 1803 Humboldt afirmó que por cada parte que se fundía tres y media se amalgamaban. Garcés y Eguía calculó que no se fundía más del 13.5 por 100".

El autor sugiere un cambio en los procesos industriales de beneficio, basándose simplemente en las estadísticas de mineral procesado; además, de que los datos pueden ser puestos en interdicto, Brading no considera el inicio de operaciones del Real de Catorce, descubrimiento considerado por Humboldt como el suceso mas importante en la historia de la minería de la América Española en doscientos años. Su producto anual en 1803 alcanzó 92 toneladas de plata (16% de la producción total mexicana) y prácticamente todo su mineral se trataba por azoguería como afirma Humboldt (2004, 372):

"El director general de minas, el señor Velázquez, suponía todavía en 1777 (antes de descubrirse las ricas minas de Catorce, donde apenas se hace fundición) que de todos los minerales de Nueva España 2/5 pasan por el fuego y 3/5 por la amalgamación".

Y más importante aun no considera el proceso de concentración de capitales, operarios y producción de plata en el los distritos mineros de Guanajuato, Catorce, Zacatecas, Pachuca, Bolaños, Guarisamey y Batopilas, todos ellos con minerales propios del tratamiento por patio. Por regla general, el beneficio por azogue se prefería al de fundición, principalmente, por razón de los costos totales del beneficio del mineral: en 1801 el costo de una carga de mineral procesada por beneficio de cazo ascendía a \$ 8,875; el de beneficio de patio, a \$5,125; y el de fundición, a \$43,75 (A.G.N. Minería, vol. 46. Mateo García e Ignacio Escalante 21 de abril de 1801; documentos descubiertos por Palmer 2002). En segundo lugar la plata producida mediante fundición, siempre valía menos que la producida por amalgamación, a causa de la abundancia de impurezas que contenía (Brading, 1975: 207). Y normalmente se perdía el 20% de plata por volatilización y pérdida en las grasas y escorias. Por último, la madera y el carbón eran muy escasos en esas épocas, como lo demuestran diversos testimonios.

Los procesos utilizados en el periodo han sido perfectamente dilucidados y son aplicables para los distritos mineros de Zacatecas, Guanajuato, Pachuca y Catorce, se presentan a continuación:



Método de fundición de plata.

Nota: metales de fuego son Galena, PbS; y
Minerales de muy alta ley.



*1 Mogrollo : PbS
Bronces si contiene FeS_2
Metal verde si contiene Cu, como carbonato, óxido o sulfuro.
Previamente calcinados para evitar S, Sb y As, excepto cuando tienen Cu.

*5 con brasca apisonada (mezcla de cisco de carbón y tierra refractaria húmeda).

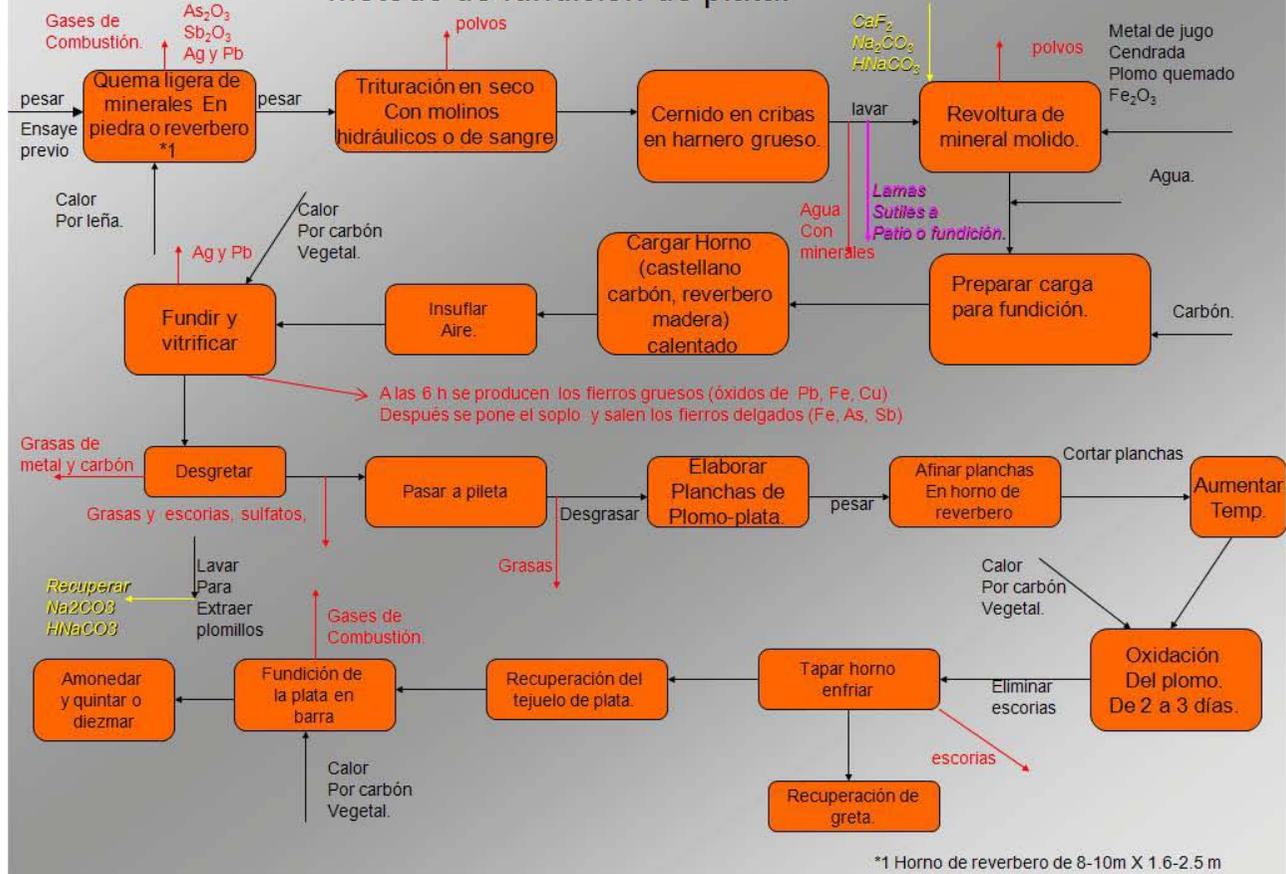
*6 La primera carga con escorias es para saturar lechos.

*2 pepenas si son PbS pobres
cuajados si es PbO

*3 Las mejores revolturas en el siglo XIX eran las de la Hacienda de San Antonio de Zimapán, Hidalgo. Usado como ejemplo

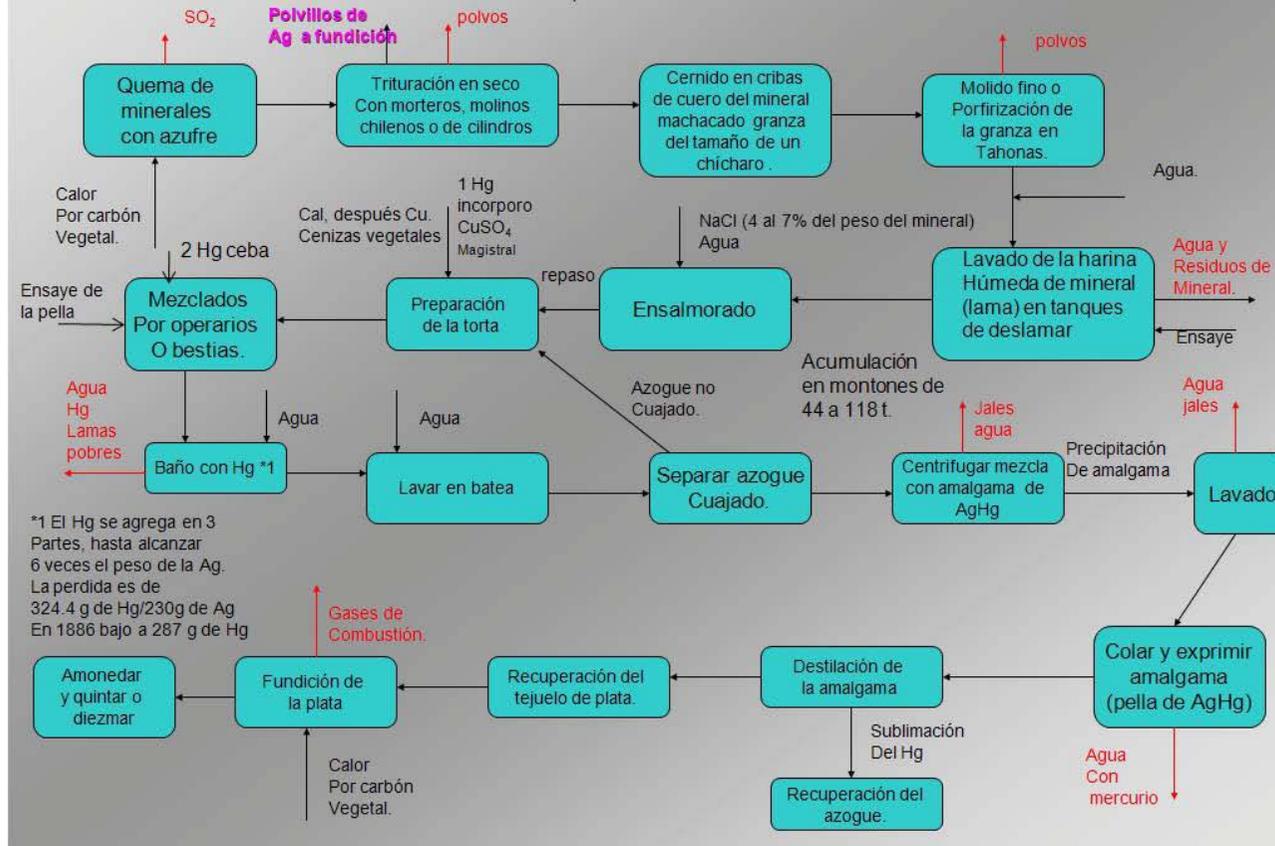
*4 Se utilizaba un horno castellano semialto de 3.5 m de caja fundía 1 153.2 kg al día.

Método de fundición de plata.



Método de amalgama húmeda o patio.

Nota: los metales de patio son los negros como
El proceso dura de 15 a 20 días.

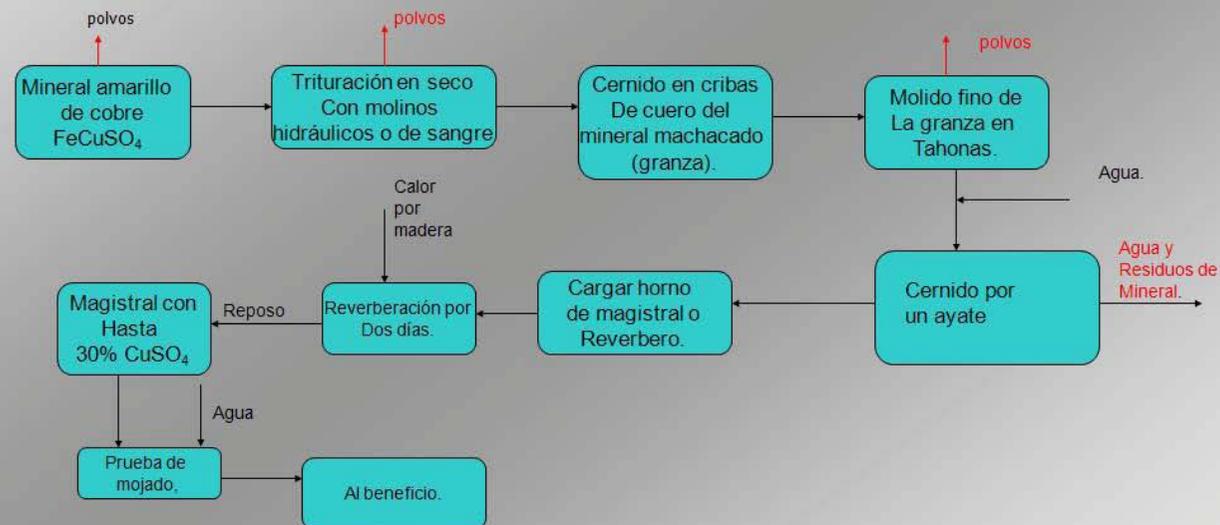


Método de preparación del magistral.

Contiene 30% de CuSO_4 (vitriolo o caparrosa azul), (FeSO_4 y HCl entre otras sustancias).

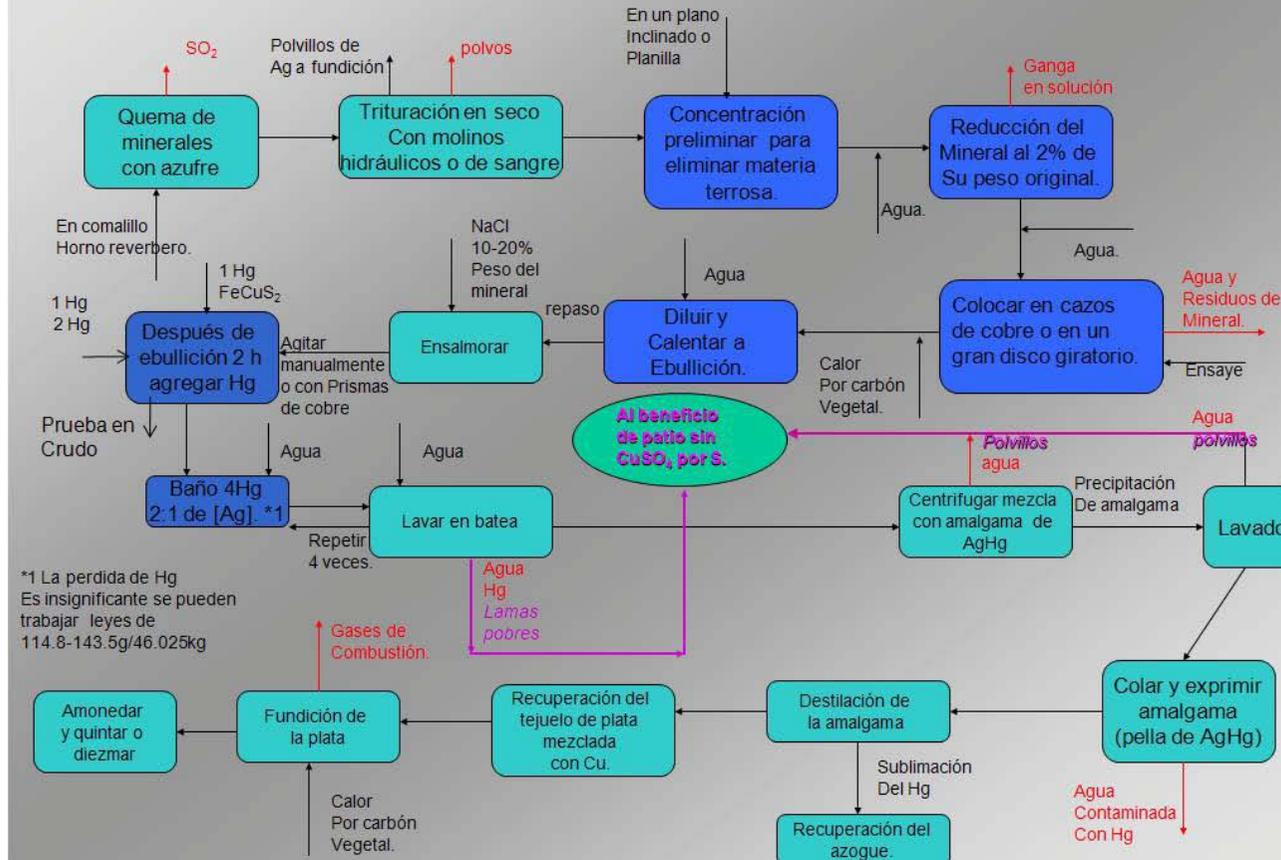
Nota.- la concentración del CuSO_4 depende de la calidad del mineral cobrizo, y del método de preparación, en muchos reales se revolvía pirita marcial (FeS_2), con calcopirita (CuFeS_2) y sal.

En otros se utilizan minerales cobrizos más pirita marcial.



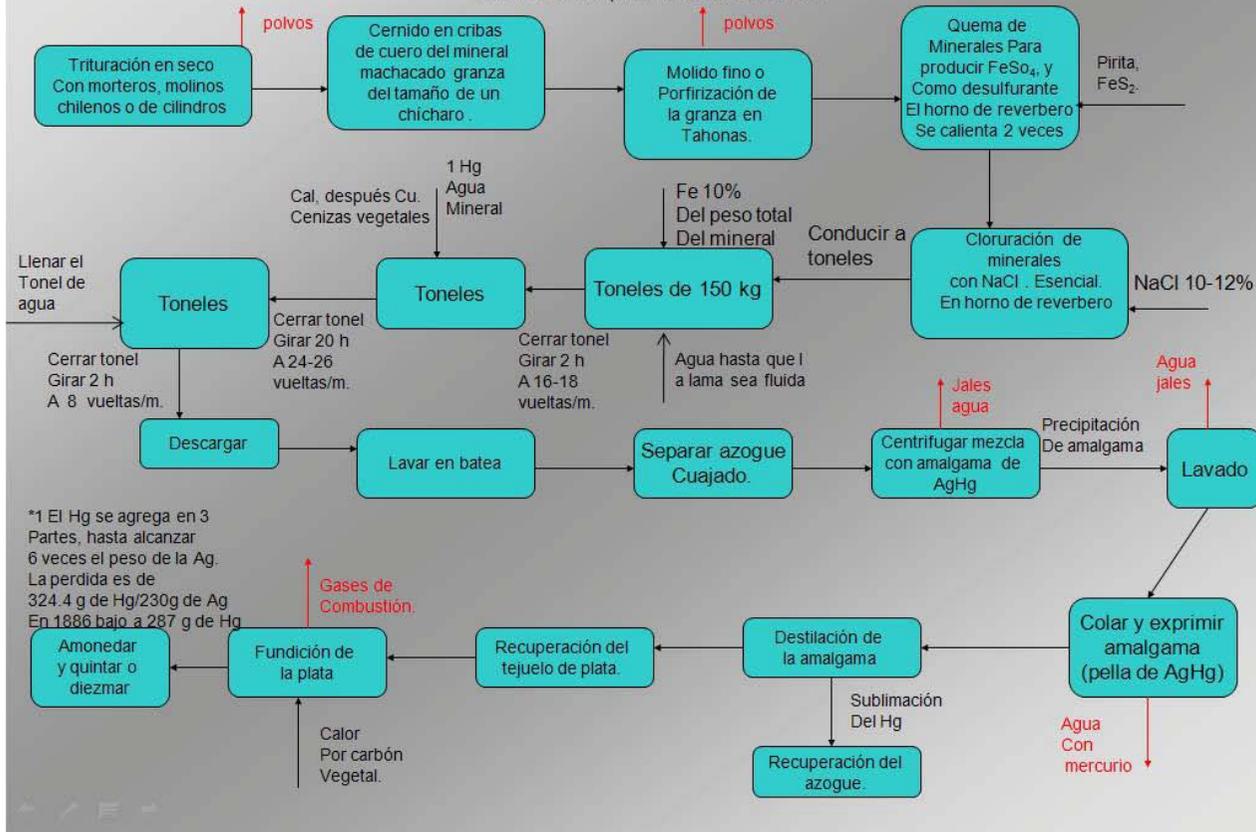
Método de amalgama beneficio de cazo.

Nota: Aplicable a la Clorargirita, bromoargirita y yodargirita (plata verde) y los colorados.
El proceso dura 1 o 2 días.



Método de beneficio por toneles o Freyberg.

Nota: los metales piritosos, que contienen poco plomo y algunos compuestos que deben ser eliminados por reverberación. El proceso dura de 2 a 7 días.



2. La formación de los paisajes mineros en el altiplano potosino, siglos XVIII y XIX

2.1 Metodología

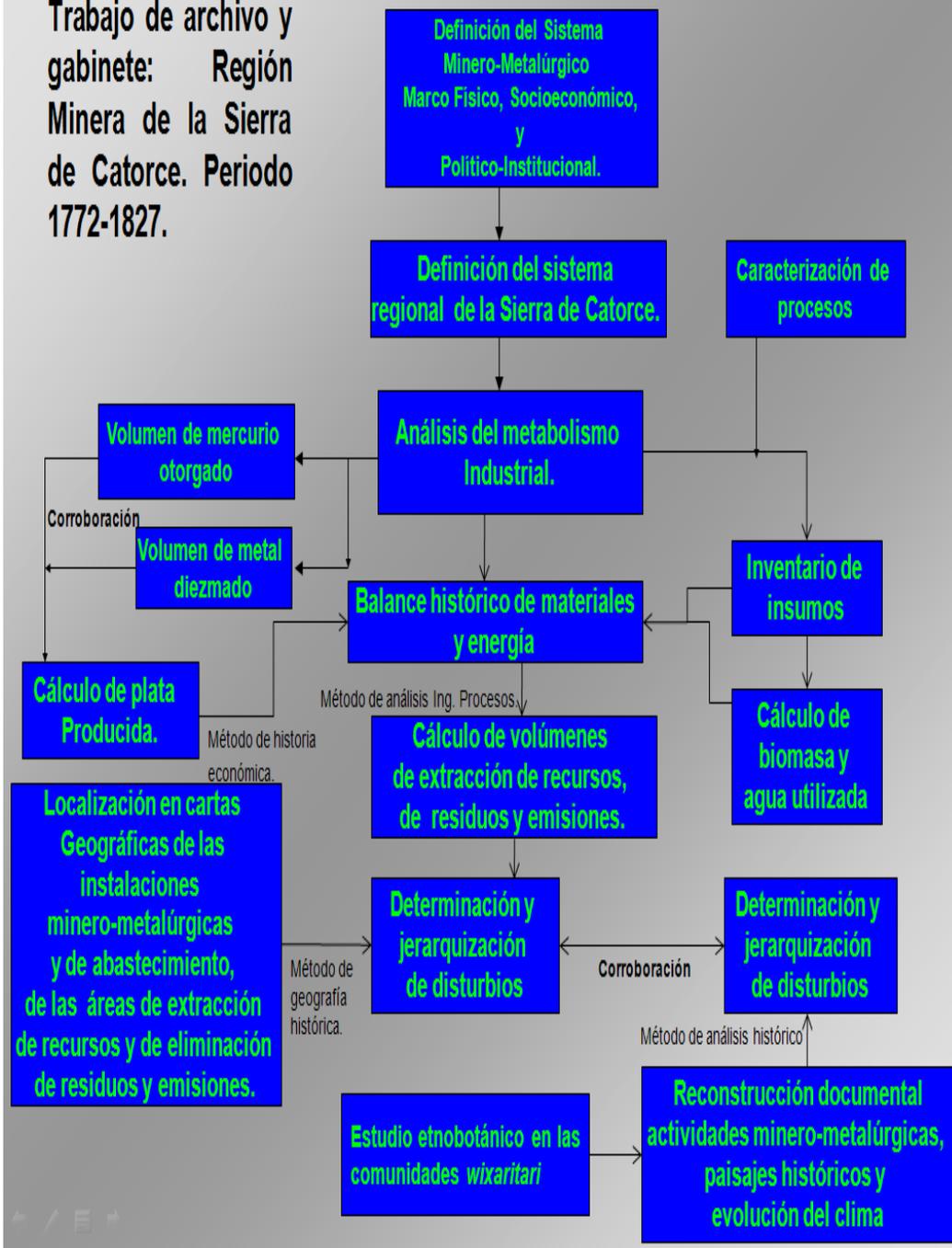
La metodología de trabajo utilizada para la realización del estudio paleoecológico fue construida incorporando, en un cuerpo articulado, herramientas de análisis extraídas de la ingeniería de procesos, de la geografía histórica, de la historia económica y de la ecología, que permitieron analizar un sistema complejo. La complejidad de los problemas analizados y su carácter dinámico y específico obligaron; por otro lado, a limitar el dominio espacio-temporal del estudio a dos áreas y periodo histórico determinados: **1772-1827 y 1976-2000.**

La metodología de trabajo se dividió en dos capítulos:

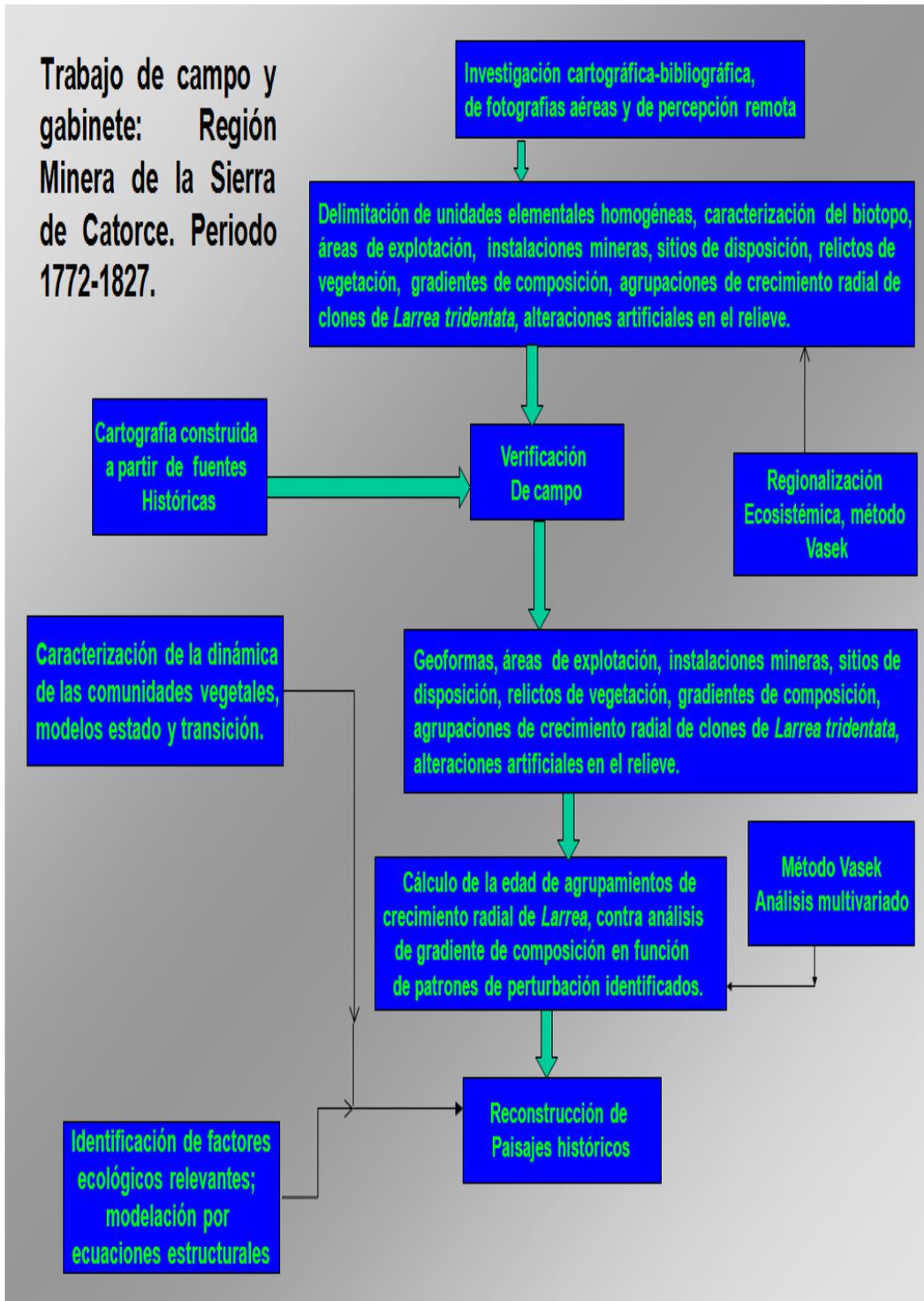
- ❖ Trabajo de Archivo.
- ❖ Trabajo de Campo.

Que se presentan en los siguientes esquemas.

Trabajo de archivo y gabinete: Región Minera de la Sierra de Catorce. Periodo 1772-1827.



Trabajo de campo y gabinete: Región Minera de la Sierra de Catorce. Periodo 1772-1827.

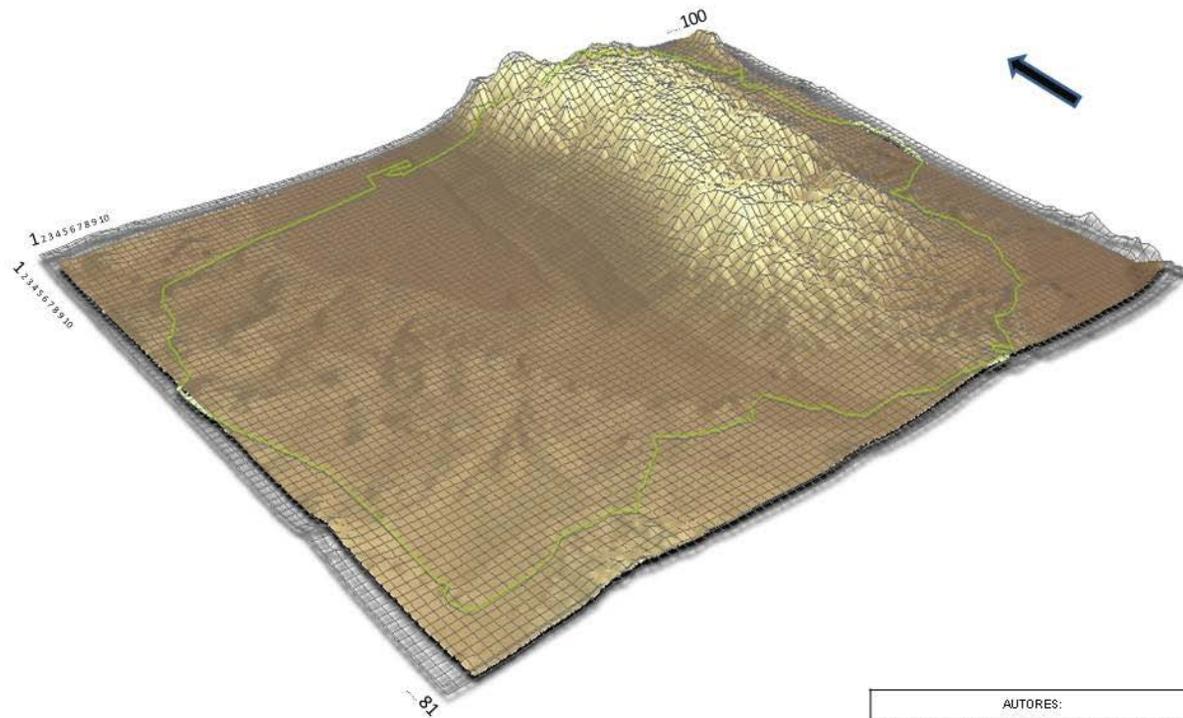


El primer paso de la presente investigación consistió en la definición de la estructura nacional de producción de plata, mediante la dilucidación del metabolismo del sistema minero-metalúrgico, su marco físico, socioeconómico y político-institucional. Los procesos utilizados en el periodo fueron perfectamente reconstruidos, aunque sólo se consideran aplicables para los distritos mineros de Zacatecas, Guanajuato, Pachuca y Catorce.

Establecido el contexto se procedió a esclarecer la estructura regional de producción de plata en el Distrito Minero de Catorce, mediante la reconstrucción de su metabolismo industrial. Utilizando investigación de archivo, análisis de imágenes de satélite y verificación de campo se determinó la ubicación y se cartografiaron las diferentes instalaciones industriales que operaron en Wirikuta a fines del siglo XVIII y principios del XIX. Para la realización de estas actividades se consultaron los archivos disponibles, muchos de los cuales contenían la ubicación aproximada de las minas, como los diferentes informes de Don Silvestre López Portillo, realizados en 1779 y contenidos en la Colección de Documentos para la Historia de San Luis Potosí (Velásquez, 1987) y los de H.G. Ward de 1826 (Ward, 1995). Con procedimientos de percepción remota se identificaron las minas, haciendas, jales, escóriales, graseros, caminos abandonados, obras hidráulicas, en ortofotos e imágenes de

satélite (Landsat ETM de 2006). En primer lugar, se dividió la superficie del sitio de estudio en una malla o raster de 500 m por 500 m y cada uno de los píxeles fue analizado para determinar la presencia de topofomas anómalas o instalaciones industriales abandonadas, posteriormente estos sitios y otros identificados a partir de entrevistas a los pobladores fueron visitados en compañía del Sr. Cristino Rodríguez Hernández, conocedor experto de toda la Sierra, y geoposicionados. Con esta información se construyó un sistema de información geográfica

Esta misma malla se utilizó, posteriormente, para establecer, en forma fina, las relaciones entre los factores ecológicos (variables independientes) y los atributos estructurales y funcionales de las comunidades vegetales, identificando las variaciones concomitantes de los factores identificados y los patrones estructurales de la vegetación. La determinación fue realizada con la identificación a nivel de formación (*lato sensu*) del tipo de vegetación, que fue asociado por cada unidad de la malla a diversas variables independientes: tipo de suelo, geoformas, temperaturas máximas y mínimas, humedad relativa atmosférica, humedad del suelo, historia de los sistemas de producción agropecuaria y de los cambios en la cobertura y los usos de la tierra.



Simbología

	Área_Viniñata
	Mallado Celda muestra 0.5 x 0.5 km

AUTORES: J. A. Áralos-Lozano, M. Aguilar-Robledo, P. Medellín-Mián, J. L. Flores-Flores.
ELABORÓ F. Navamete-Ramírez
FUENTE Elaboración propia

Se reconstruyeron las conexiones entre la operación del sistema; las mercancías necesarias para su funcionamiento; y los recursos y servicios, como absorción y depuración de residuos, obtenidos de los ecosistemas, mediante investigación de archivo, análisis de imágenes de satélite y verificación en campo se identificaron las principales rutas comerciales, locales y nacionales.

Mediante la aplicación de un nuevo marco metodológico, que incorporó una panoplia de herramientas, articuladas en forma multidisciplinaria, extraídas de la paleoecología, la ecología, la historia económica, la historia ambiental, la química ambiental, la ingeniería de procesos, la meteorología y la planeación participativa se determinó para el Distrito Minero de Catorce (*Wirikuta*) en el periodo 1772-1827: el tipo de minerales procesados, el volumen de plata producida, las tecnologías utilizadas, los procesos desarrollados, las reacciones químicas involucradas, los insumos y fuentes de energía empleados por cada marco de plata producido, como: agua, carbón, madera (para construcción y combustible), litargirio, plomo, cazos y discos de cobre, animales de trabajo, forraje, cebo, cueros, ixtle. También fueron consideradas en la contabilidad histórica otras mercancías necesarias para el funcionamiento del sistema; o para alimentar, vestir, y brindar confort a mineros y operarios. Esta información, sumada a la obtenida

anteriormente sobre rutas comerciales, permitió determinar la cantidad de materia prima e insumos utilizados, las localidades de origen de las mercancías; y el volumen y destino de los residuos producidos. A partir de los datos anteriores y utilizando funciones de transferencia fue posible inferir los impactos producidos en los ecosistemas.

Con base en información de archivo y fuentes bibliográficas se reconstruyeron las series de formaciones presentes en algunas áreas del sitio en 1779; 1822 y 1826. Esta tarea fue realizada utilizando las siguientes fuentes documentales: *Detalles de un Viaje de Altamira a Catorce* de Phillips (1973); el informe de Francisco Bruno de Ureña realizado en 1779, que fue incluido en la *Colección de Documentos para la Historia de San Luis Potosí* (Velásquez, 1987); los informes dirigidos al Virrey por Silvestre Lopez Portillo realizados en 1779 e incluidos en la misma colección que el documento anterior; y las descripciones de la parte norte de la llanura de San Cristóbal y de vertiente este de la Sierra de Catorce realizadas por H.G. Ward (1995: 607). También se analizaron, basados en estas mismas fuentes y otras de menor relevancia, los eventos climáticos que se presentaron en el periodo.

Se ha señalado que los estudios paleoecológicos simples, no ofrece la resolución necesaria para comprender el comportamiento de las dinámicas de facilitación, competencia, nacimiento, muerte y dispersión

que determinan la abundancia relativa de especies, por esta razón se realizó un estudio ecológico, complementario, que analizó estos procesos en las condiciones actuales. Se consideró que un análisis con datos recientes sobre la dinámica del paisaje, en la zona de estudio, podría ayudarnos a entender cómo se comportaron los factores ecológicos en el pasado y como se comportaran en el futuro. Al determinar los patrones espaciales y temporales y los procesos obtuvimos información útil sobre el comportamiento de los factores ecológicos y su influencia sobre la composición, estructura y funcionamiento de los paisajes. **Resulta claro, que las inferencias realizadas, de carácter retroactivo, sólo tienen validez si se asume que las relaciones entre las variables dependientes y las independientes en los paisajes analizados no varían en el tiempo.**

El primer paso para la realización de esta parte del trabajo de tesis fue la delimitación de las unidades elementales de ordenamiento ecológico en el área del Sitio Sagrado Natural de *Wirikuta*. Considerando los propósitos de la presente investigación, el enfoque seleccionado para la delimitación de las **UGA** fue el de ecosistemas, homologando ecosistema y formación

vegetal, lo que presenta desventajas, las series de formaciones²⁵ varían a lo largo de gradientes y no es fácil separarlas en unidades discretas; por otro lado, los ecosistemas son sistemas abiertos conectados por redes complejas de flujos. Para subsanar el problema anterior se intentó utilizar el concepto de paisaje (de la Ecología del Paisaje), pero presenta la misma dificultad del enfoque de ecosistemas. Los paisajes tienen límites difuminados y elusivos. Al final, se resolvieron estas desventajas utilizando la **cuenca hidrográfica** como marco de estudio. Las **cuencas hidrográficas** son: “Unidades morfográficas superficiales, delimitadas por divisorias (**parteaguas**) desde las cuales escurren aguas superficiales” hacia un punto común (Cotler *et al.*, 2007: 4).

Estas unidades presentan **límites bien definidos de ahorro de interacciones**, lo que permite aislar entradas, salidas y flujos de agua; son expresiones naturales del paisaje definidas por su funcionamiento y aisladas físicamente, por esta razón – afirman Maass y Cotler, 2007 – muchos de los procesos que controlan la dinámica del paisaje son contenidos en estos espacios. La cuenca hidrográfica contiene un sistema con integridad funcional, constituido por elementos físicos, biológicos y

25 Agrupamientos de formaciones vegetales, ecológicamente relacionadas por algún gradiente ambiental, por ejemplo, un gradiente climático-altitudinal González Medrano, 2003.

socioeconómicos articulados en conjuntos de ecosistemas con límites claros, interconectados por la dinámica hidrológica (Cotler y Priego, 2004), que funciona en forma análoga a un aparato circulatorio, por el que fluyen minerales, residuos y parte de la energía disponible, distribuyéndose por todo el sistema. Su carácter integral las convierte en excelentes unidades de manejo. Adicionalmente, estas unidades se estructuran por una jerarquía anidada; es decir, las grandes cuencas están formadas por subcuencas más pequeñas; y estas, a su vez, se componen por microcuencas; lo que nos permite trabajar a diferentes escalas espaciales y atender diversos objetivos de planeación. **Un aspecto extremadamente importante para la presente investigación es que las cuencas se modifican muy lentamente y la actual disposición de estas unidades no difiere de la que presentaban en el siglo XVIII y XIX, lo que permite comparar los dos periodos analizados: 1772-1827 y 1976-2000.** En el Sitio Sagrado Natural de *Wirikuta* las subcuencas y microcuencas son: endorreicas, es decir, drenan hacia un cuerpo de agua interior y arreicas con un drenaje superficial que se infiltra antes de llegar a un colector (Cotler *et al.*, 2007).

Las cuencas hidrográficas utilizadas son las delimitadas en el mapa: *INEGI-INE-CONAGUA 2007. Mapa de las Cuencas Hidrográficas de México escala 1:250 000. Cartografía en formato digital. México.* Para el

caso de San Luis Potosí, se obtuvieron las cuencas representadas por sobreposición; utilizando como mapa base el *Mapa de las Cuencas Hidrográficas de México INEGI-INE-CONAGUA 2007*; al que se sobrepuso el mapa de la circunscripción territorial del estado. El total de cuencas presentes en San Luis Potosí asciende a 14, sin embargo, dos fueron eliminadas por la pequeña superficie estatal que ocupan (Lerma-Chápala con 4 ha y Cerrito de Vacas que ocupa 184,68 ha); por lo tanto se considera que en el estado de San Luis Potosí existen 12 cuencas. Al mapa INEGI-INE-CONAGUA 2007 se sobrepuso la carta estatal de hidrología superficial del INEGI 2002 y la carta hidrológica de aguas superficiales escala 1: 250 000 del INEGI, realizando los ajustes pertinentes se dividieron las doce cuencas en treinta y tres subcuencas.

La escala local utilizada, 1:50 000, permitió utilizar las subcuencas seleccionadas como marco espacial y entorno físico de la regionalización ecológica, y por consiguiente de las unidades ***paisajísticas***. Los resultados de la tesis se presentan cartografiados por ***subcuenca***. Las cuencas y subcuencas cartografiadas fueron la (B) Cuenca Hidrográfica Interior de Matehuala que contiene a la subcuenca (B)a Matehuala, con una superficie de 370 331,90 ha; y la (D) Cuenca Hidrográfica El Salado que contiene la subcuenca (D)a Catorce, con una superficie de escurrimiento de 351 509,10 ha.

Cada una de estas dos subcuencas es el marco espacial de una **unidad paisajística**, que para los efectos del presente estudio, se considera como un área espacialmente heterogénea en al menos un factor de interés, constituida por un racimo de unidades territoriales elementales homogéneas en el, o los atributos ambientales seleccionados, a escala 1:50 000. En este caso el primer atributo seleccionado para la delimitación fue el tipo de ecosistemas concepto equiparado al de formación²⁶ **vegetal**. Entonces las áreas dentro de las subcuencas con el mismo tipo de **formación vegetal**, se consideraron **UGA**, siempre y cuando, tengan integridad estructural y funcional, requisito, este último, indispensable para utilizarlas como unidad básica del ordenamiento, previo reconocimiento, de sus diferentes componentes ambientales. Adicionalmente en las subcuencas encontramos otras **unidades del paisaje**, resultantes del intercambio orgánico comunidades-ecosistemas (realmente también los ecosistemas son resultado de este intercambio, pues no hay ninguno prístino, pero, a diferencia de los anteriores, los antroposistemas no pueden mantener su integridad sin un subsidio energético humano), tales como áreas agrícolas, asentamientos

26 Nivel de integración que representa el tipo de vegetación en *lato sensu*, definido por la fisonomía, la estructura y la fenología, dentro de este nivel de integración pueden diferenciarse otros denominados asociaciones y consociaciones, que representan el tipo de vegetación en *stricto sensu*, y se determinan por la composición florística, y son el equivalente estricto de la comunidad vegetal, González-Medrano, 2003.

humanos, vías de comunicación, presas, canales; en las áreas ocupadas por estos elementos no existen formaciones vegetales naturales, razón por la cual, se utilizó un segundo atributo de regionalización basado en el tipo de uso dado a diferentes unidades territoriales. Las áreas dentro de la unidad paisajística relativamente homogéneas en un uso de la tierra, que no presentan una formación vegetal natural, y que son incapaces de mantener su integridad funcional sin intervención humana se consideran unidades básicas de ordenamiento y se denominan ***unidades de uso de la tierra***.

Las unidades de paisaje o parches son de dos tipos: ***unidades de tierra***, (ecosistemas, formaciones vegetales) o ***unidades de uso de la tierra***, de esta forma, un paisaje puede ser visualizado como un mosaico, simple representación de la heterogeneidad espacial en los procesos ecológicos. Se debe reconocer que estos conjuntos de parches, conectados por redes complejas de flujos y con disposiciones que se repiten en forma ordenada, no representan solamente series de formaciones o unidades de uso de la tierra, sino más bien, un mosaico, complejo y multivariado, de controles subyacentes, ya que la tasa de un proceso en una localidad dada es una función de múltiples variables, tales como: interacciones bióticas, condiciones del suelo, pendientes, temperatura, humedad, o tiempo desde la ocurrencia de un disturbio (Turner y Chapin III, 2005). El

concepto de parche es intuitivo, Forman y Godron (1986) lo definen como, una superficie no lineal que difiere en apariencia de su contexto espacial; convirtiendo esta definición en un algoritmo útil para identificar parches en el raster de un paisaje construido en un Sistema de Información Geográfica. Los parches también han sido definidos como un grupo continuo de celdas de una malla o raster de la misma categoría cartográfica (Turner *et al.*, 2001).

La identificación y establecimiento de los parches implica el establecimiento de diferentes tipologías o gradientes tipológicos (representaciones espaciales de objetos que varían continuamente). Obviamente la selección de las categorías fue un paso crítico que exigió pertinencia con los fenómenos ecológicos que se pretenden estudiar; dado que, en el diagnóstico del presente estudio, se trabajó con la comparación de datos de uso y cobertura de la tierra, las categorías de las fuentes que fueron comparadas se ajustaron a las mismas reglas. En este caso las categorías seleccionadas son las utilizadas en el Inventario Forestal Nacional (2000) Fase I, e incluidas en Velázquez, *et al.*, 2002: 25. Las categorías para México se presentan en la siguiente tabla.

Tipos de vegetación	Formaciones y otras coberturas de tierra	Comunidades y otras coberturas
I Cultivos	1 Agricultura (riego y humedad)	Agricultura de riego (incluye riego eventual)
		Agricultura de humedad
		Riego suspendido
		Pastizal cultivado

Tipos de vegetación	Formaciones y otras coberturas de tierra	Comunidades y otras coberturas
	2 Agricultura (de temporal)	Agricultura (de temporal)
	3 Plantación forestal	Plantación forestal
<i>II Bosques</i>	4 Coníferas	Bosque de táscate
		Bosque de oyamel (incluye ayarín y cedro)
		Bosque de pino
		Matorral de coníferas
	5 Coníferas-latifoliadas	Bosque bajo-abierto
		Bosque de pino-encino (incluye encino-pino)
	6 Latifoliadas	Bosque de encino
	7 Mesófilo de montaña	Bosque mesófilo de montaña
<i>III Selvas</i>	8 Perennifolia y subperennifolia	Selva alta y mediana perennifolia
		Selva baja perennifolia
		Selva alta y mediana subperennifolia
		Selva baja subperennifolia
	9 Caducifolia y subcaducifolia	Selva mediana caducifolia y subcaducifolia
		Selva baja caducifolia y subcaducifolia
		Matorral subtropical
		Selva baja espinosa
<i>IV Matorral</i>	10 Mezquital	Mezquital (incluye huizachal)
	11 Matorral xerófilo	Matorral crasicaule
		Matorral sarcocrasicaule
		Matorral sarcocaule
		Matorral sarcocrasicaule de neblina
		Matorral desértico micrófilo
		Matorral desértico rosetófilo
		Matorral rosetófilo costero
		Vegetación de desiertos arenosos
		Matorral espinoso tamaulipeco
		Matorral submontano
		Chaparral
		<i>V Pastizal</i>
Pastizal natural (incluye pastizal-huizachal)		
Pastizal inducido		
Sabana		
<i>VI vegetación hidrófila</i>	13 Vegetación hidrófila	Manglar
		Popal-tular
		Vegetación de galería (incluye bosque y selva)
<i>VII Otros tipos de vegetación</i>	14 Otros tipos de vegetación	Palmar
		Vegetación halófila y gipsófila
		Vegetación de dunas costeras
	15 Área sin vegetación aparente	Área sin vegetación aparente
<i>VIII Otras coberturas</i>	16 Asentamiento humano	Asentamiento humano
	17 Cuerpo de agua	Cuerpo de agua

Al considerar los objetivos de planeación de la presente tesis de doctorado es evidente que la escala básica de trabajo no puede ser menor a 1:50 000.

Como ya se ha señalado, entender la dinámica de los ecosistemas exige estudiarlos en el contexto del paisaje al que pertenecen. Típicamente los estudios ecológicos se han realizado con ecosistemas simples, los sitios homogéneos son seleccionados para minimizar las complicaciones relacionadas con la heterogeneidad. La ecología del paisaje surge, entonces, para subsanar esta deficiencia, como una disciplina basada en el reconocimiento de la importancia de la configuración espacial para los procesos ecológicos (Turner *et al.*, 2001). Esta disciplina, a menudo, se enfoca en extensiones espaciales mucho más grandes que aquellas que tradicionalmente se estudian en la ecología de ecosistemas (Turner y Chapin III, 2005), los procesos ecológicos analizados en estos estudios de gran visión son esencialmente heterogéneos y pueden ser agrupados en dos grandes clases:

Procesos puntuales, que son fenómenos medidos en un parche particular, en el que se asume que los movimientos laterales son relativamente pequeños, comparados con las respuestas medidas y por lo tanto se desprecian, ejemplos son la producción primaria en un ecosistema o los procesos de fijación del nitrógeno en la rizosfera.

Transferencias laterales, que son flujos de materiales, energía e información de un parche a otro, ejemplos de este tipo de procesos son los movimientos de nutrientes a lo largo de un paisaje por las corrientes de agua o por los herbívoros.

Para identificar las transferencias laterales más importantes, siguiendo a Bocco, Priego y Cotler (2005), se determinó, para las dos subcuencas del área de estudio, la dinámica hidrológica (sistema de circulación que mantiene articulado a los ecosistemas); sobreponiendo a los mapas de las **UGA** (ecosistemas), a las que previamente se había incorporado el modelo digital de elevación, los mapas de hidrología superficial, 1:250 000 para identificar el sentido del flujo y las interconexiones entre las **UGA**, pues el análisis 1:50 000 resultó extremadamente complejo, aunque se reconoce que esta es una debilidad del estudio; adicionalmente se registraron las modificaciones en la dinámica hidrológica. El siguiente paso fue confeccionar los mapas de **zonas hidro-funcionales** para las subcuencas de Catorce y Matehuala, delimitando las zonas de cabecera, captación-transporte, emisión-confinamiento y captación-transporte-emisión. Sabemos que la dinámica hidrológica depende, en primer término, de la degradación del suelo, de la condición de la cobertura vegetal y de los cambios en los usos de la tierra por esta razón, se estudiaron estos atributos para las zonas hidro-funcionales representadas

en el sitio de estudio. La información sobre la degradación de los suelos fue obtenida de la siguiente forma: en primer término, se intentó utilizar como base cartográfica la información del proyecto “Evaluación de la degradación del suelo causada por el Hombre en la República Mexicana a escala 1: 250 000”, realizado por la SEMARNAT en colaboración con el Colegio de Posgraduados; pero la información no cumplió con los requisitos exigidos en la presente investigación; más del 20% de las validaciones realizadas en campo no corresponden con la información contenida en el estudio citado. Por esta razón, se prefirió utilizar, como base cartográfica de erosión hídrica y eólica, el **Programa Estatal de Ordenamiento Territorial San Luis Potosí**, elaborado en el año de 2002 por la Empresa Solta Pruna S.A. de C.V. Para cada zona **hidrofuncional**, se cartografiaron las áreas de suelo erosionado, utilizando diferentes clases, definidas con base en la magnitud del fenómeno. Resulta innecesario aclarar, que el comportamiento y las consecuencias de la erosión dependen de la zona de la cuenca donde se presenten.

Para estudiar los cambios en la cobertura y el uso de suelos se realizó un análisis en cada **una de las dos cuencas del área de estudio** mediante la sobreposición de las fuentes cartográficas corregidas digitalmente Serie I INEGI (t1 1976±3) y la base de datos del Inventario Forestal Nacional 2000 verificada (Velázquez *et al.*, 2002); el procedimiento resultó en un

conjunto de mapas por subcuenca que representa los cambios de cobertura y uso de suelo, en el periodo de 24 años \pm 3. Los mapas base son de pequeña escala (1: 250 000) por lo que son de muy baja resolución, pero está es la única información validada disponible.

Adicionalmente, mediante la realización de análisis históricos de la dinámica del paisaje aplicando ecuaciones de Chapman-Kolmogorov se construyeron clases de cadenas estocásticas de tiempo discreto; llamadas **clases de cadenas de Markov** (una **clase** está formada por todos los estados que son accesibles entre sí) y funcionan para identificar rutas reales de estado-y-transición. Las rutas reales de estado-y-transición de **los cambios de cobertura y uso de la tierra** y la magnitud de los fenómenos de erosión identificados, fueron relacionadas con los factores ecológicos, naturales o antropógenos, que los determinan. Estos factores actúan en forma concurrente, y al efecto impulsor de la dinámica del paisaje, resultante de la acción de las variables, se le denomina **régimen de disturbio**. La influencia de este régimen sobre la dinámica del paisaje es variable, pues constantemente cambia la composición de los factores que lo conforman y la conformación temporal y espacial de las variables.

El análisis del régimen de disturbio se realizó de la forma siguiente:

- a) Utilizando como mapa base los de **cambio de cobertura y uso de la tierra** por subcuenca, se realizó la sobreposición de los mapas de erosión eólica e hídrica, intentando determinar si existe correlación entre **usos principales de la tierra** y la erosión, en particular se consideraron las áreas no aptas para actividades agropecuarias donde se practica la agricultura, determinadas en la sección anterior.
- b) Para cada subcuenca se identificaron los cambios en ubicación y extensión, de los **usos principales de la tierra**: agricultura de temporal, agricultura de riego y humedad, industria; minería, entre 1976±3 y el año 2000. Para el periodo 1970-2000 se identificaron los cambios en las áreas ocupadas por asentamientos humanos y los cambios en la población y la densidad de población en el área de estudio; correlacionando los cambios en los **usos principales de la tierra** (incluyendo los cambios en la intensidad de los aprovechamientos) con los cambios en la **densidad de población**.
- c) Se seleccionaron las mejores series de tiempo, de largo periodo, de temperatura y precipitación diaria, para tendencias de cambio climático para el estado de San Luis Potosí. Los índices fueron determinados para cada una de las estaciones climatológicas disponibles; seleccionadas, siempre y cuando, presentaran cuando

menos el 90% de los datos, en un espacio de treinta años cercano al periodo 1961-90, muy utilizado en otros estudios. Cada serie fue previamente homogenizada y se consideró representativa de una región, que en lo posible se intentó hacer coincidir con las UGA.

- d) Se realizó la comparación entre la tasa de crecimiento poblacional y las Tasas de cambio anualizadas por tipo de cobertura. En ambos casos se utilizó el siguiente algoritmo:

Crecimiento exponencial: $V_{t+\Delta t} = V_t e^{r\Delta t}$

$$r = [1/\Delta t \ln (V_{t+\Delta t}/V_t)] \times 100$$

Para evaluar la importancia del sobre pastoreo en el régimen de disturbio se realizó un análisis comparativo entre la carga animal real y la potencial para las **unidades paisajísticas** en 1974-76 de acuerdo a la siguiente metodología:

- I. Se utilizaron como base los mapas de **vegetación** elaborados, por subcuenca, a partir de los datos contenidos en el estudio de *Coeficientes de Agostadero de la República Mexicana, Estado de San Luis Potosí* realizado por la Comisión Técnico Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero (**COTECOCA**), en 1974. A cada mapa base se sobrepuso el correspondiente de **vegetación y usos de suelo** construido a partir de las fuentes cartográficas corregidas digitalmente Serie I INEGI (t₁ 1976+3). De las **unidades de vegetación COTECOCA** se restaron las áreas correspondientes a los usos de suelo:

agricultura de riego y humedad; agricultura de temporal; y asentamientos humanos. La nueva extensión de cada **unidad de vegetación COTECOCA 74-76** se dividió entre **el coeficiente de agostadero ponderado**, para obtener **la capacidad de carga animal por unidad de vegetación**; la suma de las cargas permitió conocer la capacidad de carga animal de cada **UGA** y unidad paisajística.

- II. Con base en la información estadística pecuaria se determinó la carga animal anual promedio para el periodo 1974-76 por municipio. A los mapas municipales se superpusieron **los mapas de unidad de vegetación COTECOCA 74-76** y el número de unidades animales (UA) totales del municipio se distribuyó en forma ponderada entre los tipos de vegetación (suponemos que los patrones de carga animal se distribuyen en el territorio de acuerdo a la capacidad de soporte de las unidades de vegetación agrícola); por ejemplo, el municipio "X" cuenta con 1000 UA; y en su circunscripción territorial de 10 000 ha, existen los tipos de vegetación: "A", con 3 000 ha; "B", con 4 000 ha; y "C" con 3 000 ha; si el coeficiente de agostadero de "A" es de 4ha/UA, el de "B" 8ha/UA, y el de "C" 2ha/UA; entonces asignamos a "B", 180 UA; a "A", 270; y a "C", 550 UA. Posteriormente sumamos las cargas animales para cada UGA (una UGA puede extenderse por más de un municipio); y al final obtenemos, sumando las UGA de una subcuenca, la carga animal por **unidad paisajística**.
- III. Para obtener un Índice de Sobrepastoreo (IS) para cada UGA dividimos la carga animal entre la capacidad de carga. Posteriormente representamos los valores del IS en cada UGA de la subcuenca.

Para evaluar las tendencias del manejo sostenible de los agostaderos se realizó un análisis comparativo entre la carga animal real y la potencial para las **unidades paisajísticas** en el año 2000 de acuerdo a la siguiente metodología:

- a. Se utilizaron como base los mapas de **vegetación** elaborados, por subcuenca, a partir de los datos contenidos en el estudio de *Coeficientes de Agostadero de la República Mexicana, Estado de San Luis Potosí* realizado por la Comisión Técnico Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero (**COTECOCA**), en 1974. A cada mapa base se sobrepuso el correspondiente de **vegetación y usos de suelo** construido a partir de la base de datos del Inventario Forestal Nacional 2000 verificada (Velázquez 2002). De las **unidades de vegetación COTECOCA** se restaron las áreas correspondientes a los usos de suelo: **agricultura de riego y humedad; agricultura de temporal; y asentamientos humanos**. Posteriormente a cada mapa resultante por subcuenca se sobrepuso el correspondiente de cambios de uso de la tierra para determinar la extensión y los tipos de cambio de las formaciones vegetales, en este punto, se realizó la corrección de las clases de formaciones utilizadas en la base de datos del Inventario Forestal Nacional 2000 verificada (Velázquez 2002), para adaptarlas a las utilizadas por COTECOCA 1974; estas correcciones fueron verificadas en campo. La nueva extensión de cada **unidad de vegetación COTECOCA 2000**, se dividió entre el coeficiente de agostadero ponderado, para obtener **la capacidad de carga animal por unidad de vegetación**; la suma de las

cargas permitió conocer la capacidad de carga animal de cada unidad paisajística para el año 2000.

- b.** Con base en la información estadística pecuaria se determinó la carga animal para el año 2000 por municipio. A los mapas municipales se superpusieron **los mapas de unidad de vegetación COTECOCA 2000** y el número de unidades animales (UA) totales del municipio se distribuyó en forma ponderada entre los tipos de vegetación (suponemos que los patrones de carga animal se distribuyen en el territorio de acuerdo a la capacidad de soporte de las unidades de vegetación agrícola); como en el caso 1974-76. Posteriormente sumamos las cargas animales para cada UGA (una UGA puede extenderse por más de un municipio); y al final obtenemos, sumando las UGA de una subcuenca, la carga animal por **unidad paisajística**.
- c.** Para obtener un Índice de Sobrepastoreo (IS) para cada UGA dividimos la carga animal entre la capacidad de carga. Posteriormente representamos los valores del IS en cada UGA de la subcuenca.

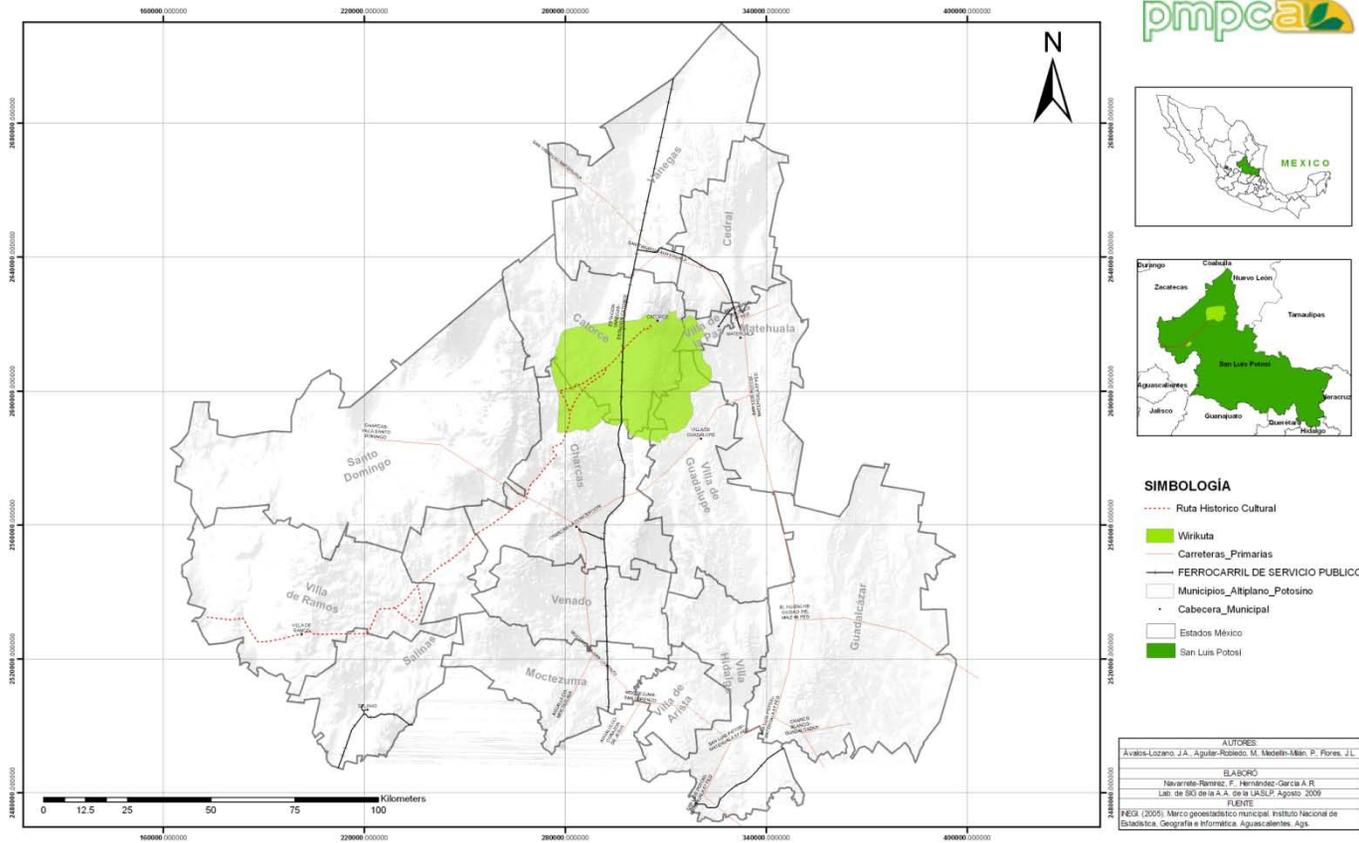
2.2 Localización Geográfica del Distrito Minero de Catorce

Los Distritos Mineros de Catorce y Matehuala, se localizan en el Altiplano Potosino, en el Estado de San Luis Potosí, México, juntos, constituyen el área de estudio de la presente investigación; que incluye, los municipios de Catorce, Cedral, Villa de la Paz, y la fracción de los municipios de Charcas, Matehuala y Villa de Guadalupe ocupada por el Sitio Sagrado

Natural de Wirikuta. Para los propósitos de la presente investigación el área de estudio coincide con la actual superficie de *Wirikuta*.

El “Sitio Sagrado Natural” se encuentra en la parte norte del Altiplano Potosino, en el cuadrante suroriental de la Ecoregión denominada Desierto Chihuahuense (González-Costilla, 2005). El polígono General de la reserva presenta una superficie de 140 293,69 ha (ciento cuarenta mil doscientas noventa y tres 69/100 hectáreas (1 402,93 km²), con un perímetro de 175 173,59 m (ciento setenta y cinco mil ciento setenta y tres metros 59/100). Su localización geográfica; en los términos marcados en el decreto publicado en la edición ordinaria 129; segunda sección. Sumario del Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de San Luis Potosí, el viernes 27 de octubre de 2000 y reformado el sábado 9 de junio de 2001, se presenta en el siguiente mapa. Los bordes y el área del polígono principal de la reserva fueron verificados mediante un recorrido en campo en los meses de marzo, abril y mayo del 2007. El polígono principal incluye la mayor parte de la Sierra de Catorce; que es una formación montañosa aislada que se prolonga en sentido Norte-Sur, con dimensiones promedio de 40 km de longitud (N-S) por 35 km de ancho (E-W); sus piedemontes y los llanos que la circuyen.

UBICACIÓN REGIONAL Y VÍAS DE ACCESO



2.3 Antecedentes del Sitio Sagrado Natural de Wirikuta

El pueblo *wixarika* es un sobreviviente de quinientos años de opresión. Diezmados por la esclavitud, el hambre, las guerras y las enfermedades han resistido todos los avatares, preservando, con férreo empeño, su identidad y su cultura. Menciona (Arregui, 1980: 88) en 1621:

“Los indios naturales [de Jalisco] son pocos respecto de las grandes mortandades que han tenido y tienen, que aún los años pasados de -618 y -619 hubo gran dolencia entre ellos que apocó mucho la gente en este reino, sin [contar] las [plagas] de atrás que redujeron [la] cuenta [de la población de] un número que, por las relaciones y ruinas que vemos, debía de ser innumerable (...) Llamam los indios a éstas enfermedades cocolistle (...) es un género de calentura muy fuerte (...) con lo cual en ocho días se mueren (...) Y mueren más de la gente moza que de la gente mayor”.

Al considerar la descripción de Arregui, realizada en 1621 (1980: 91-107), de los pueblos que habitaban el actual territorio de los *wixaritari*, resulta asombroso verificar, que en muchos aspectos, el pueblo *wixarika* ha preservado su cultura ancestral.

“En el habito o vestido (...) se parecen mucho los indios (...) En lo que comúnmente se ocupan (...) es en hacer sementeras de maíz, frijol y algodón, según el temperamento y uso de la tierra (...) las indias cuidan de hacer la comida, que todo viene a ser moler el maíz o para tortillas, o para tamales o para atole o pinole, que de guisados poco se gasta más que hierbas y calabazas. Hilan ellas también el algodón. (...) [Es un gran vicio] el del tabaco en los hombres, que llega ya a tan grande extremo que solo falta tomarlo por los ojos (...) Las casas en que habitan son de paja y muy bajas y pequeñas y vacías de todas alhajas, porque no tienen los indios más que un metate (...) un comal (...) una olla, una manta (...) dos perrillos y dos o tres gallinas, un *cuescomatillo* de cañas y lodo en que guardan su maíz (...) La yerba que da ánimo y esfuerzo es el peyote, que al que lo toma se lo da por mucho tiempo; y aun los indios dicen que adivinan con él, y la verdad es que da una manera de adormecimiento y un calor que hace que el cansancio y otros trabajos se sientan menos, y tomando mucho se privan del sentido de modo que dicen que ven visiones y entonces dicen que adivinan o saben las cosas ocultas que pretenden”.

Según diversos testimonios el consumo del *hikuri* se encontraba muy extendido entre los pueblos precortesianos y no se limitaba a los pueblos del norte y noroeste de México:

- Sahagún refiere en *Historia*, libro XI, capítulo VII que “Hay otra yerba como tunas de tierra, se llama peiotl; es blanca, hácese hacia la parte del norte; (...); es común manjar de los chichimecas pues los mantiene y les da ánimo para pelear y no tener miedo, ni sed, ni hambre, y dicen que los guarda de todo peligro” (Powell, 1996).
- En el proceso contra una india chichimeca por hechicera y levantar indios para sublevarse. Año 1599. Justicia Mayor: Gabriel Ortiz de Fuenmayor, se encuentra el texto siguiente: “En el dicho día, mes y año dicho, el dicho Justicia Mayor hizo parecer ante sí a la dicha india, que dijo ser de nación chichimeca guachichila (...) y siendo preguntada (...) dijo lo siguiente: (...) que estando esta confesante borracha [intoxicada con *hikuri*] vio venir hacia ella dos figuras a manera de venados, y que le dijeron que no se desviase, y que a ella la buscaban (...) y luego las dichas dos figuras se metieron en una cueva juntamente con esta confesante y luego le dieron un caballo” (Urquiola, 2004: 56, 67).

El arma fundamental de resistencia del pueblo *wixarika* fue, y sigue siendo, su identidad cultural, “el costumbre” o *Tayeiyari* (literalmente nuestra esencia). Al seguir el *Tayeiyari* se mantiene la tradición y se estrechan los lazos de la comunidad. La tradición cultural *wixarika* se construye esencialmente en torno a una cosmovisión en la que es preciso mantener el equilibrio del mundo mediante un camino de autosacrificio y búsqueda del conocimiento, obtenido en la recreación de los actos primigenios de la génesis del mundo; en la recreación de la peregrinación creadora.

Wirikuta es la denominación que el pueblo *Wixarika* ha dado a un sitio sagrado localizado en el cuadrante suroriental del Desierto Chihuahuense, en el norte del Altiplano Potosino (norte de San Luis Potosí). En el proceso de elaboración de la presente tesis se trabajó en el proceso de recuperación del significado cultural de *Wirikuta* con un grupo de investigadores *wixaritari*. A partir de esa investigación se ha rescatado una versión del génesis del mundo (esta versión *wixarika* del origen del topónimo *Wirikuta* fue una comunicación personal de Chivarra (2007):

En el principio *Tamatsi'Eka Teiwari*, el primer *Kaka+yari* (espíritu o energía creadora), convocó a los restantes dioses por la fuerza que tenía, ya que es el Dios del viento, para ver quién formaba el mundo, pues solo había agua y cielo y los dioses estaban cansados y no tenían donde

descansar, por eso decidieron formar el mundo. *Tamatsi'Eka Teiwari* se concretó a ordenar la tarea de construir del Universo, que fue concebido en un sueño. Establecido el plan general, dejó la tarea de la creación a los restantes dioses, para que pensaran quién iba a convertirse en el fuego (*Tatewari*), el sol (*Tawexik+a* o *Tawewiekame*), y otros que se formaron: *Tateteima* y *Takaka+ma*.

Los *Kaka+yarixi* que provenían de *Tatei Haramara* (isla del rey, costa de San Blas, Nayarit) entraron por *Wautieri* (la puerta al primer mundo) y después de dejar dos piedras blancas, para evitar la entrada por la puerta de entidades malignas, decidieron viajar a *Wirikuta* para formar el mundo guiados por *Tatuutsi Maxakwaxi* (guía de los dioses, cola de venado). Entre todos los espíritus que participaban en la peregrinación creadora dos se destacaban: *Tamatsi Kauyumarie* (el venado cola blanca que piensa con maldiciones y actúa perversamente) y *Tamatsi Paristsika* (el venado cola blanca que piensa bien), estos espíritus creadores eran hermanos, hijos de *Tatei Maxara+*. El más sabio era *Tamatsi Kauyumarie* pero no quería compartir su conocimiento, porque estaba dominado por la envidia. Los dos dioses viajaron compitiendo para ver quien creaba mejor las cosas del mundo. *Tamatsi Paristsika* venía acompañado de dos venadas una de ellas se llamaba *Wiri +Wi* de la otra se desconoce el nombre. *Wiri +Wi* fue atrapada por los *Kaka+yarixi* y sacrificada para

formar con sus restos el mundo. El sitio donde se realizó la inmolación, en honor a ella, se conoce desde entonces como *Wirikuta* (lugar donde *Wiri* +*Wi* fue atrapada y sacrificada).

Ya formada la tierra, entre todos los Dioses que venían de *Haramara* formaron los *hikuri* (peyotes), esa es la razón por la que están en *Wirikuta* y ahí existen. La rivalidad de los dos *Tamatsi* se manifestó también en la formación de *hikuri*, por eso en la actualidad cuando alguien consume *hikuri* puede servir para el bien o para el mal. El *hikuri* no es un dios, es un maestro de sabiduría y es el *nierika* (rostro) de los *Kaka+yarixi*. El conocimiento que proviene de *Tamatsi Kauyumarie* se adquiere rápido pero solo sirve para conseguir cosas malas, al seguir el camino de *Tamatsi Paristsika* se aprende más lentamente pero cosas buenas. Los venados a través de su *nierika* (rostro o vehículo) constituyen la fuente del verdadero conocimiento, si los *hikuri* desaparecieran se interrumpiría definitivamente *Tayeiyari* y se acabaría el pueblo *Wixarika* y por consiguiente el mundo.

Los *hikuri* son el espíritu del maíz. Las diferentes variedades de esta planta se formaron a partir de la transformación de cinco mujeres que acompañaban a *Tamatsi Kauyumarie* y *Tamatsi Paristsika*, ambos unieron sus poderes para convertirlas en *hikuri-iku* (peyote-maíz). Estas mujeres eran hijas de *Tatei Niwetsika* (la madre del maíz). Por eso existen

5 diferentes tipos de *hikuri* que corresponden a cinco tipos diferentes de maíz, estas cinco clases de seres, en sus diferentes manifestaciones, eran originalmente seres humanos, como nosotros, pero mujeres, sus nombres son: *Yuama* o *Yuawima* (Azul), *Taxawime* (Amarilla), *Tuxawime* (Blanca), *Y++ma* (Morada), *Ta+rawime* (Rosa). Esta es la razón que justifica la fascinación que los *wixaritari* sienten por el número cinco: cinco son los rumbos del plano del horizonte: *Tserieta*, la parte derecha; *'utata*, la parte izquierda; *tsut+a*, la parte de abajo; *hix+apa*, la parte de arriba; *hix+ata*, en el medio); cinco los niños que fueron sacrificados para formar al sol (los cuatro primeros se convirtieron en pájaros fue el quinto el que se convirtió en sol); cinco los nombres que recibe el sitio donde surgió el sol: (*Ra'unax+*, *Tawexik+a*, *Tayau*; *Tau*; *Wexik+a*; *Xik+a*); cinco los colores del mar; cinco los nombres que reciben los *wixaritari*, al quinto día de nacimiento, asignados por sus abuelos que se reúnen para dar el nombre a los niños conforme a lo que soñaron; cinco son los escalones de perfeccionamiento moral que se requieren alcanzar para convertirse en un *Mara'akame* (cantador, hombre de conocimiento o guía espiritual) y que coinciden con los cinco niveles que conforman el territorio de *Wirikuta*. Los niños *wixaritari* viajan simbólicamente a *Wirikuta* durante cinco años guiados por un *Mara'akame* (por cada viaje sus padres elaboran un ojo de Dios que va aumentando en su complejidad hasta el

quinto viaje). Mientras los niños se encuentran en este proceso se llaman *t+wainurixi* (niños que viajan en espíritu a *Wirikuta*).

Wirikuta es el destino final de una peregrinación de 550 km realizada por los *wixaritari* desde sus comunidades situadas en la Sierra Madre Occidental, en un área que incluye porciones del estado de Jalisco, Nayarit, Zacatecas y Durango. Estos viajes sagrados, que siempre son dirigidas por un *Mara'akame*, tienen como propósito fundamental asegurar la continuidad de los ciclos vitales y permitir la existencia del mundo. Los peregrinos ofrendan su esfuerzo y son portadores de las ofrendas enviadas por su comunidad; estos presentes alimentan y propician la buena voluntad de los dioses y aseguran la continuidad del tiempo. Por cumplir esta responsabilidad universal los peregrinos, y la comunidad que representan, son recompensados con el *hikuri* que les permite obtener la quintaesencia del conocimiento. “Al regresar los *wawa'+te* (encargados de realizar las fiestas tradicionales durante cinco años) de la peregrinación, con su carga de *hikuri* que comparten con el pueblo, dicen que han obtenido *tewi niuki'iyari*, es decir, que han hablado con los ancestros y obtenido consejo y aliento” (Chivarra, 2007). Las peregrinaciones cumplen también otro papel constituyen un rito de iniciación (los profanos realizan su primer viaje con los ojos vendados) y recorren los cinco escalones de iniciación que constituyen a *Wirikuta*; estos viajes iniciáticos permiten a

los niños transformarse en hombres mediante la mortificación y purificación ceremonial.

El sitio sagrado *Wirikuta* abarca una extensión mucho mayor a la considerada en el decreto del Gobierno del Estado de San Luis Potosí del 09 de junio del 2001 (1 402,94 km² incluidos en el polígono general y 2,925 km² incluidos en la Ruta histórico-cultural del pueblo *Wixarika*). *Wirikuta* realmente inicia a partir del área conocida como *Tsinurita* (que se encuentra fuera del área del decreto y es considerada área de influencia) situada en los municipios de Villa de Ramos y Salinas, a 5 km al noreste de Noria de la Jarilla. En esta área encontramos el primero de los cinco escalones que constituyen a *Wirikuta*, llamado *Niwetarikatsie* (el primer paso), situado en el Cerro del Pedernal, Villa de Ramos. Anteriormente algunos wixaritari cazaban al *hikuri* en *Tsinurita* y de ahí regresaban a sus comunidades, pero las poblaciones locales de esta planta, actualmente, casi han desaparecido por lo cual la cacería se ha movido al norte. Todo en *Wirikuta* es sagrado, los *wixaritari* se regocijan al encontrar las decenas de animales y plantas sagradas, por cuyo conducto la Madre Tierra les habla, aprobando su peregrinar.

El lugar más importante de *Wirikuta* es el quinto y último escalón, situado en el área del polígono general; aquí se encuentran diversos sitios sagrados: *Kwanameyapa* (lugar donde hay piedras quemadas); *Ra'unax+*

(Cerro Quemado) lugar donde surgió el sol después de realizar un viaje por el inframundo, el viaje inició en *Haramara* y durante el recorrido *Tawewiekame* tuvo que pelear con animales desconocidos que lo atacaron con flechas; *Xiu T+ritsipa* o *Xiut+ripa* (lugar de encinos chiquitos); *Yeimukwaripa* o *Yeimukwarita* (lugar de llanuras); e *Itsumurie* (lugar de matorrales grandes). En estos sitios sagrados residen muchos *Kaka+yarixi*, el *Mara'akame* José Guadalupe Serio (2007) mediante comunicación personal nos señaló que ellos mismos no conocen a todos los espíritus que habitan *Wirikuta*:

“Los *Kaka+yarixi* se comunican con nosotros en sueños y nos dicen: estamos tristes porque nadie nos visita, nadie nos trae que comer, estamos solos y tenemos hambre. Además de los dioses existen muchos seres que hablan – continua el *Mara'akame* – las piedras, los árboles, los ríos, todo nos habla, todo está vivo, animado por el agua que es el espíritu de todo” (Serio, 2007).

En los escalones inferiores de *Wirikuta*, en el valle aluvial ubicado al oeste de la Sierra de Catorce, en la zona de matorral desértico micrófilo es donde los *wixaritari* “cazan” el *hikuri* (pues el *nierika* huye de los hombres impuros que no merecen consumirlo y, en cambio, permite que los hombres puros lo capturen). Antes de consumir el producto de su cacería los peregrinos realizan ceremonias propiciatorias en honor a la madre del

hikuri, solicitándole permiso para comer algunos de sus hijos, y explicándole que para que los hombres vivan sus hijos deben de morir. Al consumir los *hikuri* los nueve protoalcaloides que contiene la planta, en particular la mezcalina, producen en los *wixaritari* trances alucinógenos, mediante los cuales, consiguen sustraerse de la realidad y transportarse a sitios fuera del tiempo y el espacio, en ellos los humildes romeros se convierten en seres destinados al supremo propósito de preservar la obra creadora de los dioses; objetivo que sólo pueden cumplir al limpiarse de toda mancha terrenal, mediante mortificación y penitencia, después de la confesión pública de los pecados y la quema simbólica de una cuerda anudada que los representa.

Como todos los pueblos que habitaban México antes de la conquista española, los *wixaritari* fueron expulsados de sus provincias originales, lo que destruyó la continuidad de su espacio territorial. Fueron despojados de sus tierras y por consiguiente de muchos de los espacios cotidianos y sagrados que habían construido. Esto puede explicar su preocupación por la preservación de áreas sagradas ubicadas fuera de los confines de su territorio. Reconocer su derecho a utilizarlos equivale a reconocer una deuda histórica.

2.3.1 Antecedentes de conservación

En el año de 1989 un grupo de peregrinos *wixarika* solicitó al entonces presidente de la República Carlos Salinas de Gortari su intervención para salvaguardar sus sitios sagrados y garantizar su derecho a viajar a *Wirikuta* y utilizar el *hikuri* y otras plantas y animales sagrados con fines ceremoniales. El Presidente encomendó entonces al Instituto Nacional Indigenista (INI) la construcción de una propuesta para la protección de los sitios sagrados *wixarika*. Como parte del trabajo de protección el INI impulsó una serie de acuerdos entre las autoridades tradicionales *wixaritari* y las autoridades ejidales de las diversas comunidades por donde pasan las peregrinaciones.

En 1994 el proyecto de construcción de una autopista que atravesaría *Wirikuta* provocó la movilización de diversos actores sociales, los cuales consiguieron, tras una afortunada movilización, un decreto de protección emitido el 19 de septiembre de 1994, por el Gobierno del Estado de San Luis Potosí, en el que se reconocía el área como “Sitio de patrimonio histórico, cultural y zona sujeta a conservación ecológica”. La declaración fue realizada con base en una solicitud expresa del pueblo *Wixarika* en la que se demostraba, mediante claros argumentos, que tanto su ruta histórico-cultural, como sus sitios sagrados, ubicados en la circunscripción territorial del estado de San Luis Potosí, requerían de atención inmediata,

merced al grado de perturbación ambiental que presentaban. El decreto del Gobierno del Estado incluía un polígono general con una superficie de 73 000 hectáreas (ha) y la ruta wixarika histórico-cultural a través de los municipios de Villa de Ramos, Charcas y Catorce.

En 1995 y 1996, la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Conservación Humana A.C., la Fundación para el Desarrollo Rural, representantes *wixaritari* y la SEGAM, acordaron los convenios con ejidatarios de la Ruta, para permitir el libre tránsito de los peregrinos y la protección de algunos sitios sagrados. Finalmente, después de muchos esfuerzos en 1999 se concretó el financiamiento de un Plan de Manejo con fondos de WWF y se obtuvo el reconocimiento de la Reserva por parte de la UNESCO como uno de los 14 Sitios Sagrados Naturales del Mundo, dentro del programa de “Conservación de Sitios Sagrados Naturales del Mundo”. Para el 15 de enero del 2000 el Gobierno del Estado decretó la creación del “Sistema de Áreas Naturales Protegidas del Estado de San Luis Potosí” (SANPES) y “El Consejo Estatal de Áreas Naturales Protegidas del Estado de San Luis Potosí”. Dentro del SANPES operan Áreas Naturales Protegidas y Áreas Prioritarias para su Conservación, así como las Servidumbres Ecológicas. La creación del SANPES tuvo como objeto:

I.- La conservación y restauración de áreas representativas de los sistemas naturales del Estado.

II.- La selección de áreas prioritarias para su conservación.

III.- La categorización de Declaratorias.

El viernes 27 de octubre de 2000 El Gobierno del Estado de San Luis Potosí declaró a *Wirikuta* y a la Ruta *Wixarika* Histórico-Cultural como Área de Reserva Estatal, mediante el decreto publicado en la *edición ordinaria 129. Segunda Sección. Sumario del Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de San Luis Potosí*. La condición de la Reserva fue modificada, mediante decreto, el sábado 9 de junio de 2001 incluyéndola en la modalidad de “Sitio Sagrado Natural” estado que guarda a la fecha. Bajo los términos del decreto el Sitio Sagrado Natural se ubica en los municipios de Catorce, Villa de la Paz, Matehuala, Villa de Guadalupe, Charcas, Salinas de Hidalgo y Villa de Ramos del estado de San Luis Potosí, con una superficie de 140 211,85 ha y con una longitud de la ruta de 138,78 km.

El 14 de noviembre del año 2000, el Gobierno del Estado de San Luis Potosí obtuvo el premio denominado “Regalo Sagrado para un Planeta Vivo” otorgado por la alianza para la Conservación de las Religiones

(ARC) y el Fondo Mundial para la Naturaleza, evento celebrado en Katmandú, Nepal.

Durante el año 2000 se celebró un convenio entre la Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental del Gobierno del Estado (SEGAM), la *World Wildlife Fund* (WWF) y el grupo denominado Conservación Humana, A. C. para que esta última agrupación realizará el Plan de Manejo de la Reserva de *Wirikuta*, el estudio finalizó en el 2001, quedando por concluir las etapas de consulta pública, especialmente entre la población y autoridades locales, nunca fue decretado y por lo tanto no entro en vigor, con lo cual los avances conseguidos aparentemente se perdían. Afortunadamente el Gobierno del Estado decidió continuar sus actividades de protección en el año 2002 cuando, por medio del FANPES, se realizaron una serie de obras a fin de dotar la infraestructura básica necesaria a la zona como: módulos de vigilancia (Mastranto y Cerro Quemado) y dotación de paneles solares para la generación de energía eléctrica a diversos pobladores.

En el transcurso de los meses de enero y febrero del 2005 la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI), la Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental del Estado de San Luis Potosí (SEGAM), y la Coordinación para la Atención de los Pueblos Indígenas del Estado (CEAPI) realizaron el Curso-Taller denominado “Capacitación a

autoridades indígenas *wixaritari* y autoridades ejidales no Indígenas sobre la Protección de Lugares Sagrados y Planeación del Desarrollo Comunitario”. En el mismo año se realizó una obra consistente en el mejoramiento del Módulo de Vigilancia de Cerro Quemado así como la construcción del sendero que conduce al *xiriki* (casa de ofrendas) que encuentra en la cima del mismo. La consulta pública continuó de agosto a noviembre del 2006 cuando la CDI, CEAPI y SEGAM realizaron un proceso de consulta pública en dos etapas dirigido a:

Los pobladores del Sitio Sagrado Natural *Wirikuta*, esta fase fue realizada en cinco talleres en los que participaron 166 personas.

Al Pueblo *Wixarika*, esta etapa fue realizada en tres partes: consulta en centros ceremoniales en la que participaron 843 *wixaritari*; realización de talleres estatales, se efectuaron dos talleres estatales (Nayarit y Durango), con la participación de 352 representantes del pueblo *wixarika*; y un Foro interestatal, efectuado el 27 y 28 de octubre de 2006 en el Puerto de San Blas, Nayarit, en el que participaron 169 representantes del pueblo *wixarika* entre Autoridades Tradicionales, miembros de la Unión *Wixarika* de Centros Ceremoniales y otros. En total participaron 1 530 personas en el proceso de consulta.

A principios del año 2007 la SEGAM encomendó la realización del Plan de Manejo del Sitio Sagrado Natural *Wirikuta* a la Universidad Autónoma

de San Luis Potosí a través de la Agenda Ambiental, la cual dio inicio de inmediato a los trabajos. Los días 10 y 11 de mayo La SEGAM en coordinación con la CDI y la CEAPI organizó un encuentro en el que participaron más de 20 representantes del pueblo *wixarika* procedentes de los estados de Jalisco, Durango y Nayarit diversas autoridades y el autor de la presente tesis de investigación. El objetivo del taller consistió en el análisis de los resultados de las consultas públicas y la presentación de los avances en la elaboración del Plan de Manejo de la Reserva. Un producto relevante de los trabajos fue la conclusión de que no se habían identificado de una manera adecuada todos los sitios sagrados incluidos en el Polígono General del Sitio Sagrado y en la Ruta *wixarika* histórico-cultural.

El día 23 de mayo del 2007 la Agenda Ambiental de la UASLP organizó el “Primer Encuentro Interinstitucional de la Red de Investigación del Sitio Sagrado Natural *Wirikuta*”. El propósito fundamental de la reunión fue establecer un diálogo entre el pueblo *Wixarika*, investigadores potosinos y diversas dependencias de los Gobiernos Estatal y Federal; con la finalidad de establecer un marco conceptual, operativo y administrativo que garantizará la factibilidad del “Sitio Sagrado Natural *Wirikuta*” y permitiera la construcción de una cartera de proyectos interinstitucionales. En el encuentro participaron representantes del pueblo *Wixarika*, de

diferentes dependencias gubernamentales y veinte investigadores de la UASLP, del Colegio de San Luis (COLSAN), del Instituto Potosino de Ciencia y Tecnología (IPCYT) y el autor de la presente investigación por parte del Instituto Politécnico Nacional. Los acuerdos fundamentales del encuentro fueron:

- A. El establecimiento de la “Red de investigación interinstitucional de *Wirikuta*”, en la que participan el Gobierno Federal, a través de la CDI; el Gobierno del Estado, por conducto de la SEGAM; la UASLP; el Colegio de San Luis; el IPICYT; el IPN; y el Pueblo *Wixarika*, representado por la Unión *Wixarika* de Centros Ceremoniales de Jalisco, Durango y Nayarit, A.C. Esta red facilitará la obtención de recursos de fuentes nacionales e internacionales aplicables para la realización de una cartera de proyectos para el desarrollo y mantenimiento de *Wirikuta*.
- B. La propuesta de documentar el espacio sagrado *Wixarika*: delimitando y cartografiando los diferentes sitios sagrados y trazando en forma definitiva las rutas principales; realizando a largo plazo el inventario de: los obstáculos en la ruta *wixarika* histórico-cultural, y los diversos elementos del paisaje (geología, hidrología, suelos, flora, fauna, vegetación, usos de suelo) que conforman la

ruta; y recuperando el significado que los diferentes sitios que componen el espacio sagrado tienen para los *Wixaritari*.

C. La construcción de un Plan de Manejo del Sitio Sagrado Natural de Wirikuta basado, en una metodología de planeación participativa y en los estudios paleoecológicos y ecológicos realizados, con una aproximación multidisciplinaria, en el proyecto de investigación objeto del presente documento, que se realizaba en el sitio desde el año 2003 y se presenta en forma detallada en esta disertación.

Del primero al tres de junio del 2007 un grupo integrado por veinte investigadores de la UASLP, COLSAN, IPN e IPICYT realizó una visita a dos comunidades *wixaritari* ubicadas en el estado de Jalisco: Ocota de la Sierra y Pueblo Nuevo dependientes de dos diferentes Centros Ceremoniales. En ambas localidades representantes del equipo de investigación presentaron, ante dos mil *wixaritari*, en Ocota de la Sierra y, más de quinientos, en Pueblo Nuevo la descripción de los criterios fundamentales para la elaboración del Plan de Manejo, de la zonificación y los mecanismos fundamentales de manejo sostenible. Se comentó adicionalmente sobre la condición ambiental del sitio sagrado y su importancia. Al finalizar la reunión los representantes de la UASLP y el IPN manifestaron algunas dudas sobre la ubicación de los sitios sagrados a lo largo de la Ruta Histórico-Cultural; los mismos profesionistas,

hicieron notar que el trayecto sólo ha sido cartografiado en forma general. De ambas reuniones surgió la propuesta de nombrar a una comisión integrada por hombres de conocimiento para acompañar al equipo de investigación y documentar el espacio sagrado *Wixarika*, delimitando y cartografiando los diferentes sitios sagrados y trazando en forma definitiva las rutas principales. La comisión fue integrada por cinco representantes del pueblo *wixarika*. Finalmente del cuatro al ocho de junio del 2007 se estableció una de las rutas principales de la peregrinación *wixarika*, desde el estado de Jalisco y hasta *Wirikuta*, mediante un recorrido en campo.

2.4 Fisiografía y geomorfología

2.4.1 Fisiografía

El Sitio Sagrado Natural de Wirikuta se constituye por una meseta con promedio altitudinal cercano a los 1 700 m, con presencia de Serranías orientadas de N a S (Rzedowski, 1972). De acuerdo con la clasificación de provincias fisiográficas elaborada por INEGI (Anónimo, 2007) la mayor parte de *Wirikuta* se localiza en la Provincia Fisiográfica denominada “Sierra Madre Oriental” (la máxima elevación de esta provincia, 3 180 m, corresponde al Cerro Grande y se presenta en la Sierra de Catorce). La característica esencial de esta provincia consiste en “el plegamiento de estratos de rocas sedimentarias marinas, en ondulaciones fuertes y alargadas que forman estructuras anticlinales y sinclinales con orientación

general noroeste-sureste” (Anónimo, 2007). Hacia la parte baja de la provincia se encuentran llanuras y valles intermontanos de origen fluvial y aluvial limitados por serranías. La Subprovincia de la Provincia “Sierra Madre Oriental” en la que se encuentra la reserva es la de las “Sierras y Llanuras Occidentales”.

La parte occidental de la Reserva se localiza en la Provincia Fisiográfica denominada “Mesa del Centro” (aproximadamente la tercera parte del territorio). Esta provincia se caracteriza por presentar elevaciones que varían de 1 610 a 2 870 msnm. Presenta amplias llanuras en donde se destacan prominencias (sierras, mesetas y lomeríos) constituidos por rocas ígneas, sedimentarias y algunas, pocas, metamórficas. Las sierras y lomeríos son de pendientes suaves y tienen una orientación general norte-sur, mientras que las llanuras son de pendiente plana y afectadas por fases petrocálcica (fase de tipo físico, se refiere a la presencia de una capa de caliche duro capa cementada y endurecida constituida por carbonatos) y fase salina (fase química caracterizada por la presencia de sales solubles en el suelo. La Subprovincia de la Provincia “Mesa del Centro” en la que se encuentra la porción occidental de la reserva es la de las “Sierras y Lomeríos de Aldama y Río Grande”.

En la Región se observa un patrón en el que se alternan sierras y cuencas. Las planicies que rodean la Sierra de Catorce se originaron de

cuencas endorreicas que fueron rellenadas con material de origen aluvial originado en las montañas cercanas (Sierra de Catorce o Sierra El Azul). La porción occidental de las llanuras presenta fases físicas petrocálcica (someras y profundas). Los lomeríos encontrados constituyen los restos de viejas montañas erosionadas (González Costilla, 2005). Las cuencas sedimentarias endorreicas que flanquean la Sierra de Catorce presentan una variación altitudinal que va de los 1 400 m.s.n.m., al este de Matehuala a los 2 000 m.s.n.m., en el piedemonte occidental de La Sierra de Catorce. A lo largo de la Sierra se localizan los cerros más altos: Cerro Grande (3 180 m), Cerro El Barco (3 060 m), Cerro Almagre (3 060 m) y el Cerro del Puerto de Aire (3 040 m) (González-Costilla *et al.*, 2007).

El Sitio Sagrado Natural de Wirikuta presenta una dinámica geomorfológica basada en procesos erosivos que ha formado un complejo sistema de laderas y valles intermontanos, con variables formas y pendientes. Es notable la asimetría de las dos vertientes de la Sierra, siendo la oriental ondulada y sinuosa, mientras la occidental es más escarpada y rectilínea (González-Costilla *et al.*, 2007).

2.4.2 Geomorfología

La caracterización de unidades geomorfológicas se basa en los trabajos de González Costilla (2005), en el análisis de las cartas topográficas F14A23, F14A24, F14A33, F14A34; y en trabajo de campo.

González Costilla (2005) señaló que las geoformas pueden clasificarse de acuerdo con los procesos que las han originado, con su asociación con el tipo de roca y con su distribución territorial. De esta forma, en *Wirikuta* encontramos unidades llamadas planicies originadas fundamentalmente por procesos acumulativos y denudativos resultado de la erosión, arrastre y deposición de materiales, fenómenos producidos por influencia de los arroyos intermitentes y permanentes y en menor escala por gravedad en las zonas de pendiente pronunciada. Las geoformas localizadas han sido divididas en dos grandes apartados:

Las que se localizan en las partes bajas de las subcuencas Catorce e Interior de Matehuala, denominadas Llanura de San Cristóbal en la vertiente occidental de la Sierra de Catorce y Llanura de Matehuala en la vertiente oriental de la misma Sierra.

Las que se localizan en la Sierra de Catorce.

Las unidades reconocidas en las planicies son las siguientes:

- a. Lomeríos con bajada, superficies con pendientes suaves constituidas por materiales detríticos (materiales que resultan de la acción de la meteorización, de la alteración o del arrastre de una

roca “in situ”²⁷), que se extienden sobre la base de una cadena montañosa hacia las planicies o cuencas intermontanas, Se originan por la unión de de los abanicos (abanico de explayamiento o cono de deyección). Se localiza este tipo de unidad en el piedemonte en la vertiente oriental de la Sierra de Catorce. (González Costilla, 2005: 24)

- b. Abanicos aluviales, unidades conformadas a partir de acarreo fluviales de materiales originados en la Sierra, que constituyen estructuras de acumulación forzada, presentes en los piedemontes o a veces en la confluencia de dos ríos; cuando se asocian a cauces, tiene un solo eje principal de drenaje, con abanicos estrechos y pendientes de 5% o más los denominamos conos de deyección; cuando se asocian a escurrimientos con topografía menos inclinada, pendientes de 0 a 4% y abanicos amplios se denominan abanicos de explayamiento (El explayamiento es una forma de escurrimiento superficial caracterizado por el derrame de agua sin cauces definidos o en forma de lámina). En la reserva se extienden desde el piedemonte denominado medio, que se

27 Una formación detrítica es una formación constituida por detritos.

encuentra situado entre 1 900 y 2 300m; y el piedemonte bajo situado entre 1 810 y 1 920m.

- c. Lomeríos mayores y menores, prominencias de terreno restos de viejas montañas muy erosionadas, se distribuyen en la planicie occidental, constituidos los lomeríos menores (50 m o menos) por conglomerado (material formado por rocas sedimentarias unidas por una matriz cementante); y los lomeríos mayores (50 m o más) por rocas calizas.
- d. Piedemonte bajo, unidades de pendientes suaves o muy suaves que van de los 1 400 a los 1 900 m, conformadas por material aluvial sedimentario, originadas a partir de procesos de acumulación forzada.
- e. Piedemonte medio, unidades de pendientes suaves situadas entre 1 900 y 2 000 m de altitud, con mayor presencia de procesos morfogenéticos de disección, conformadas de material aluvial (González Costilla, 2005: 25).
- f. Piedemonte alto, unidades con pendientes de moderadas a suaves (3° a 12°), ubicadas entre los 2 000 y 2 300 m de altitud y que rodean completamente a la Sierra de Catorce (González Costilla, 2005: 25).

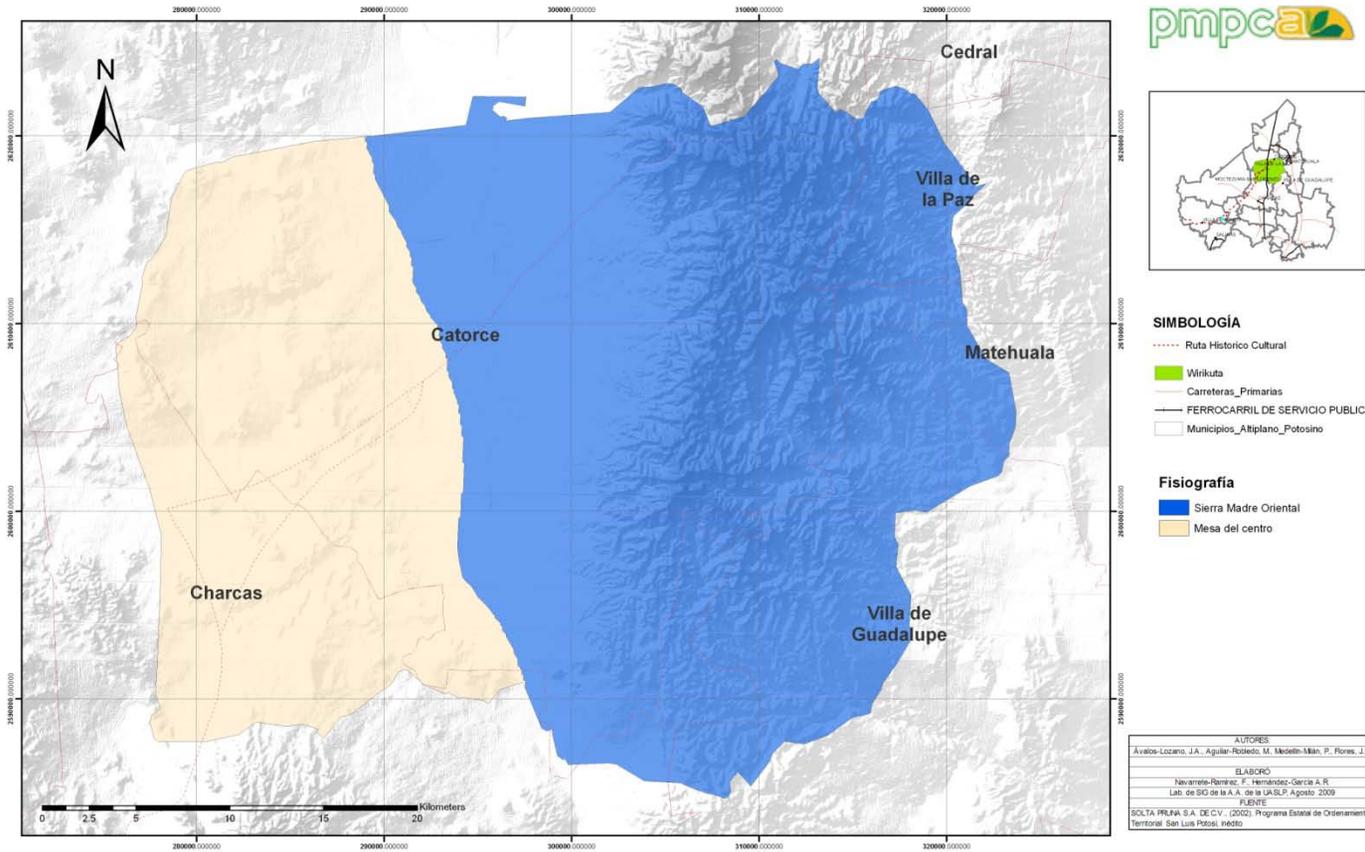
Las unidades reconocidas en la Sierra de Catorce que se encuentran sujetas a marcados procesos de intemperización, meteorización y erosión; y producen los materiales que son acarreados hacia la planicie; son las siguientes según (González Costilla, 2005: 26-27).

- i. Sistema montañoso con laderas convexas de cimas redondeadas de roca caliza y lutitas, estas unidades se distribuyen a altitudes que varían entre los 2 000 y 3 000 m, ubicadas en la parte central de la Sierra y en el extremo este, sus pendientes van de suaves hasta muy fuertes. Su característica más conspicua es la forma redonda de sus cimas moldeada por la intemperización.
- ii. Sistema montañoso con laderas convexas de cima redondeada de roca caliza-arenisca, estas unidades se distribuyen entre los 1 900 y 2 100 m, ubicadas en una franja en la Sierra que va de norte a sur, sus pendientes van de moderadas a fuertes. La característica más conspicua de ellas es la forma redonda de sus cimas moldeada por la intemperización.
- iii. Sistema montañoso con laderas rectas de cimas agudas de roca caliza, estas unidades se distribuyen entre los 2 100 y 2 900 m, ubicadas en una la parte norte y oeste de la Sierra, sus pendientes son muy fuertes. La característica de sus laderas rectas es que hay pocas inflexiones de la pendiente, lo que provoca procesos

erosivos extraordinarios que pueden aumentar en laderas carentes de cobertura vegetal.

- iv. Sistema montañoso con laderas rectas de cimas agudas de roca caliza-lutita-arenisca, estas unidades se distribuyen entre los 2 100 y 2 900 m, ubicadas en la parte occidental, centro y sur de la Sierra, sus pendientes son muy fuertes. La característica de sus laderas rectas es que hay pocas inflexiones de la pendiente, lo que provoca potenciales erosivos extraordinarios que pueden aumentar en laderas carentes de cobertura vegetal.
- v. Valle intermontano, Unidad originada por la acción de los procesos de escurrimiento, con fondo agudo y representaciones angostas.

FISIOGRAFÍA



- SIMBOLOGÍA**
- Ruta Histórico Cultural
 - Winkuta
 - Carreteras Primarias
 - FERROCARRIL DE SERVICIO PÚBLICO
 - Municipios Atiplano Potosino

- Fisiografía**
- Sierra Madre Oriental
 - Mesa del centro

AUTORES	
Ávalos-Lozano, J.A.	Aguiar-Rodrigo, M. Medellín-Már, P. Flores, J.L.
ELABORO	
Navarrete-Ramírez, F.	Hernández-García A. R.
Lab. de SIG de S.A. de S.L. SLP, Agosto 2009	
FUENTE	
SOLTA PRIMA S.A. DE C.V. (2002). Programa Estatal de Ordenamiento Territorial. San Luis Potosí, México.	

2.5 Geología

El territorio de Wirikuta se encuentra comprendido en la Cuenca Mesozoica del Centro de México. De acuerdo con Barboza-Gudiño *et al.* (Barbosa-Gudiño *et al.*, 2004) la Sierra de Catorce consiste en una estructura levantada de tipo “pilar tectónico asimétrico”. Esta Serranía en su margen occidental presenta una zona de falla normal; bien definida, con orientación N–S, de más de 40 km de largo; para lo cual los autores estiman un salto vertical de más de 500 m, con base en el espesor de materiales aluviales cortados por pozos en el Valle de Wadley. Hacia sus extremos norte y sur se observa un fallamiento normal de orientación O–No, mientras, el lado oriental de la Sierra es más difuso con desarrollo de fallas normales menores, de orientación N–S. La gran falla de 40 km en el margen occidental de la Sierra explica la asimetría de las dos vertientes, siendo la oriental ondulada y sinuosa, mientras la occidental es escarpada y rectilínea. Esto también permite explicar, parcialmente, la razón por la cual los procesos erosivos son mucho más fuertes en la vertiente occidental y la vertiente este es mucho más fría y seca.

La estructura interna del bloque se caracteriza por grandes plegamientos de orientación general N-No y ligera vergencia (simetría) hacia el oriente. La porción noroeste de la sierra es la parte más levantada, lo que ha permitido que queden expuestas las unidades más antiguas registradas

(Barbosa-Gudiño *et al.*, 2004). “En esta parte se observan horizontes de deslizamiento y despegue que ponen en contacto unidades superiores de la secuencia sobre unidades inferiores con la total ausencia, por efectos tectónicos, de las correspondientes unidades intermedias (Barbosa-Gudiño *et al.*, 2004: 302).

Existen informes en el área que apuntan a la presencia de posibles rocas paleozoicas (Bacon, 1978; Franco-Rubio, 1999; citados por Barbosa-Gudiño *et al.*, 2004) Pero Barbosa-Gudiño *et al.* (2004) solamente han reconocido una columna estratigráfica comparable con otras expuestas en la Mesa Central; Según estos autores en la estratigrafía de la zona ocupada por la Sierra de Catorce encontramos:

Hacia la base, la unidad más antigua dentro del área y que se corresponde con una secuencia siliciclástica marina del Triásico Superior, comparable con la formación Zacatecas (Martínez-Pérez, 1972, citado por Barbosa-Gudiño *et al.*, 2004). En las cercanías de la Ciudad de Zacatecas Burckhardt y Scalia en 1906 (Barbosa-Gudiño *et al.*, 2004) describieron, en la formación citada, fauna del Triásico Superior; pero en la Sierra de Catorce, no se ha demostrado plenamente su edad por lo que, en este caso, el nombre de “formación Zacatecas” es usado entre comillas. Esta unidad se constituye por lutitas, que ocurren en bancos de varios metros de espesor con laminación interna y alternancia de algunas capas

delgadas de grauvacas finas y limnolitas. En escasas ocasiones las grauvacas y limnolitas ocurren con más frecuencia, presentándose en capas más gruesas, alternado con las lutitas. Las lutitas y limnolitas suelen ser de color pardo a negro en superficie fresca y verde amarillento cuando la superficie se halla intemperizada, en tanto que las grauvacas son de color gris en superficie fresca, mientras cuando se encuentran intemperizadas sus colores son similares a los de las lutitas en el mismo estado. Las grauvacas son rocas sedimentarias constituidas por areniscas mal seleccionadas, con componentes subangulosos y un porcentaje de matriz superior a 35 o 40%, con estratificación gradada (el tamaño de los clastos se disminuye de abajo hacia arriba). Aunque en estas capas no se observa el desarrollo completo de secuencias turbidíticas o de tipo Bouma, las estructuras sedimentarias presentes sí pueden interpretarse como el producto de fenómenos de turbidez. La secuencia siliciclástica de Real de Catorce es correlacionable con las secuencias triásicas expuestas en Charcas y Presa de Santa Gertrudis. Se considera a estas tres localidades como parte de un abanico submarino que fue construido en la parte suroccidental de Norteamérica.

A la unidad siliciclástica se sobrepone una secuencia intermedia de sedimentos clásticos (productos del intemperismo depositados por los agentes de erosión, consistentes en detritus de rocas, minerales y

organismos), constituida por bancos de areniscas o cuarcitas conglomeráticas de color gris claro a blanco cremoso, con alternancia de lutitas de color gris oscuro y rojo violáceo o verde-amarillo en áreas intemperizadas. Esta unidad aflora en el Cañón General sobre el camino que va de la localidad de los Catorce hacia el Socavón de Purísima, al sur del Cerro El Mazo y sobre el camino de Santa Cruz de Carretas a los Catorce. El espesor de la unidad es variable, alcanzando hasta más de 80 m. Este sistema representa un cambio notable en la litología con respecto a la parte superior de la “formación Zacatecas”, Por su posición estratigráfica, la unidad descrita ha sido denominada por Barbosa *et al.* (2004) como “capas Cerro El Mazo”, ellos mismos la sitúan entre el Triásico y el Jurásico Inferior.

Sobre la secuencia siliciclástica comparada por Barbosa *et al.* (2004) con la formación Zacatecas, e interdigitada con la unidad “Cerro El Mazo” encontramos una secuencia de rocas volcánicas de composición andesítico-basáltica con una edad inferida por posición estratigráfica del Jurásico inferior al medio, denominada “Formación Nazas”.

Sobrepuesta de manera discordante a la Formación Nazas encontramos la Formación La Joya, que consiste en una secuencia de sedimentos clásticos de ambiente sedimentario continental (capas rojas de espesor muy variable), del Jurásico Medio a Superior; constituida por

conglomerados polimícticos en la base, sobre los que se acumularon areniscas hasta transformarse en una secuencia de limolitas y lutitas de color rojo y café-rojizo hacia la cima; el ambiente de depósito correspondiente a la unidad es el de rellenos aluviales (desde abanicos hasta planicies aluviales y depósitos lagunares y marinos someros).

Sobre la Formación la Joya se observan depósitos correspondientes a la transgresión marina del Jurásico Superior (invasión del mar hacia el continente), constituidos por las calizas de la Formación Zuloaga, que en la zona consisten en una secuencia de calizas micríticas a microesparíticas, existiendo sólo yeso en algunos horizontes, principalmente al sur de la Sierra, las calizas de la base se encuentran deformadas. La Caliza Zuloaga ha sido ubicada de manera general en el Oxfordiano.

Sobrepuestas a las Calizas de la Formación Zuloaga se observa la poderosa secuencia de capas marinas principalmente carbonatadas del Jurásico Superior y Cretácico, ampliamente distribuidas en La Sierra Madre Oriental en Nuevo León y Tamaulipas (Barbosa-Gudiño *et al.*, 2004: 302).

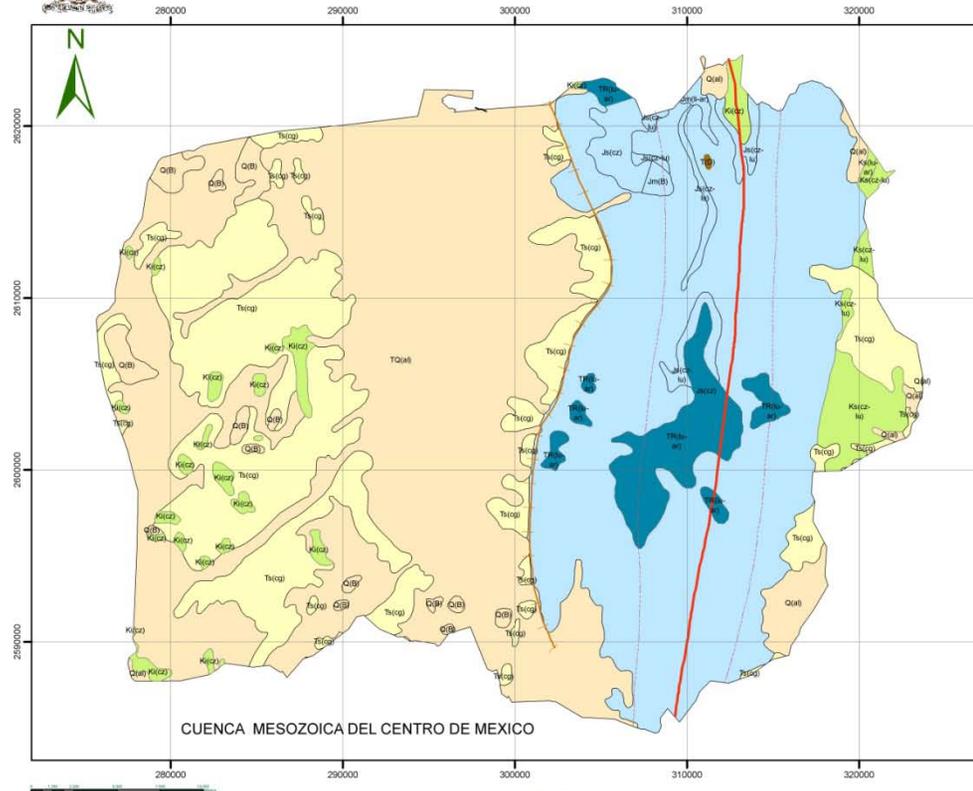
Tras la Orogenia Laramídica, se considera que ocurrió el levantamiento relativo de la Sierra de Catorce en el Eoceno-Oligoceno, y posiblemente

continuó en el Mioceno (comenzó hace 55 millones de años y finalizó hace 23 millones) en una segunda fase (Barbosa, *et al.*, 2004).

En la parte occidental de la Reserva en la zona de la Planicie se observa una unidad constituida por depósitos aluviales (limos, arenas, gravas, conglomerados, etc.) del Terciario superior-Cuaternario. En la zona de lomas menores encontramos conglomerados originados en el plioceno; mientras en las lomas mayores se observan calizas del Cretácico inferior.



Geología en el Polígono General



Julio 2007

SEGAM

ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL

Cuaternario Q			
Cenozoico C	Terciario T	Noceno Ns	Plioceno Tpl
		Mioceno Ms	Mioceno Mo
		Oligoceno To	Eoceno Te
Mesozoico M	Jurásico J	Cretácico superior Ks	Palaeoceno Tpa
			Cretácico inferior Ki
		Jurásico superior Js	Jurásico medio Jm
			Jurásico inferior Ji

ROCAS SEDIMENTARIAS

- Caliza ----- (cz)
- Lutita - Arenisca ----- (lu_ar)
- Caliza - Lutita ----- (cz_lu)
- Conglomerado ----- (cg)
- Limolita roja-Arenisca ----- (li_ar)

ROCAS IGNEAS

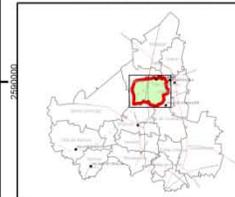
- EXTRUSIVA**
- Basalto ----- (B)
- INTRUSIVA**
- Diorita ----- (D)
- Suelo ----- (al)
- Aluvial ----- (al)

Geología

- Falla normal
- Sinclinal
- Anticlinal

Fuente: INEGI, 2000
Barboza Guadino et al 2004

ALTIPLANO POTOSINO



Agenda Ambiental
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

2.6 Clima

El sitio presenta un régimen macroclimático de tipo tropical y de bioclima xérico (González Costilla *et al.*, 2007: 5), con una estación corta de lluvias en verano (junio-septiembre). En lo referente a las características ómblicas, se puede señalar que la temporada de lluvias coincide con la época más cálida del año. Adicionalmente se aprecia una distribución irregular de la precipitación en el espacio de la Reserva y una variación considerable en la cantidad de precipitación de un año a otro. En el lado oeste de la Sierra se presenta una menor precipitación originada por la sombra orográfica o efecto Föhn. En la región se presentan fundamentalmente climas de tipo seco en los piedemontes de la Sierra, la planicie y las zonas de lomas menores y mayores (González Costilla, 2005)

De acuerdo a la propuesta de clasificación Köppen- García (1948-1981) González Costilla *et al.* (2007: 6) proponen los siguientes grupos para la zona de piedemontes, planicies y lomas:

Climas secos, en los que la evaporación excede a la precipitación, con los siguientes tipos:

BS₁ kw [El menos seco de de los BS, templado, con verano cálido, régimen de lluvias de verano, porcentaje de precipitación invernal entre 5 y 10,2% de la total anual].

BS₁ kw(x') [El menos seco de de los BS templado, con verano cálido, régimen de lluvias intermedio, con porcentaje de precipitación invernal mayor de 10,2%. Localizado en las altitudes más bajas].

BS₀ hx' [El más seco de los BS, semicálido con régimen de lluvias intermedio, invierno fresco y con precipitación invernal mayor del 18%].

BS₀ kw(x') [El más seco de los BS, templado, con verano cálido, régimen de lluvias intermedio, con precipitación invernal mayor de 10.2%, con amplias extensiones en las planicies].

BWkw Muy seco, templado, con verano cálido, con régimen de lluvias en verano, y precipitación invernal entre 5 y 10.2%.

Climas templados: En las zonas medias y altas de la Sierra se ha determinado la presencia de climas templados subhúmedos, con invierno seco, temperaturas promedio anuales entre 12 y 18° C, temperatura del mes más frío entre -3 y 18° C. Este tipo de climas se asocian con bosques de diferentes tallas mayores (González-Costilla, 2005). Se presentan los siguientes subtipos:

Templado subhúmedo $C(w_0(x'))$ con lluvias en verano y precipitación invernal superior al 10.2%, distribuido en la parte alta de la Sierra.

Semifrío subhúmedo $C(E) (w_1)$ con lluvias en verano y precipitación invernal menor al 5% se observa en las cumbres de los Cerros: Puerto de Aire, El Barco, Grande y El Almagre (González *et al* 2007: 5).

Localización y caracterización climática de algunas estaciones meteorológicas situadas en el sitio o sus alrededores. Tomada de González *et al.* (2007: 7)

Estación	Coordenadas	Altitud (m)	Años	Precipitación (mm)	Temperatura media anual (°C)	Tipo
Catorce FF CC	23°41' 100°53'	1820	10	269,8	18,3	Bs ₀ kw (x')
Cedral	23°49' 100°44'	1730	20	343,9	17,5	Bs ₀ kx'
Coyotillos	23°17' 101°12'	2200	15	401,9	14,6	Bs ₀ kw
Charcas	23°08' 101°07'	2057	26	356,2	17,2	Bs ₀ kw
Guaname	22°52' 101°15'	1940	10	462,9	16,9	Bs ₁ kw
La Maroma	23°28' 100°59'	1940	14	325,8	17,7	Bs ₀ kw (x')
La Presa	23°29' 100°49'	1600	15	487,1	18,6	Bs ₀ hw (x')
La Reforma	21°45' 101°38'	2060	12	330,7	16,2	Bs ₁ kw
Vanegas	23°53' 100°57'	1730	14	302,3	16,4	Bs ₁ hx'
La Victoria	23°37' 101°23'	2140	9	295,0	15,6	Bs ₀ kw (x')

En lo referente a la temperatura las variaciones anuales no son importantes. Los meses más cálidos son los de mayo y junio, con valores

promedio de alrededor de 22° C en las zonas más bajas de la planicie como Tanque de Dolores y Presa Santa Gertrudis, mientras en las partes más altas de la Sierra la temperatura promedio alcanza los 12°C. En enero y diciembre se presentan las temperaturas promedio más bajas que corresponden a 12°C en la planicie y 5°C en las cotas más altas de la Sierra.

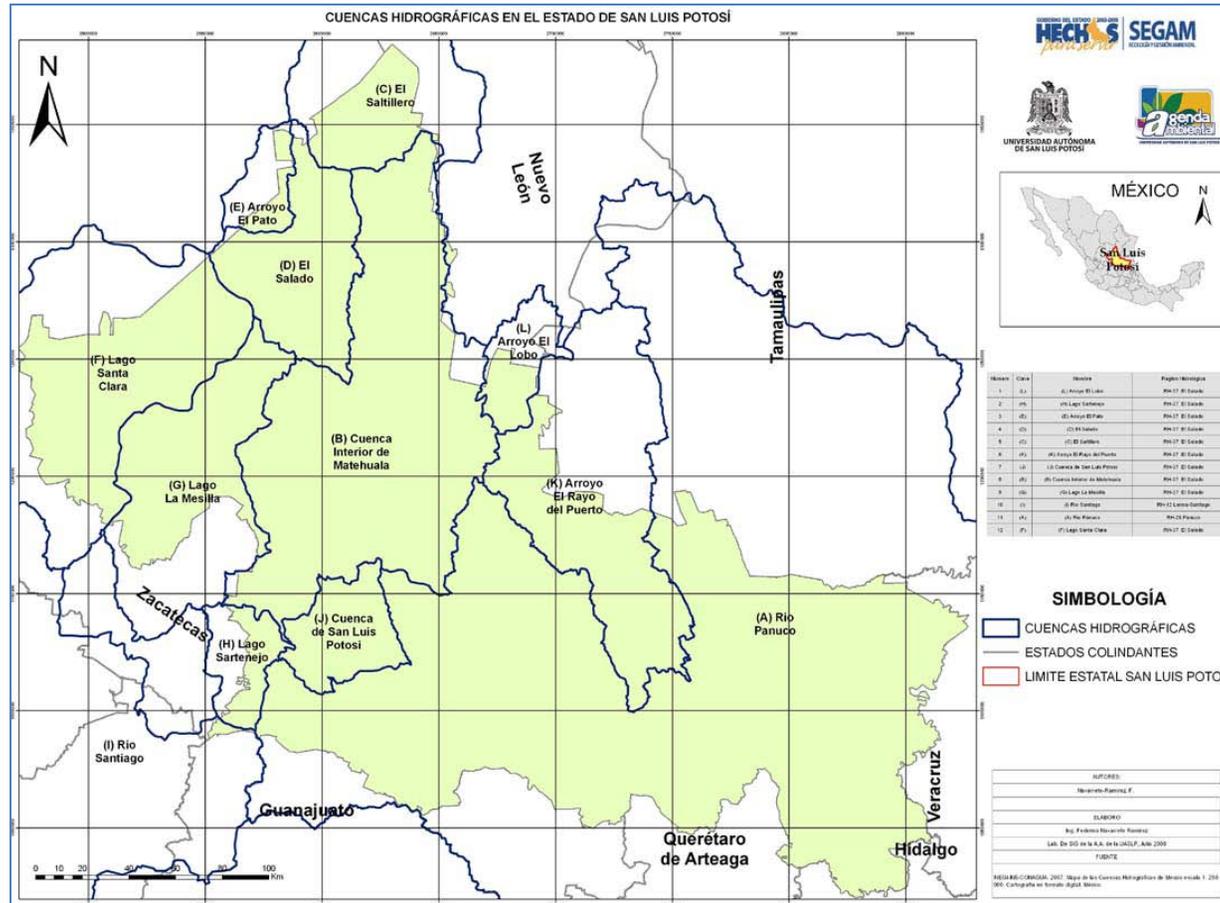
Cómo ya se ha señalado en el sitio el efecto de Sombra Orográfica es muy significativo, las localidades situadas a sotavento (vertientes occidental y noroccidental) reciben la mitad de la lluvia que se precipita en aquellas situadas a barlovento (vertientes suroriental y oriental). Las cotas meridionales y altas de la Sierra reciben entre 600 y 800 mm al año. En general la humedad atmosférica es baja, con promedios anuales del 50%. El rocío es frecuente y las heladas se presentan con escarcha por enfriamiento de la niebla.

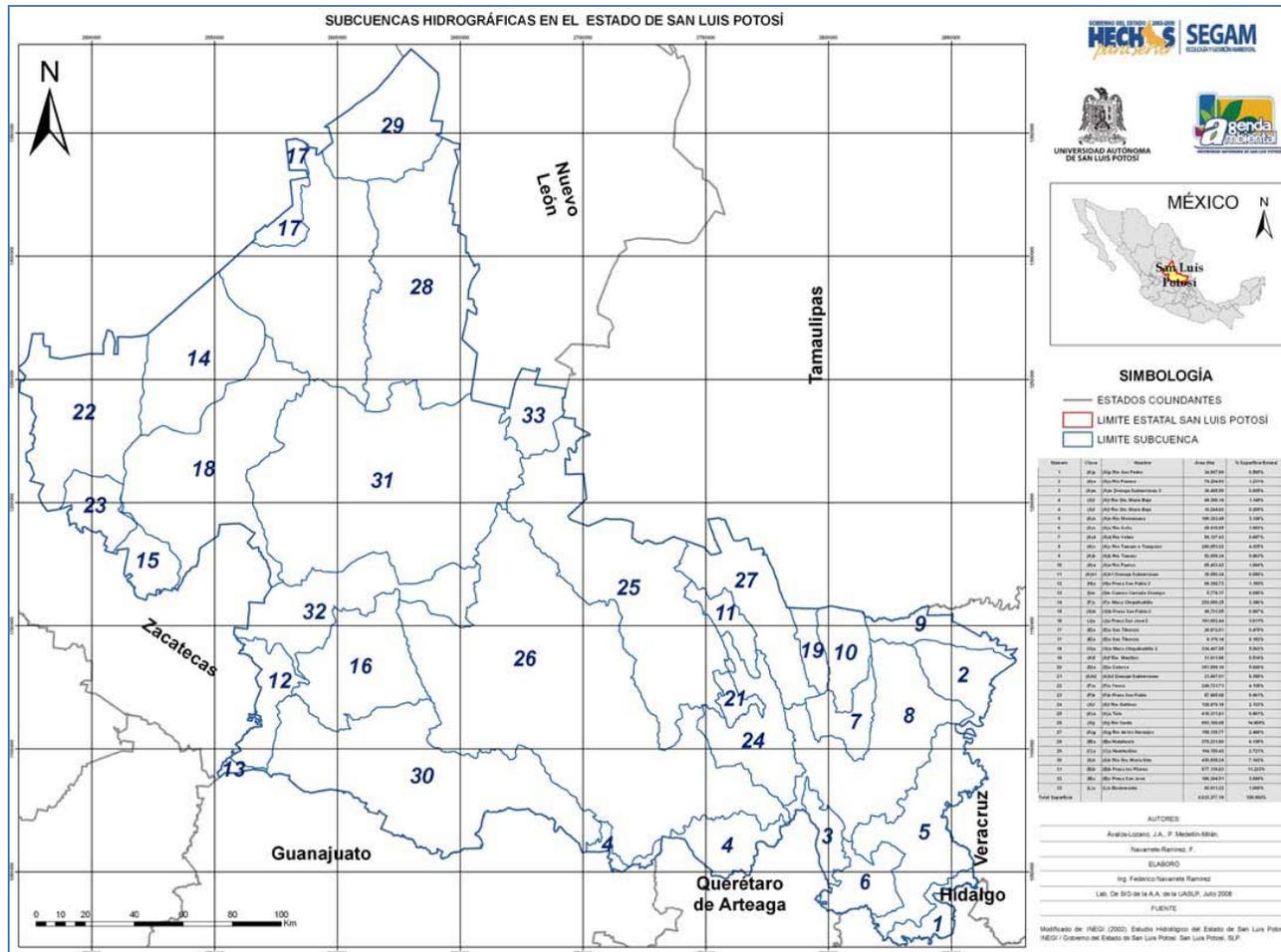
2.7 Hidrología

Los resultados de la presente disertación se muestran cartografiados por **subcuenca**. El área de estudio (*Wirikuta*) se ubica en la Región hidrológica número 37 “El Salado”, que se caracteriza por presentar una serie de cuencas cerradas, con topografía monótona, pocas elevaciones importantes y por carecer de corrientes superficiales importantes. Específicamente se localiza en:

La (B) Cuenca Hidrográfica Interior de Matehuala, en la subcuenca (B)a Matehuala, que presenta una superficie de 370 331,90 ha.

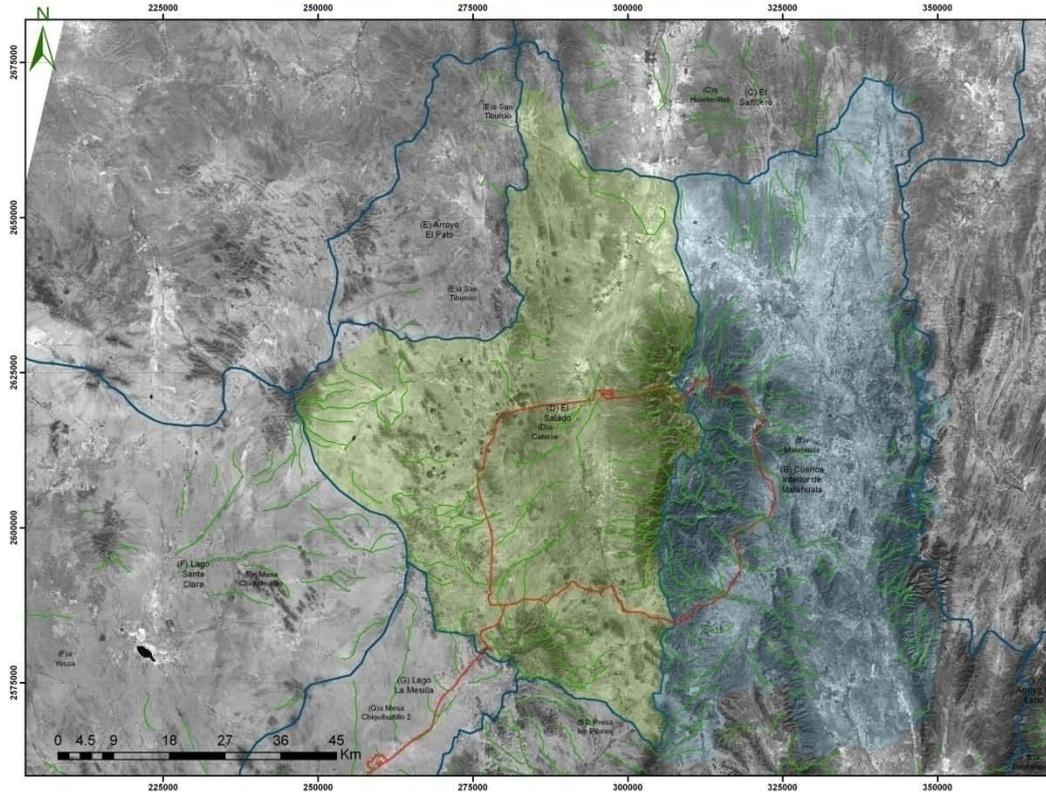
La (D) Cuenca Hidrográfica El Salado, en la subcuenca (D)a Catorce, que presenta una superficie de 351 509,10 ha.







FORMACIÓN DE PAISAJES MINEROS Subcuencas en las que se localiza la zona de estudio



PMPCA

Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

SIMBOLOGIA

- (B)a Matehuala
- (D)a Catorce

MEXICO



SAN LUIS POTOSÍ



José Antonio Avalos Lozano
Federico Nicolas Navarrete
Julio 2008

En las subcuencas hidrográficas de Matehuala y Catorce presenta una temperatura media anual de 16 a 18°C y una precipitación promedio de 400 mm, aunque en la Sierra de Catorce se registra 600 mm y 12°C. Los escurrimientos más importantes son El Salto, El Astillero, San Antonio, todos de tipo intermitente y dos ríos perennes (El Vergel y El Jordán, en la subcuenca de Matehuala).

En ambas cuencas actualmente no existen, en operación, infraestructura hidráulica importante, con excepción de bordos de almacenamiento y pequeños aljibes, la Gerencia Estatal de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) considera que su uso potencial es restringido dado que el rango de escurrimiento es inferior a 10 mm. Sin embargo, en la región, en los siglos XVIII y XIX, operó un sofisticado sistema de captación de agua de lluvia que abasteció a una población de tres a cinco veces superior a la actual, algunos de los restos del sistema se observan en Presa de Santa Gertrudis, Los Catorce y otros sitios. En la actualidad los usos principales dados a las corrientes de agua son: doméstico, como drenaje, como abrevadero, para riego y para abastecimiento de agua potable, una parte considerable del agua potable utilizada por la Ciudad de Matehuala proviene de fuentes localizadas en la vertiente este de la Sierra de Catorce, de donde es conducida por un acueducto. Restos de antiguos acueductos y galerías filtrantes son localizados en las afueras de La

Poblazon, El Estribo, Cañada General (Camino del Real de Catorce a Santa Cruz Carretas). En las afueras de los Catorcitos se encuentra una obra colonial, aún en operación, que desvía el agua del Arroyo General de Catorce a Estación Catorce llamada *Calicante*. En el pueblo de Cedral existe una planta de tratamiento de agua residual que no opera actualmente. La calidad del agua es predominantemente salobre por lo que su aprovechamiento en el riego debería restringirse a cultivos tolerantes.

En las inmediaciones de la Reserva existen tres zonas hidrológicas: Valle Vanegas-Catorce, Valle Cedral-Matehuala y Valle Matehuala-Huizache. Las tres zonas se constituyen fundamentalmente por material aluvial y en su recarga hay una contribución muy importante debida a escurrimientos que se originan en la Sierra de Catorce y en la zona de lomas bajas y altas; otros elementos de contribución son escurrimientos provenientes de otras Sierras; infiltración directa y por retornos de riego (que constituyen una potencial fuente de contaminación por sustancias químicas); así como por flujos subterráneos provenientes de otras cuencas (Síntesis de Información Geográfica del Estado de San Luis Potosí, 2002).

El Valle Vanegas-Catorce se localiza al noroeste y occidente del Polígono General de la Reserva subyacente a la Planicie de Wadley. Se originó a partir de una fosa tectónica escalonada que se rellenó con depósitos

aluviales del Terciario superior-Cuaternario (Barboza-Gudiño, *et al* 2004). El área estratigráficamente incluye diversas unidades calcáreas y arcillosas del Jurásico y Cretácico; conglomerados y rocas de tipo ígneo intrusivas y extrusivas del Terciario; así como material aluvial (limos, arenas, gravas, conglomerados) del Terciario superior y Cuaternario; y depósitos lacustres y de Piamonte del Cuaternario (Barbosa-Gudiño, *et al.*, 2004). El aluvión de relleno presenta un espesor de más de 300 m y buena permeabilidad, es por lo tanto un acuífero de tipo libre. El flujo subterráneo va del sur del Valle (Estación Wadley) hacia el norte y el noreste, con aportaciones de las Sierras de: Catorce, Santa Rosa y La Venada. El sistema presentaba en 1997 una profundidad al nivel estático de 50 m al sur de Estación Wadley, que disminuía a 45 m en Las Margaritas y el norte de Estación Catorce y llegaba a 35 m en Estación Vanegas. La evolución del nivel estático entre 1977 y 1997, muestra una evolución negativa de -20 m en las cercanías de Refugio de Los Amayas, que evolucionó a -10 m al norte de Estación Catorce y en Las Margaritas y presentó una evolución positiva al sur de Estación Wadley de 10 m. En el Valle se tienen registrados 130 aprovechamientos, con niveles estáticos de 60 a 15 m, que extraen según Conagua 16.6 Mm³ mientras la recarga calculada es de 13.6 Mm³; por lo anterior el acuífero se considera sobreexplotado y no se permiten nuevos emplazamientos de explotación

de acuerdo a lo establecido en el decreto de veda publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de octubre de 1964. La calidad del agua subterránea varía de dulce a salada con un contenido de sólidos disueltos de 300 a 4000 ppm. La familia predominante del agua es de tipo cálcica-bicarbonatada y mixta sulfatada y se considera que la calidad del agua para riego varía de salinidad media a muy alta con alto contenido de sodio.

El Valle Cedral-Matehuala se localiza al noreste de la Reserva, en una estructura sinclinal, conformada por un basamento y barreras laterales de rocas arcillo-calcáreas, correspondientes al Cretácico, que contienen depósitos de material aluvial de granulometría heterogénea constituidos por: arcillas, limos, arenas, gravas y cantos rodados. El aluvión de relleno presenta un espesor de 300 a 350 m en el centro de la unidad y buena permeabilidad, por lo que es considerado de tipo libre. El sentido del flujo subterráneo es del noroeste del pueblo de Cedral hacia la Ciudad de Matehuala (dirección sureste). En 1997 la profundidad máxima al nivel estático fue de 50 m en las inmediaciones de Cedral, con una disminución hacia el sureste que llega a 15 m al oriente de la Ciudad de Matehuala (INEGI-Gobierno de Estado de San Luis Potosí 2007). La evolución del nivel estático en el periodo 1972-96 alcanzó -50 m en la Cabecera Municipal de Cedral, este valor decrece en forma concéntrica hasta

alcanzar -10 m al norte de la Ciudad de Matehuala. En el Valle existen, según Conagua, 183 pozos, 9 norias y 11 manantiales, con niveles estáticos de 50 a 15 m. El volumen anual de extracción es de 40 Mm³ mientras la recarga anual alcanza apenas 34 Mm³; por esta razón el acuífero se considera sobreexplotado y no se permiten nuevos emplazamientos de explotación de acuerdo a lo establecido en el decreto de veda publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de octubre de 1964. La calidad del agua subterránea varía de tolerable a salada con concentraciones de sólidos disueltos entre 1000 y 2 800 ppm. Los niveles más bajos de concentración se ubican en San Isidro y en esta zona se localizan la mayoría de los pozos que abastecen a Matehuala, mientras los más altos niveles se observan en la Ciudad de Matehuala. La familia predominante de agua es la del tipo cálcica-sulfatada, y el agua para riego se clasifica de salinidad alta a muy alta, con bajo contenido de sodio y muy incrustante.

El Valle Matehuala-Huizache se ubica al este de la Reserva, se localiza en un sinclinal, conformada por un basamento y barreras laterales de rocas calcáreas, del Cretácico superior, que contienen depósitos de material aluvial y de piamonte de granulometría heterogénea constituidos por: arcillas, limos, arenas, gravas y cantos rodados. El aluvión de relleno presenta un espesor de 350 a 400 m en el centro del Valle y buena

permeabilidad, por lo que es considerado de tipo libre. El sentido del flujo subterráneo es norte-sur de la Ciudad de Matehuala hacia el entronque Huizache en la localidad de Pozas de Santa Ana. La recarga fundamental del sistema proviene del aporte horizontal del Valle Cedral-Matehuala y de las Sierras de: Catorce, La Ruda, El Orégano y Las Narices. En 1997 la profundidad mínima al nivel estático fue de 15 a 20 m en los alrededores de la Ciudad de Matehuala incrementándose hacia el sur hasta 90 m en Los Guajes y disminuyendo de nueva cuenta en dirección sur hasta 45 m en las inmediaciones de Palo Blanco, a partir de este sitio se vuelve a incrementar la profundidad hasta alcanzar 130 m en Pozas de Santa Ana. En el Valle existen, según Conagua, 88 pozos cuyos niveles estáticos varían de 15 a 135 m. El volumen anual de extracción es de 12.5 Mm³, mientras la recarga anual alcanza apenas 10 Mm³; por esta razón el acuífero se considera sobreexplotado y no se permiten nuevos emplazamientos de explotación en la mitad norte del Valle de acuerdo a lo establecido en el decreto de veda publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de octubre de 1964. La calidad del agua subterránea varía de dulce a salada con concentraciones de sólidos disueltos entre 500 y 2 500 ppm. La familia predominante de agua es la del tipo cálcica-bicarbonatada, y el agua para riego en general se clasifica de salinidad de media a alta, con bajo contenido de sodio y muy incrustante.

2.8 Edafología

El presente apartado se ha construido con base en la Carta Edafológica F1401 “Matehuala” escala 1:250 000, 2004; elaborada por INEGI con base en la Leyenda de Clasificación de Suelos FAO/UNESCO 1968, modificado por DETENAL (Dirección de Estudios del Territorio Nacional) en 1970 (INEGI 2006); la verificación realizada en campo por los responsables de la investigación y la valiosa información de González Costilla (2005) y del documento *Soil Taxonomy* del *United States Department of Agriculture* (Anónimo, 1999) En el área se observaron los siguientes tipos de suelo:

Xerosoles, suelos predominantes en las planicies situadas en los flancos este y oeste de la Sierra. Se caracterizan por presentar una capa superficial de material claro (por el bajo contenido de materia orgánica). Al suroeste, occidente y en un franja que va de norte a sur (de Estación Catorce a Estación Wadley), los xerosoles presentan bajo la capa clara superficial una de arcilla o bien una capa de condición similar a la superficial; en el flanco oeste de la Sierra, y al suroeste y noroeste de la Reserva los xerosoles presentan una capa petrocálcica somera (a menos de 50 cm de profundidad); mientras en la parte central de la planicie de Wadley presentan una capa petrocálcica profunda (a más de 50 cm de profundidad). Por lo anterior en esta unidad edafológica podemos

distinguir tres zonas de suelos dependiendo de su susceptibilidad a la erosión, siendo los xerosoles con capa petrocálcica somera los más vulnerables a este fenómeno. De acuerdo a la taxonomía de Suelos utilizada por el *United States Department of Agriculture*, los xerosoles de la reserva se consideran “Aridisoles cálcicos petrocálcicos” o “Aridisoles nátricos (con un horizonte inferior de arcilla)” en general son suelos en los cuales el agua no se encuentra disponible para plantas mesofíticas por largos periodos. Durante la mayor parte del tiempo los suelos mantienen potenciales menores a los del punto de marchitamiento o presentan un contenido de sales que limita el crecimiento de cualquier planta que no sea una halófito, no existe, en el año, un periodo de 90 días consecutivos en los que estos suelos presenten humedad disponible para el crecimiento de una planta mesofítica. Los cálcicos son los Aridisoles que presentan carbonato de calcio originado a partir de sus materiales parentales o por deposición de polvos, o ambas; la precipitación es insuficiente para lixiviar los carbonatos a grandes profundidades, por lo que se constituye un horizonte endurecido de carbonatos; se denominan petrocálcicos cuando el horizonte cálcico se encuentra a menos de 100 cm de profundidad. Los Aridisoles cálcicos petrocálcicos se encuentran saturados con agua un mes o más en una o más capas dentro de los cien primeros centímetros de profundidad.

Regosoles, estos suelos se encuentran en el piedemonte medio en la vertiente noroeste de la Sierra de Catorce, son suelos poco desarrollados y someros, no presentan capas muy diferenciadas, son de color claro debido a que son pobres en materia orgánica, en la Reserva se encuentran asociados a los litosoles y presentan afloramientos de roca. Para *Wirikuta* de acuerdo a la taxonomía de Suelos utilizada por el *United States Department of Agriculture*, los regosoles se consideran “Aridisoles cálcicos petrocálcicos” dado que el horizonte cálcico es somero y las pendientes son mayores que las ocupadas por los xerosoles, la vulnerabilidad a la erosión también aumenta.

Litosoles (Leptosoles líticos), se observa esta unidad edafológica en las siguientes unidades geomorfológicas: Sistema montañoso con laderas convexas de cimas redondeadas de roca caliza y lutitas; Sistema montañoso con laderas convexas de cima redondeada de roca caliza-arenisca; Sistema montañoso con laderas rectas de cimas agudas de roca caliza; Sistema montañoso con laderas rectas de cimas agudas de roca caliza-lutita-arenisca; y zona de lomas altas y bajas. Los litosoles se caracterizan por su profundidad menor de 10 centímetros, limitados por la presencia de de roca o caliche endurecido, en el sitio su susceptibilidad a la erosión es variable de pequeña a muy grande dependiendo de las pendientes y la cobertura vegetal, en general la vertiente oeste de la

Sierra presenta una mayor vulnerabilidad a la erosión, en la Reserva son utilizados para usos pecuarios y de producción de maíz. Para *Wirikuta* de acuerdo a la taxonomía de Suelos utilizada por el *United States Department of Agriculture*, los litosoles de la reserva se consideran Entisoles o Aridisoles son suelos con poca evidencia de desarrollo de horizontes pedogénicos y en general sólo presentan un único horizonte A ócrico se encuentran en pendientes que sufren fuertes procesos erosivos, pueden soportar diferentes tipos de formaciones vegetales y presentan una naturaleza mineral.

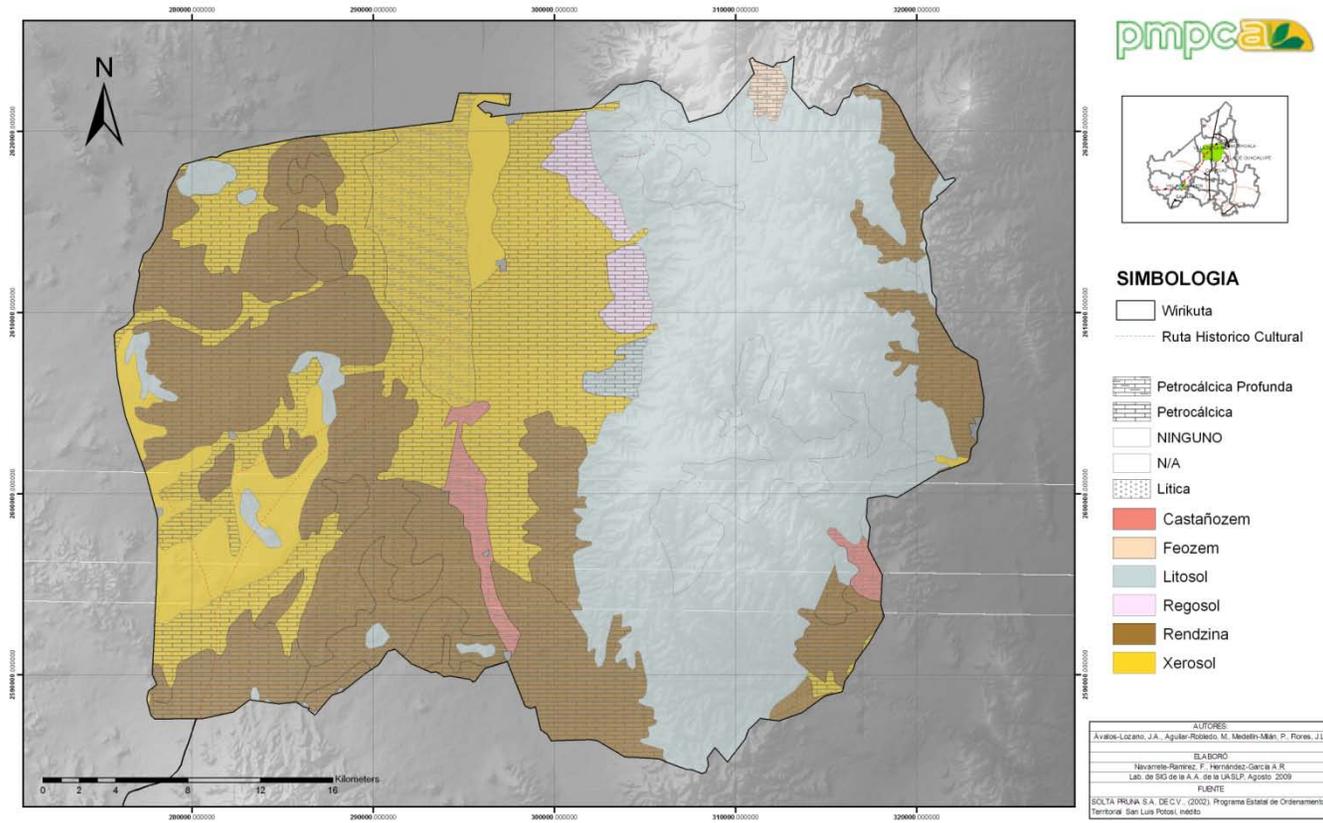
Rendzina, se observa esta unidad edafológica en las siguientes unidades geomorfológicas: Piedemontes medios; Piedemontes altos y Lomerios menores de conglomerado. Las Rendzinas se caracterizan por ser suelos someros, con una capa superficial abundante en materia orgánica y muy fértil que descansa sobre un horizonte petrocálcico somero (para la Reserva); cuando se desmontan son muy vulnerables a la erosión, aunque con cobertura vegetal son sólo moderadamente vulnerables a este fenómeno. Para el Sitio Sagrado Natural de acuerdo a la taxonomía de Suelos utilizada por el *United States Department of Agriculture*, las Rendzinas se consideran Molisoles que son suelos de carácter mineral, con abundante materia orgánica, son suelos muy extendidos que

normalmente descansan cerca de los Aridisoles; la mayoría se desarrollan bajo pastizales y arbustadas con pastizales.

Castañozem, suelos alcalinos con vegetación de pastizal y matorral, son suelos profundos con una capa superior de color pardo, con un horizonte petrocálcico somero, evolucionados y vinculados a pendientes suaves localizados en el piedemonte bajo al suroeste de la Sierra de Catorce. En la Reserva son utilizados para la producción de jitomate.

Fluvisoles, suelo de río, se caracterizan por estar formados de materiales acarreados, para la Reserva son Fluvisoles calcáricos de gran fertilidad se asocian con las unidades geomorfológicas Valles intermontanos.

EDAFOLOGÍA



2.9 Características Biológicas

Las fronteras del Desierto Chihuahuense han sido establecidas por la Conabio y WWF uniendo la Meseta Central con el Desierto Chihuahuense debido a que las dos unidades comparten biotas, la unidad resultante ha sido denominada “Complejo Ecoregional Desierto de Chihuahua” (Anonym, 2000). El Estudio 200 ecoregiones globales (Olson y Dinerstein, 1998) ha identificado al Complejo ecoregional como uno de los tres desiertos con mayor biodiversidad en el mundo y el único que soporta al mismo tiempo destacadas biotas en ambientes terrestres y de agua dulce. *Wirikuta* es la primera reserva estatal ubicada en el complejo Ecoregional, constituye el 0.22% del desierto Chihuahuense y alberga el 70% de las 250 especies de aves y el 60% de las 100 especies de mamíferos de la Ecoregión.

2.9.1 Flora

En lo referente a la elaboración de los catálogos florísticos del Sitio Sagrado Natural *Wirikuta* se ha construido una base de datos, utilizando para este fin: diversas observaciones de campo y los resultados de la información bibliográfica disponible en particular la incluida en los artículos: *Fitogeografía de la Sierra Monte Grande, Charcas, San Luis Potosí*, (Reyes-Agüero y Aguirre-Rivera, 1998); *Flora Vascular de la Sierra Monte Grande, Charcas, San Luis Potosí*, (Reyes-Agüero et al.,

1996); y fundamentalmente, la *Florula Vascular de la Sierra de Catorce y Territorios Adyacentes, San Luis Potosí, México* de González Costilla et al. (2007: 1).

Los resultados preliminares arrojan la siguiente información para el Polígono General de la Reserva, hasta el momento, la lista de plantas vasculares está conformada por 526 especies y cuatro taxa infraespecíficos, agrupados en 293 géneros y 88 familias. Las familias y géneros mejor representados son *Asteraceae*, *Poaceae*, *Cactaceae*, *Fabaceae*, *Fagaceae* y *Lamiaceae*, así como *Quercus*, *Opuntia*, *Muhlenbergia*, *Salvia*, *Agave*, *Bouteloua* y *Dyssodia*".

Familias con mayor número de géneros y especies en la flora y porcentaje de participación. De González *et al.* (2007: 11)

Familia	Número de géneros	Número de especies	% de especies
<i>Asteraceae</i>	42	81	15.3
<i>Poaceae</i>	36	68	12.9
<i>Cactaceae</i>	22	62	11.7
<i>Fabaceae</i>	17	30	5.7
<i>Fagaceae</i>	1	17	3.2
<i>Lamiaceae</i>	6	15	2.8
<i>Rosaceae</i>	9	12	2.2
<i>Agavaceae</i>	2	11	2.1
<i>Verbenaceae</i>	6	10	1.9
<i>Euphorbiaceae</i>	7	10	1.9
Total	148	316	59.7

Géneros que incluyen el mayor número de especies. De González *et al.* (2007: 12).

Género	Número de especies	Género	Número de especies
Quercus	17	Bouteloua	7
Muhlenbergia	12	Coryphantha	7
Opuntia	12	Dyssodia	7
Salvia	10	Eupatorium	6
Agave	9	Stevia	6

Se ha determinado la presencia de 31 diferentes especies incluidas en alguna de las listas de flora amenazada en el siguiente cuadro se detalla la información:

Especies incluidas en alguna categoría de protección.

Acrónimos empleados: NOM-059-ECOL: P: en peligro; A: amenazada; Pr: protección especial; E: probablemente extintas en el medio silvestre. UICN: P: en peligro; V: vulnerable; DD: datos deficientes; BR: bajo riesgo; I: indeterminada (categoría previa a 1994); R: rara (categoría previa a 1994). CITES: I: presente en el anexo I; II: presente en

el anexo II. Hernández y Barcenás, 1995: +: presente en el anexo I. Tabla tomada de De González *et al.* (2007: 13).

Especie	NOM-059-ECOL	IUCN	CITES	Hernández y Barcenás, 1995
<i>Arbutus xalapensis</i>		BR		
<i>Ariocarpus fissuratus</i>	P	V	I, II	+
<i>Ariocarpus retusus</i>	Pr	V	I, II	+
<i>Astrophytum capricorne</i>	A	V	II	+
<i>Astrophytum myriostigma</i>	A	V	II	+
<i>Brahea berlandieri</i>	Pr			
<i>Bouteloua chasei</i>		V		
<i>Cornus disciflora</i>		V		
<i>Coryphantha odorata</i>	Pr	R	II	
<i>Coryphantha poseelgeriana</i>	A	V	II	+
<i>Coryphantha radians</i>		R	II	
<i>Cupressus arizonica</i>		V		
<i>Echinocactus platyacanthus</i>	Pr	V	II	+
<i>Escobaria dasyacantha</i>	Pr	R	II	
<i>Ferocactus hamatacanthus</i>	Pr	R	II	
<i>Ferocactus lastipinus</i>			II	+
<i>Ferocactus pilosus</i>	P	V	II	+
<i>Leuchtenbergia principis</i>	A	R	II	+
<i>Litsea glaucescens</i>	P			
<i>Lophophora williamsii</i>	Pr		II	
<i>Mammilloidya candida</i>	A	I	II	
<i>Muhlenbergia purpusii</i>		R		
<i>Pinus greggii</i>		DD		
<i>Plutonopuntia chaffeyi</i>		R	II	
<i>Quercus depressipes</i>		DD		
<i>Quercus hintoniorum</i>		V		
<i>Sclerocactus uncinatus</i>			II	+
<i>Thelocactus tulensis</i>	A	V	I, II	+
<i>Turbinicarpus lophophoroides</i>	Pr	V	I, II	
<i>Turbinicarpus scmiedickeanus</i>	A	P	I, II	+
<i>Turbinicarpus valdeziianus</i>	Pr		I, II	+

Las formaciones vegetales observadas por González Costilla *et al.* (2007) son aquellas características de medios xerófilos (matorral desértico micrófilo, matorral desértico rosetófilo) y las de ambientes mesofíticos, forestales o preforestales (encinar, pinar, encinar arbustivo y matorral submontano).

2.9.2 Vegetación

La circunscripción del sitio de estudio fue disgregada, en unidades de diversa jerarquía (Cuenca-Subcuenca-Paisaje (serie de formaciones)-formaciones) hasta llegar a unidades elementales relativamente homogéneas denominadas formaciones vegetales, en este caso, utilizamos la definición de González-Medrano (2003): formación significa, tipo de vegetación en sentido lato, definida por la fisonomía, la estructura y la fenología, por ejemplo, matorral alto inerme, dentro de las formaciones pueden diferenciarse otros niveles en los que se utiliza la composición florística.

Para la definición de las formaciones vegetales se trabajó con base en la clasificación utilizada para el sitio por González Costilla *et al.* (2007: 8-9), con base en la clasificación de vegetación propuesta por Rzedowsky (1961), las formaciones descritas son las siguientes:

Encinar (E): Formación dominada por árboles del género *Quercus* acompañados por pino piñonero (*Pinus cembroides*) y encinar arbustivo. Localizadas en las vertientes meridional y oriental de la Sierra, presenta una importante población de *Arbutus xalapensis* Kunth

Pinar (P): Formación en la que la especie dominante es el pino piñonero (*Pinus cembroides* var. *cembroides*). Ocasionalmente se presenta el pino real (*Pinus greggii*); en el sotobosque se aprecian elementos florísticos del encinar, localizadas en la vertiente occidental; parte suroriental y cañadas orientales.

Cedral (C): Formación que corresponde a un matorral escuamifolio presidido por *Juniperus erythrocarpa*, se localizan en la vertiente oeste de la Sierra; en la penillanuras de cumbres. Se han observado, además, enebrales abiertos de *J. sabinooides*, en ocasiones mezclados con pinos.

Encinar arbustivo (EA): Formaciones que presentan fundamentalmente especies de *Quercus*, acompañadas por un cortejo florístico integrado principalmente por: *Arbutus xalapensis* Kunth, *Lindleya meslipoides*, *Arctostaphylos pungens*, *Comarostaphylis polifolia*, *Garrya ovata*, *Garrya laurifolia*, *Ceanothus greggii*, *Rhus virens* y *Eupatorium scorodonioides*. Presentes en zonas medias y altas de la Sierra.

Matorral submontano (MS): Formaciones con diferentes tipos de comunidades arbustivas las especies dominantes son: *Helietta parvifolia*, *Gochnatia hypoleuca*, *Karwinskia mollis*, *Opuntia stenopetala*, *Fraxinus greggii* y *Ferocatus pilosus*. Se distribuyen a media ladera en la vertiente oriental de la Sierra.

Matorral desértico rosetófilo (MDR): Formaciones en las que las especies dominantes son: *Agave lechuguilla*, *Agave striata*, *Dasyllirion acrotriche*, *Hechtia glomerata*, *Yucca carnerosana*, *Buddleja marrubiifolia*, *Salvia ballotaeflora*, *Fraxinus greggii*, *Gochnatia hypoleuca*, *Karwinskia mollis*, entre otras. Se incluyen comunidades edafoxerófilas de *Yucca carnerosana*. Se presentan en lomeríos, piedemontes y exposiciones edafoxerófilas de ladera.

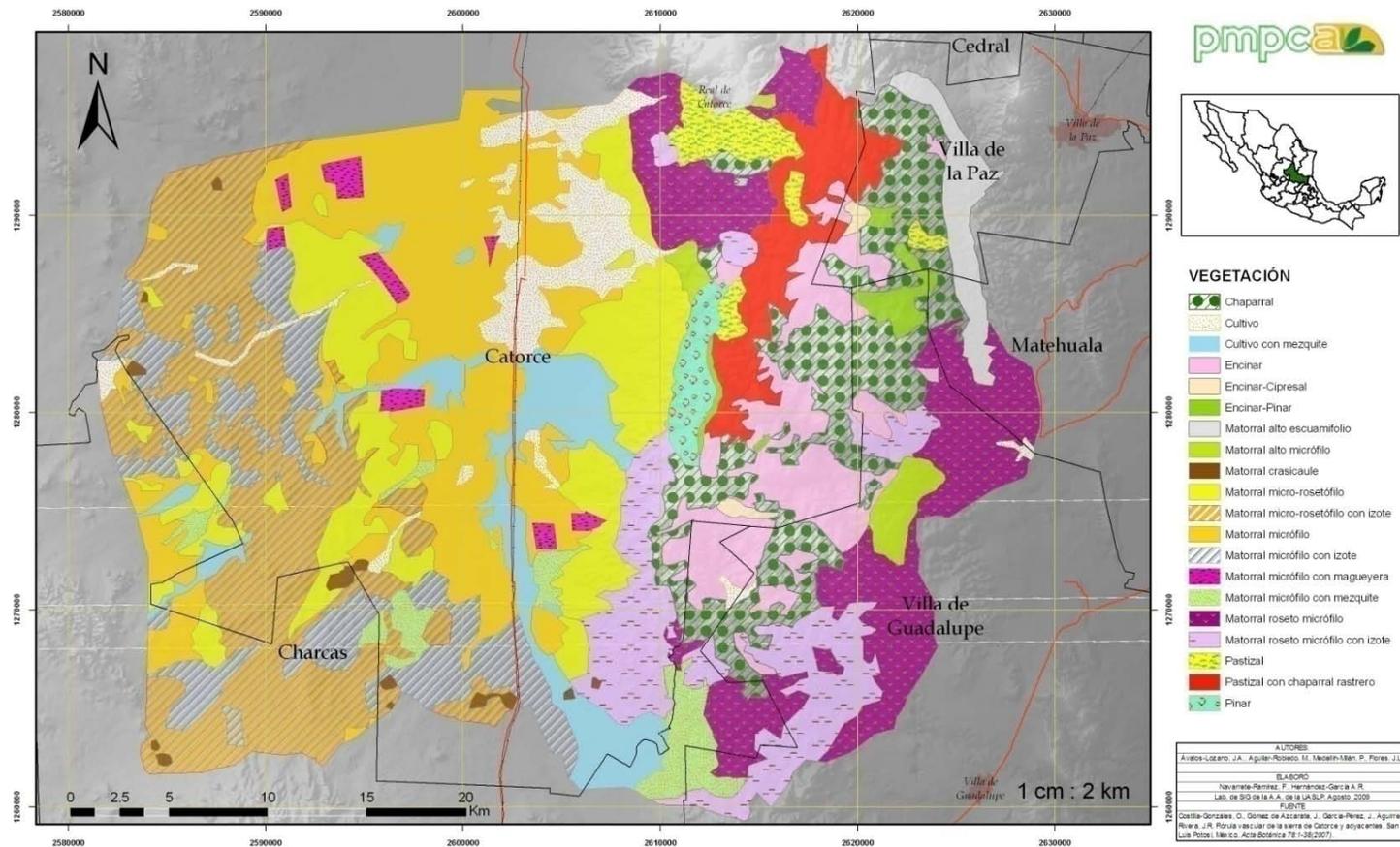
Matorral desértico micrófilo (MDM): Formaciones dominadas por *Larrea tridentata*, *Parthenium incanum*, *Flourensia cernua*, *Zinnia acerosa*, *Opuntia leptocaulis*, *Opuntia imbricata*, *Fouquieria splendens* y *Prosopis laevigata*. En áreas poco deforestadas se encuentran izotes (*Yucca decipiens* y *Y. filifera*) y en zonas de mayor concentración de sal *Larrea tridentata* con *Atriplex sp.*

Matorral crasicaule (MC): Formación dominada principalmente por especies del género *Opuntia sp.* (*O. leucotricha* y *O. streptacantha*), acompañadas por cortejos florísticos integrados en ocasiones por: *Dalea*

tuberculata, *Jatropha dioca*, *Prosopis laevigata*, *Forestiera angustifolia*, *Celtis pallida*, *Mimosa aculeaticarpa* y *Yucca carnerosana*. Se localiza en los afloramientos basálticos distribuidos en la zona suroeste de la Sierra.

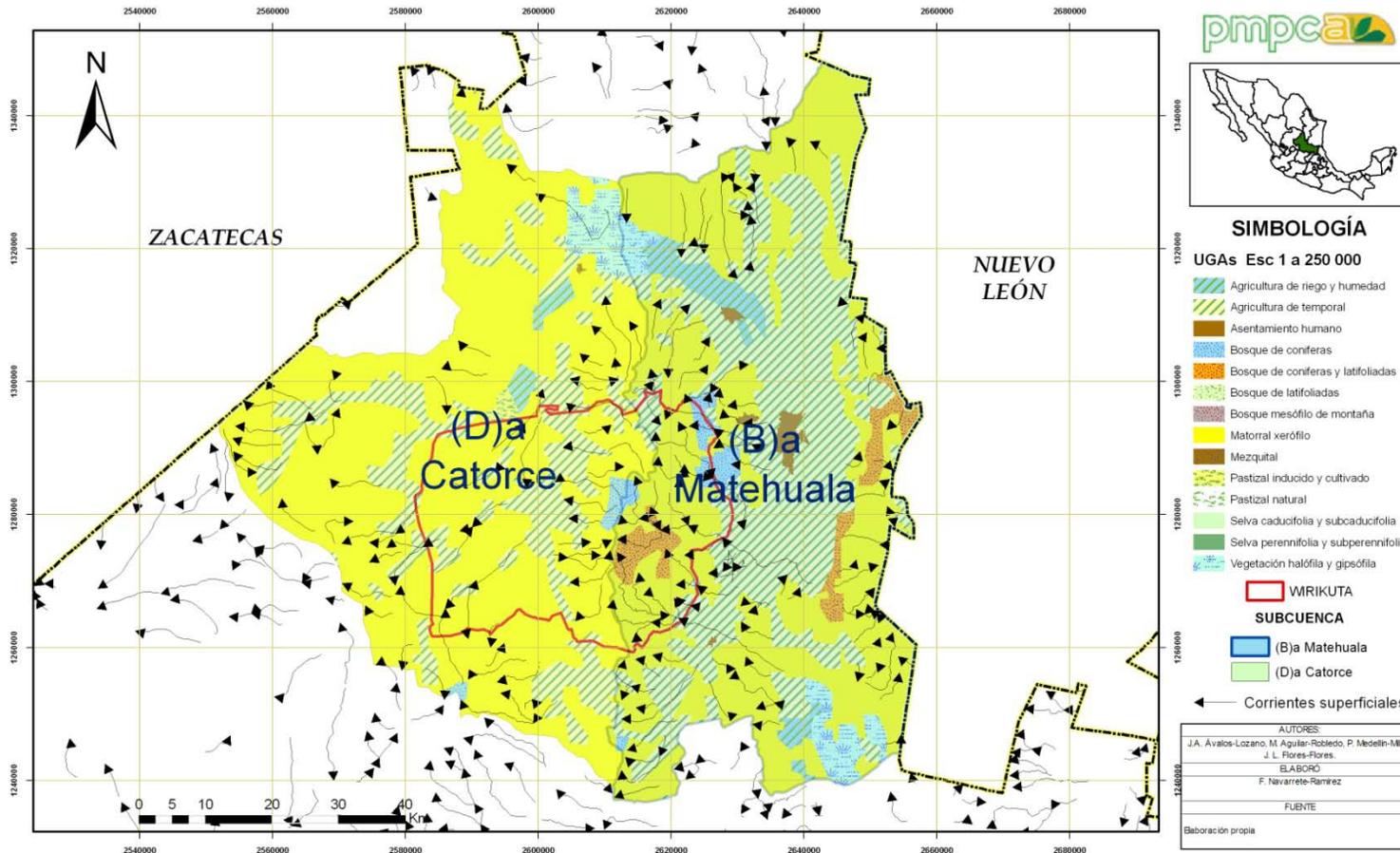
Zacatal (Z): Formación constituida por especies herbáceas, con dominancia fisonómica de gramíneas como: *Lycurus phleoides* y *Muhlenbergia repens* y en ocasiones *Stipa ichu*. Se ubica en las zonas altas de la Sierra. Se incluyen en esta clasificación a las formaciones que se encuentran en sustratos gipsófilos de la planicie noreste del sitio dominados por: *Muhlenbergia pupusii*, *Bouteloua chasei*, *Nama undulatum*, *Dicranocarpus parviflorus* y *Flaveria trinervia*.

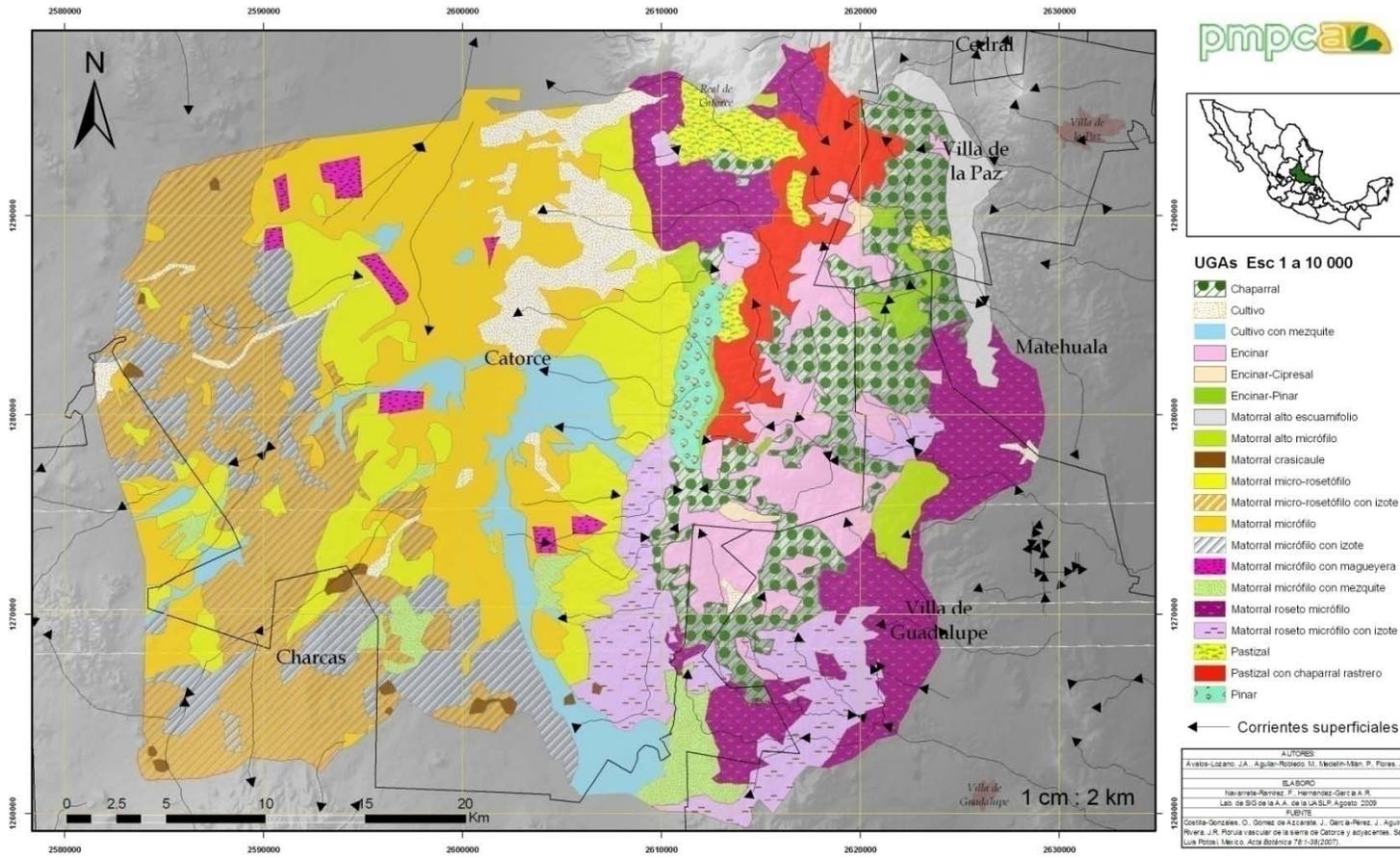
Se han observado otras formaciones correspondientes a diferentes zonas de aprovechamiento agrícola o pecuario, que incluyen especies domesticadas y su flora arvense. Sitios con presencia de flora viaria o ruderal y bosques de galería. A partir de la información contenida en González-Costilla (2005), González-Costilla *et al.*, (2007), y de la elaboración de un mapa de diferentes unidades de vegetación elaborado con base en el análisis de imágenes de satélite (Landsat ETM de 2006), mediante el método de clasificación supervisada, se construyó el mapa de vegetación del sitio. Cada una de las unidades de vegetación se denomina Unidad de Gestión Ambiental (**UGA**) o ecosistema.



2.9.3 Dinámica actual de los paisajes

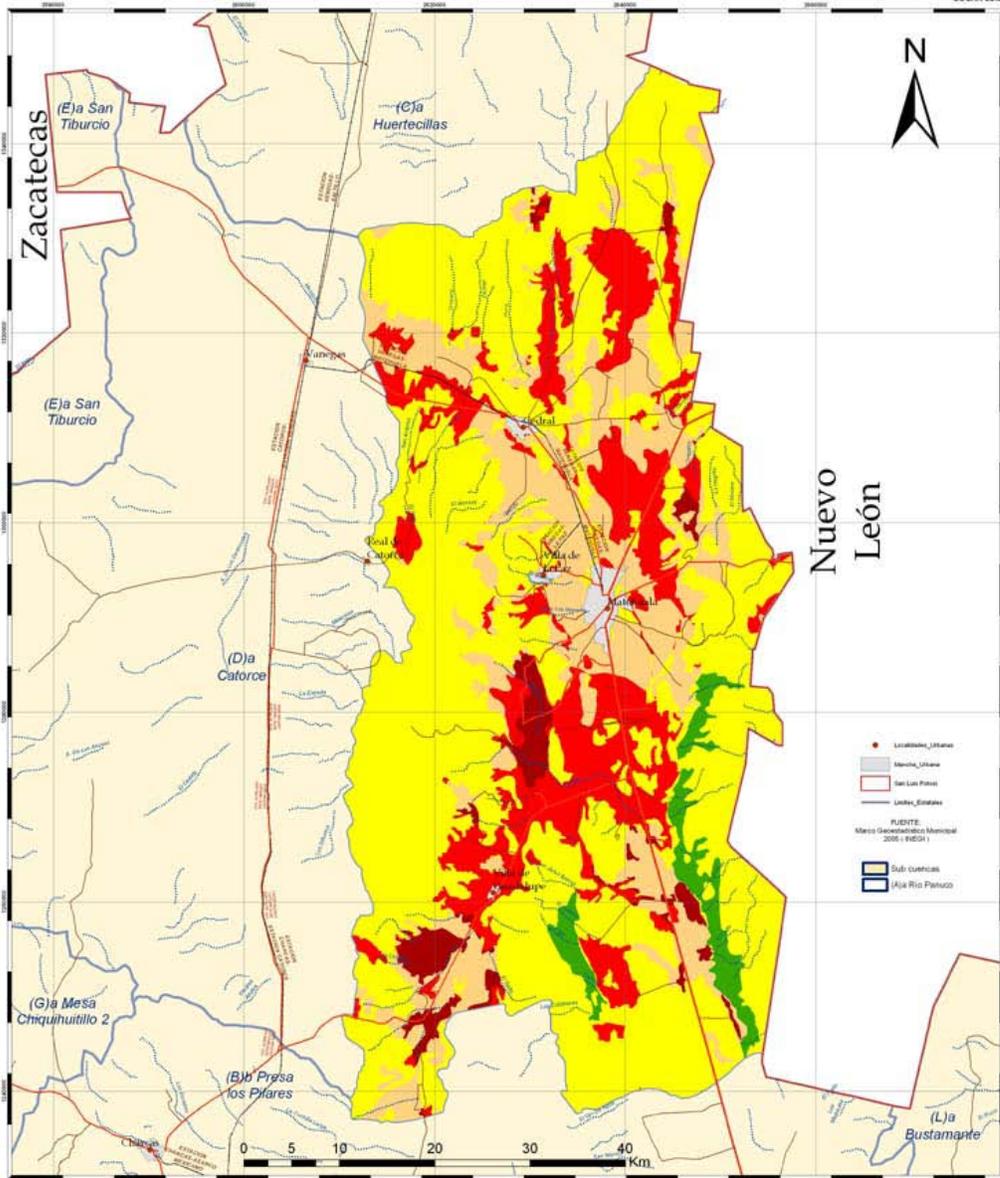
Se realizó un estudio ecológico complementario para analizar la dinámica de los paisajes en las condiciones actuales. El estudio, en primer término, determinó la dinámica hidrológica en cada una de las dos subcuencas del área de estudio; (Bocco *et al.*, 2005), para identificar el sentido del flujo y las interconexiones entre las **UGA**; igualmente se registraron las modificaciones en la dinámica hidrológica que podían registrarse. Posteriormente se elaboraron los mapas de **zonas hidro-funcionales** por subcuenca, delimitando las diferentes zonas.





Sabemos que la dinámica hidrológica depende, en primer término, de la degradación del suelo, de la condición de la cobertura vegetal y de los cambios en los usos de la tierra por esta razón, se estudiaron estos atributos para todas las **UGA** representadas en el sitio de estudio.

La información sobre la degradación de los suelos fue del **Programa Estatal de Ordenamiento Territorial San Luis Potosí**, elaborado en el año de 2002 por la Empresa Solta Pruna S.A. de C.V. Para cada zona **hidro-funcional**, se cartografiaron las áreas de suelo erosionado, utilizando diferentes clases, definidas con base en la magnitud del fenómeno.



SIMBOLOGÍA

Corrientes superficiales

- CANAL
- CORRIENTE PERENNE
- CORRIENTE QUE DESAPARECE

Vías Comunicación

- AUTOPISTA
- CAMINO RURAL MEJORADO
- CARRETERA ESTATAL
- FERROCARRIL

FUENTE: COLECCIÓN DE CARTAS VECTORIALES DE LA CARTA 1:250,000 INEGI (2001).

EROSIÓN EÓLICA

- MUY ALTA
- ALTA
- MODERADA
- LIGERA
- SIN INFLUENCIA DE EROSIÓN
- SIN EROSIÓN

AUTORES

Ávalos-Luzano, J.A., Medina-Muñoz, P.

F. Navarrete Ramírez

ELABORO

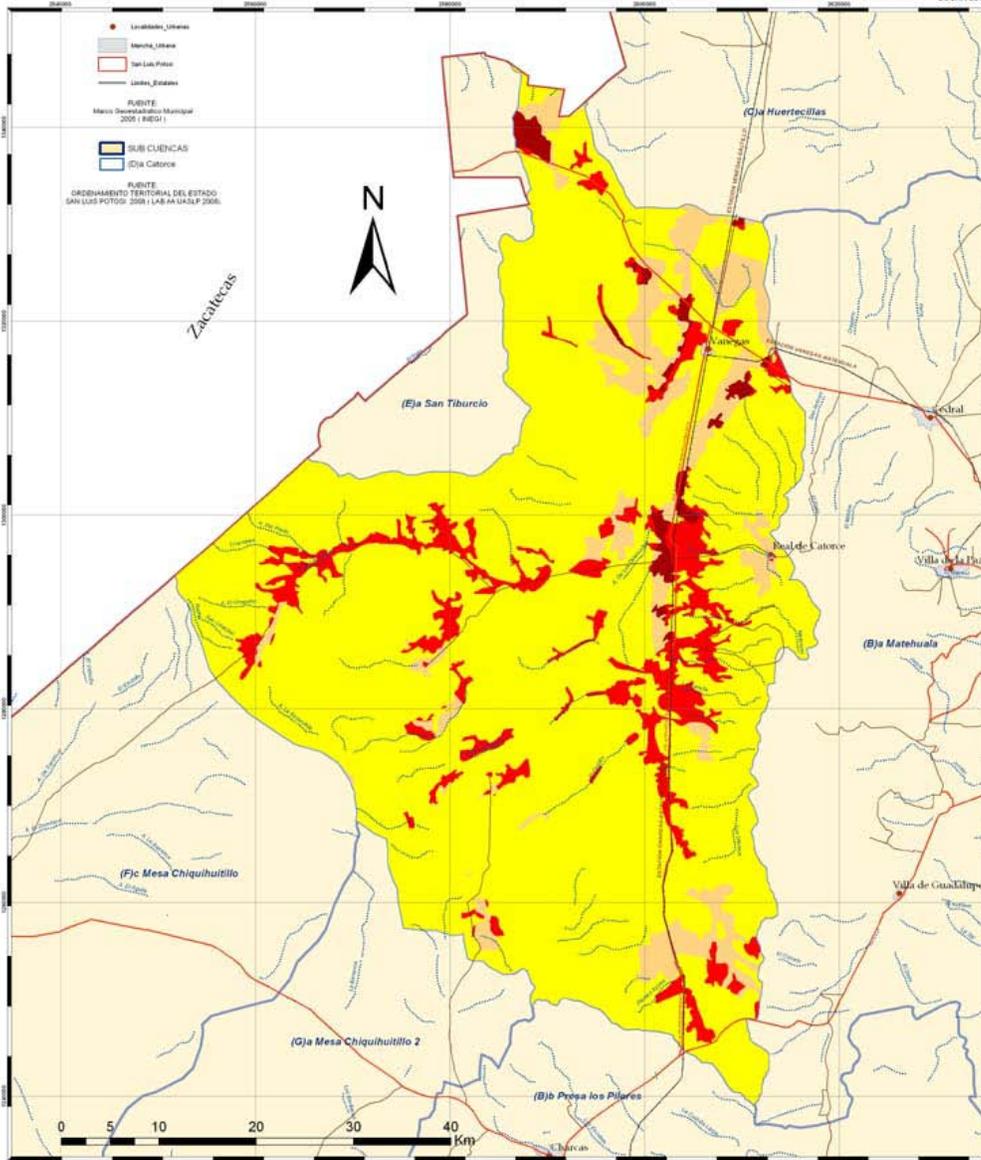
Ing. Federico Navarrete Ramírez

Lic. De 593 de la A.A. de la UASLP, Julio 2005

FUENTE

SOLTA PRIMA, S. A. DE C. V., 2002, Programa Estatal de Ordenamiento Territorial (San Luis Potosí), medio





SIMBOLOGÍA

Corrientes superficiales

- CAÑAL
- CORRIENTE PERENNE
- CORRIENTE QUE DESAPARECE

Vías Comunicación

- AUTOPISTA
- CAMINO RURAL MEJORADO
- CARRERA ESTATAL
- FERROCARRIL

FUENTE: COLECCIÓN DE CARTAS VECTORIALES DE LA CARTA 1:250,000 INEGI (2011)

EROSIÓN EÓLICA

- MUY ALTA
- ALTA
- MODERADA
- LIGERA
- SIN INFLUENCIA DE EROSIÓN
- SIN EROSIÓN

AUTORES:

Ávalos-López, J.A., Medellín-Mián, P.,
 F. Navarrete-Ramírez

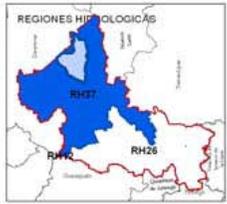
ELABORO:

Ing. Federico Navarrete-Ramírez

Lab. De SIG de la A.A. de la UASLP, Julio 2008

FUENTE:

SOLTA PRIMA S.A. DE C.V., 2002, Programa Estatal de Ordenamiento Territorial, San Luis Potosí, inédito



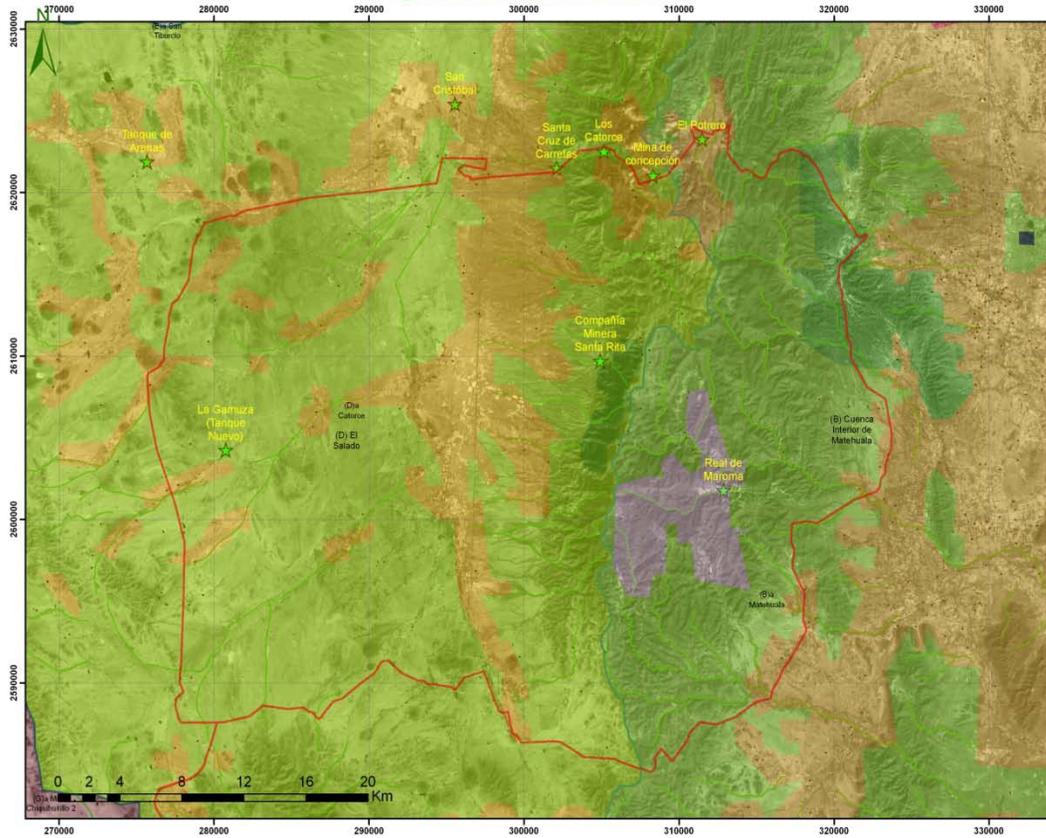
Para estudiar los cambios en la cobertura y el uso de suelos se realizó un análisis en cada **una de las dos cuencas del área de estudio** mediante la sobreposición de las fuentes cartográficas corregidas digitalmente.

Adicionalmente, se realizaron análisis históricos de la dinámica del paisaje aplicando ecuaciones de Chapman-Kolmogorov. Se establecieron las rutas reales de estado-y-transición de **los cambios de cobertura y uso de la tierra** y la magnitud de los fenómenos de erosión identificados, ambos fenómenos fueron relacionados con los factores ecológicos, naturales o antropógenos, que han sido registrados en el sitio. Estos factores actúan en forma concurrente y al efecto impulsor de la dinámica del paisaje, resultante de la acción de las variables, se le denomina **régimen de disturbio**. La influencia de este régimen sobre la dinámica del paisaje es variable, pues constantemente cambia la composición de los factores que lo conforman y la conformación temporal y espacial de las variables.

Se realizó el análisis del régimen de disturbio de acuerdo a lo marcado en la metodología.



FORMACIÓN DE PAISAJES MINEROS Vegetación 1976 INE-IG-UNAM



PMPCA

Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

SIMBOLOGIA

- Agricultura de riego y humedad
- Agricultura de temporal
- Asentamiento humano
- Bosque de coníferas
- Bosque de coníferas y latifoliadas
- Matorral xerófilo
- Vegetación halófila y gipsófila
- Polígono reserva Wirikuta

MEXICO



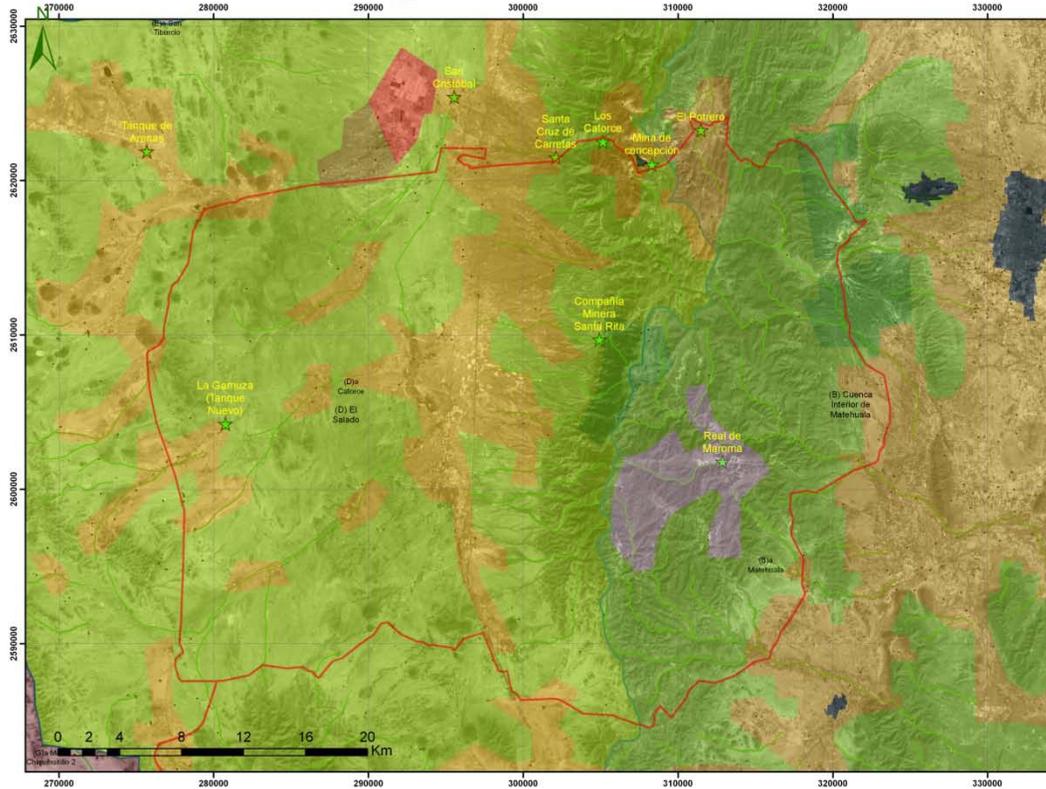
SAN LUIS POTOSÍ



José Antonio Avalos Lozano
Federico Navarrete Ramirez
Julio 2008



FORMACIÓN DE PAISAJES MINEROS
Vegetación 2000 INE-IG-UNAM



PMPCA

Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

SIMBOLOGIA

- Agricultura de riego y humedad
- Agricultura de temporal
- Asentamiento humano
- Bosque de coníferas
- Bosque de coníferas y latifoliadas
- Matorral xerófilo
- Pastizal inducido y cultivado
- Vegetación halófila y gipsófila
- Polígono reserva Wirikuta

MEXICO



SAN LUIS POTOSI

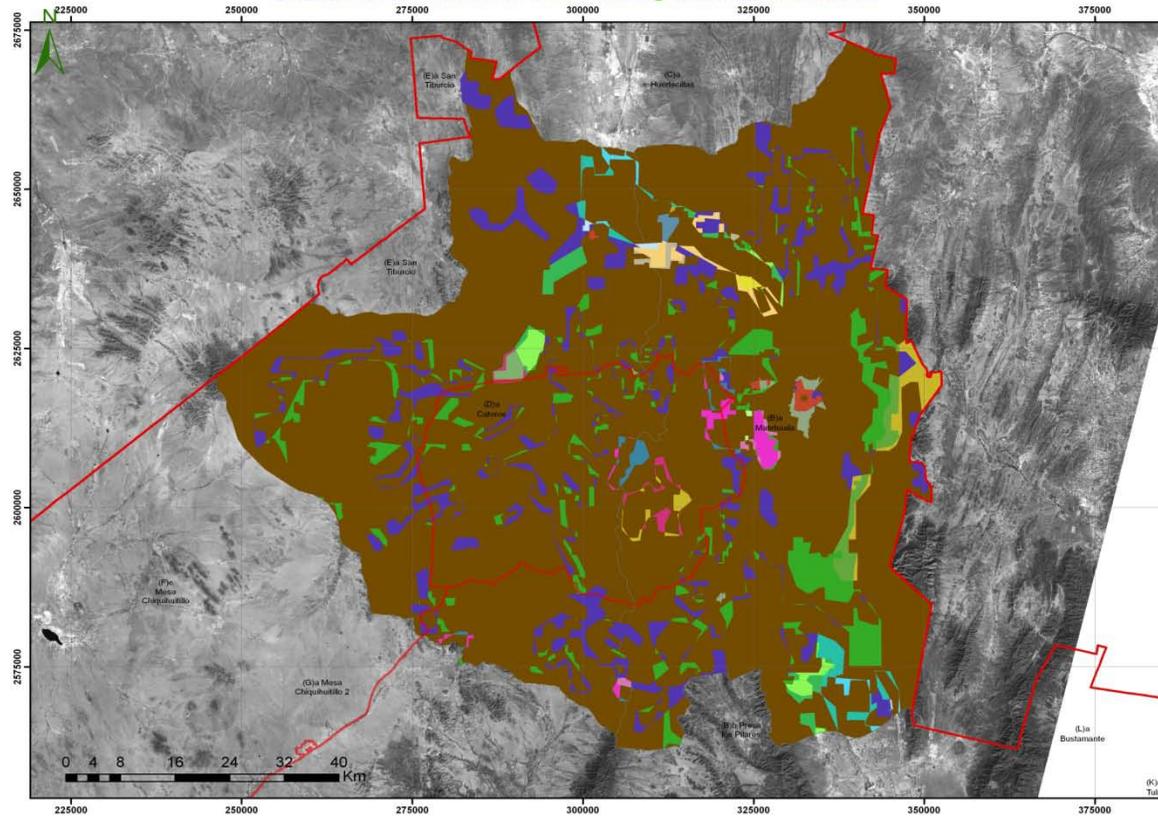


José Antonio Avalos Lozano
Federico Navarrete Ramirez
Julio 2008



FORMACIÓN DE PAISAJES MINEROS

Cambio de uso de suelo 1976-2000 Agenda Ambiental 2008



PMPCA

Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

SIMBOLOGIA

- Áreas con cambio de uso de suelo**
- Agricultura de riego y humedad - Agricultura de temporal
 - Agricultura de riego y humedad - Asentamiento humano
 - Agricultura de riego y humedad - Material vegetal
 - Agricultura de riego y humedad - Vegetación hiedra y gisela
 - Agricultura de temporal - Agricultura de riego y humedad
 - Agricultura de temporal - Asentamiento humano
 - Agricultura de temporal - Bosque de coníferas
 - Agricultura de temporal - Bosque de coníferas y latifolias
 - Agricultura de temporal - Material vegetal
 - Agricultura de temporal - Pastizal inducido y cultivado
 - Agricultura de temporal - Vegetación hiedra y gisela
 - Bosque de coníferas - Agricultura de temporal
 - Bosque de coníferas - Material vegetal
 - Bosque de coníferas y latifolias - Material vegetal
 - Material vegetal - Agricultura de riego y humedad
 - Material vegetal - Agricultura de temporal
 - Material vegetal - Bosque de coníferas
 - Material vegetal - Bosque de coníferas y latifolias
 - Material vegetal - Pastizal inducido y cultivado
 - Material vegetal - Vegetación hiedra y gisela
 - Vegetación hiedra y gisela - Agricultura de temporal
 - Vegetación hiedra y gisela - Material vegetal
 - Área que no cambia

MEXICO



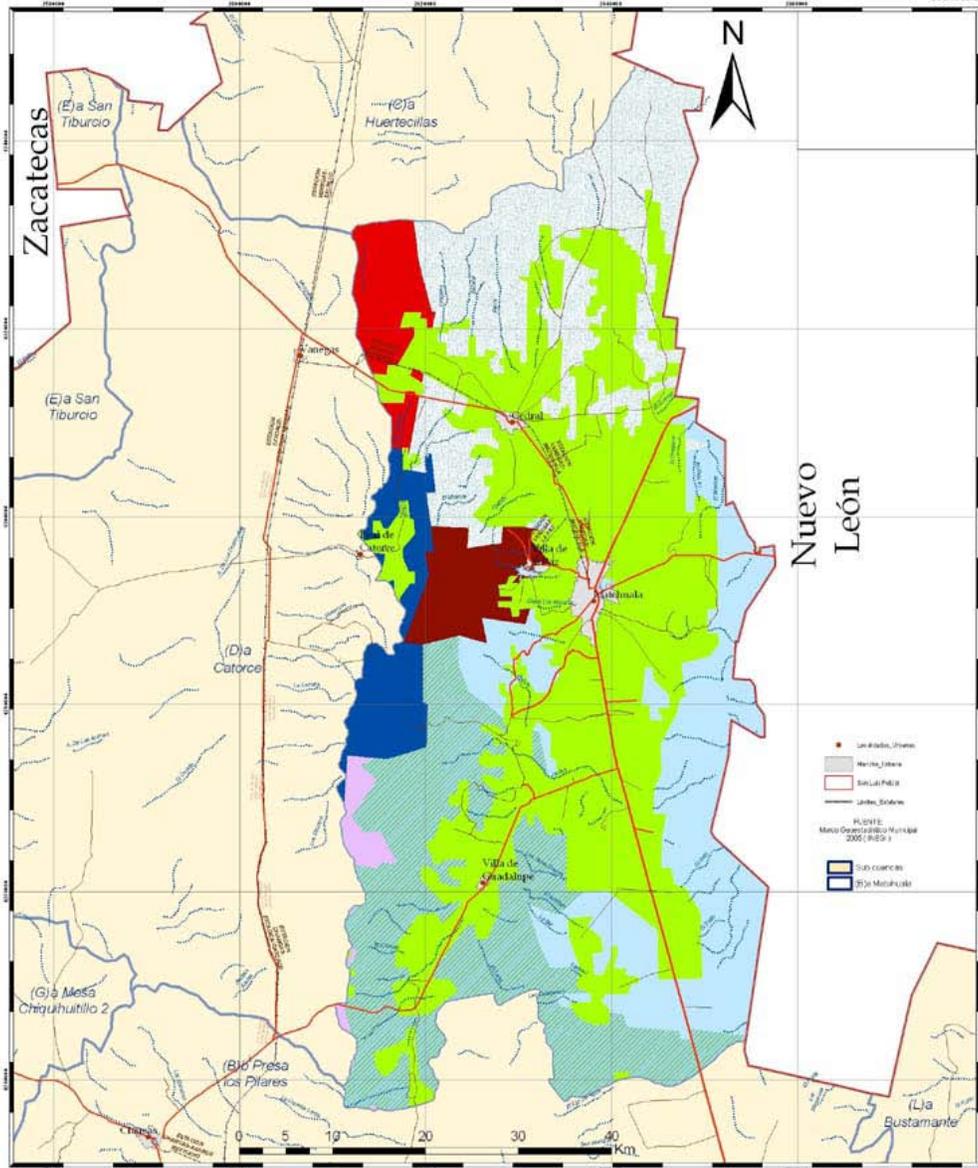
SAN LUIS POTOSÍ



José Antonio Avalos Lozano
Federico Navarrete Ramirez
Julio 2008

Subcuenca B(a) Matehuala		2000														Total (Ha)		
		Agricultura de riego y humedad	Agricultura de temporal	Asentamiento humano	Bosque de coníferas	Bosque de coníferas y latifoliadas	Bosque de latifoliadas	Bosque mesófilo de montaña	Matorral serófilo	Mezquital	Pastizal natural	Pastizal inducido y cultivado	Plantación Forestal	Selva caducifolia y subcaducifolia	Selva perennifolia y subperennifolia		Vegetación halófila y gipsófila	Vegetación Higrófila
1 9 7 6	Agricultura de riego y humedad	7,056.97	2,502.36	530.17				595.71							47.95		10,733.16	
	Agricultura de temporal	1,602.84	106,305.76	1,712.51	107.84	4,435.96		22,725.08							121.61		137,011.61	
	Asentamiento humano			78.89													78.89	
	Bosque de coníferas		790.47		5,122.13			3,150.20									9,062.80	
	Bosque de coníferas y latifoliadas					4,745.89		1,167.91									5,913.80	
	Bosque de latifoliadas																-	
	Bosque mesófilo de montaña																-	
	Matorral serófilo	2,144.66	24,274.47	1,294.35	1,383.85	5,164.34		160,590.62								3,143.57	197,995.86	
	Mezquital																	-
	Pastizal natural																	-
	Pastizal inducido y cultivado																	-
	Plantación Forestal																	-
	Selva caducifolia y subcaducifolia																	-
	Selva perennifolia y subperennifolia																	-
Vegetación halófila y gipsófila	803.57	214.01						601.56							7,916.79		9,535.94	
Vegetación Higrófila																	-	
Total (Ha)	11,608.05	134,087.08	3,615.91	6,613.81	14,346.19	-	-	188,831.08	-	-	-	-	-	-	11,229.92	-	370,332.04	

Subcuenca D(a) Catorce		2000														Total (Ha)		
		Agricultura de riego y humedad	Agricultura de temporal	Asentamiento humano	Bosque de coníferas	Bosque de coníferas y latifoliadas	Bosque de latifoliadas	Bosque mesófilo de montaña	Matorral xerófilo	Mezquital	Pastizal natural	Pastizal inducido y cultivado	Plantación Forestal	Selva caducifolia y subcaducifolia	Selva perennifolia y subperennifolia		Vegetación halófila y gipsófila	Vegetación Hidrófila
1 9 7 6	Agricultura de riego y humedad		222.34					254.67									477.00	
	Agricultura de temporal	1,614.10	40,895.27	36.06				11,316.18			1,173.16						55,034.78	
	Asentamiento humano																-	
	Bosque de coníferas		0.01		1,909.89			386.22									2,296.12	
	Bosque de coníferas y latifoliadas							0.85									0.85	
	Bosque de latifoliadas																-	
	Bosque mesófilo de montaña																-	
	Matorral xerófilo	2,341.63	31,211.10	120.18	562.64	1.90		248,980.13			491.81					1,113.43	284,822.82	
	Mezquital																	-
	Pastizal natural																	-
	Pastizal inducido y cultivado																	-
	Plantación Forestal																	-
	Selva caducifolia y subcaducifolia																	-
	Selva perennifolia y subperennifolia																	-
Vegetación halófila y gipsófila		235.23					564.10								8,078.18		8,877.51	
Vegetación Hidrófila																	-	
Total (Ha)	3,955.74	72,563.95	156.25	2,472.53	1.90	-	-	261,502.15	-	-	1,664.97	-	-	-	3,191.61	-	351,509.09	



SIMBOLOGIA

Corrientes superficiales

- CANAL
- CORRIENTE PERMANENTE
- CORRIENTE QUE DESAPARECE

Vías Comunicación

- AUTOPISTA
- CAMINO RURAL MEJORADO
- CARRETERA ESTADAL
- FERROCARRIL

INDICADOR DE SOBREPASTOREO 1974 - 1976

-1.000000	2.000001 - 6.000000	10.000001 - 14.000000
0.000000 - 1.000000	6.000001 - 10.000000	14.000001 - 18.000000
1.000001 - 2.000000	10.000001 - 14.000000	18.000001 - 22.000000
2.000001 - 3.000000	14.000001 - 18.000000	22.000001 - 26.000000
3.000001 - 4.000000	18.000001 - 22.000000	26.000001 - 30.000000
4.000001 - 5.000000	22.000001 - 26.000000	30.000001 - 34.000000
5.000001 - 6.000000	26.000001 - 30.000000	34.000001 - 38.000000
6.000001 - 7.000000	30.000001 - 34.000000	38.000001 - 42.000000
7.000001 - 8.000000	34.000001 - 38.000000	42.000001 - 46.000000
8.000001 - 9.000000	38.000001 - 42.000000	46.000001 - 50.000000
9.000001 - 10.000000	42.000001 - 46.000000	50.000001 - 54.000000
10.000001 - 11.000000	46.000001 - 50.000000	54.000001 - 58.000000
11.000001 - 12.000000	50.000001 - 54.000000	58.000001 - 62.000000
12.000001 - 13.000000	54.000001 - 58.000000	62.000001 - 66.000000
13.000001 - 14.000000	58.000001 - 62.000000	66.000001 - 70.000000
14.000001 - 15.000000	62.000001 - 66.000000	70.000001 - 74.000000
15.000001 - 16.000000	66.000001 - 70.000000	74.000001 - 78.000000
16.000001 - 17.000000	70.000001 - 74.000000	78.000001 - 82.000000
17.000001 - 18.000000	74.000001 - 78.000000	82.000001 - 86.000000
18.000001 - 19.000000	78.000001 - 82.000000	86.000001 - 90.000000
19.000001 - 20.000000	82.000001 - 86.000000	90.000001 - 94.000000
20.000001 - 21.000000	86.000001 - 90.000000	94.000001 - 98.000000
21.000001 - 22.000000	90.000001 - 94.000000	98.000001 - 102.000000
22.000001 - 23.000000	94.000001 - 98.000000	102.000001 - 106.000000
23.000001 - 24.000000	98.000001 - 102.000000	106.000001 - 110.000000
24.000001 - 25.000000	102.000001 - 106.000000	110.000001 - 114.000000
25.000001 - 26.000000	106.000001 - 110.000000	114.000001 - 118.000000
26.000001 - 27.000000	110.000001 - 114.000000	118.000001 - 122.000000
27.000001 - 28.000000	114.000001 - 118.000000	122.000001 - 126.000000
28.000001 - 29.000000	118.000001 - 122.000000	126.000001 - 130.000000
29.000001 - 30.000000	122.000001 - 126.000000	130.000001 - 134.000000
30.000001 - 31.000000	126.000001 - 130.000000	134.000001 - 138.000000
31.000001 - 32.000000	130.000001 - 134.000000	138.000001 - 142.000000
32.000001 - 33.000000	134.000001 - 138.000000	142.000001 - 146.000000
33.000001 - 34.000000	138.000001 - 142.000000	146.000001 - 150.000000
34.000001 - 35.000000	142.000001 - 146.000000	150.000001 - 154.000000
35.000001 - 36.000000	146.000001 - 150.000000	154.000001 - 158.000000
36.000001 - 37.000000	150.000001 - 154.000000	158.000001 - 162.000000
37.000001 - 38.000000	154.000001 - 158.000000	162.000001 - 166.000000
38.000001 - 39.000000	158.000001 - 162.000000	166.000001 - 170.000000
39.000001 - 40.000000	162.000001 - 166.000000	170.000001 - 174.000000
40.000001 - 41.000000	166.000001 - 170.000000	174.000001 - 178.000000
41.000001 - 42.000000	170.000001 - 174.000000	178.000001 - 182.000000
42.000001 - 43.000000	174.000001 - 178.000000	182.000001 - 186.000000
43.000001 - 44.000000	178.000001 - 182.000000	186.000001 - 190.000000
44.000001 - 45.000000	182.000001 - 186.000000	190.000001 - 194.000000
45.000001 - 46.000000	186.000001 - 190.000000	194.000001 - 198.000000
46.000001 - 47.000000	190.000001 - 194.000000	198.000001 - 202.000000
47.000001 - 48.000000	194.000001 - 198.000000	202.000001 - 206.000000
48.000001 - 49.000000	198.000001 - 202.000000	206.000001 - 210.000000
49.000001 - 50.000000	202.000001 - 206.000000	210.000001 - 214.000000
50.000001 - 51.000000	206.000001 - 210.000000	214.000001 - 218.000000
51.000001 - 52.000000	210.000001 - 214.000000	218.000001 - 222.000000
52.000001 - 53.000000	214.000001 - 218.000000	222.000001 - 226.000000
53.000001 - 54.000000	218.000001 - 222.000000	226.000001 - 230.000000
54.000001 - 55.000000	222.000001 - 226.000000	230.000001 - 234.000000
55.000001 - 56.000000	226.000001 - 230.000000	234.000001 - 238.000000
56.000001 - 57.000000	230.000001 - 234.000000	238.000001 - 242.000000
57.000001 - 58.000000	234.000001 - 238.000000	242.000001 - 246.000000
58.000001 - 59.000000	238.000001 - 242.000000	246.000001 - 250.000000
59.000001 - 60.000000	242.000001 - 246.000000	250.000001 - 254.000000
60.000001 - 61.000000	246.000001 - 250.000000	254.000001 - 258.000000
61.000001 - 62.000000	250.000001 - 254.000000	258.000001 - 262.000000
62.000001 - 63.000000	254.000001 - 258.000000	262.000001 - 266.000000
63.000001 - 64.000000	258.000001 - 262.000000	266.000001 - 270.000000
64.000001 - 65.000000	262.000001 - 266.000000	270.000001 - 274.000000
65.000001 - 66.000000	266.000001 - 270.000000	274.000001 - 278.000000
66.000001 - 67.000000	270.000001 - 274.000000	278.000001 - 282.000000
67.000001 - 68.000000	274.000001 - 278.000000	282.000001 - 286.000000
68.000001 - 69.000000	278.000001 - 282.000000	286.000001 - 290.000000
69.000001 - 70.000000	282.000001 - 286.000000	290.000001 - 294.000000
70.000001 - 71.000000	286.000001 - 290.000000	294.000001 - 298.000000
71.000001 - 72.000000	290.000001 - 294.000000	298.000001 - 302.000000
72.000001 - 73.000000	294.000001 - 298.000000	302.000001 - 306.000000
73.000001 - 74.000000	298.000001 - 302.000000	306.000001 - 310.000000
74.000001 - 75.000000	302.000001 - 306.000000	310.000001 - 314.000000
75.000001 - 76.000000	306.000001 - 310.000000	314.000001 - 318.000000
76.000001 - 77.000000	310.000001 - 314.000000	318.000001 - 322.000000
77.000001 - 78.000000	314.000001 - 318.000000	322.000001 - 326.000000
78.000001 - 79.000000	318.000001 - 322.000000	326.000001 - 330.000000
79.000001 - 80.000000	322.000001 - 326.000000	330.000001 - 334.000000
80.000001 - 81.000000	326.000001 - 330.000000	334.000001 - 338.000000
81.000001 - 82.000000	330.000001 - 334.000000	338.000001 - 342.000000
82.000001 - 83.000000	334.000001 - 338.000000	342.000001 - 346.000000
83.000001 - 84.000000	338.000001 - 342.000000	346.000001 - 350.000000
84.000001 - 85.000000	342.000001 - 346.000000	350.000001 - 354.000000
85.000001 - 86.000000	346.000001 - 350.000000	354.000001 - 358.000000
86.000001 - 87.000000	350.000001 - 354.000000	358.000001 - 362.000000
87.000001 - 88.000000	354.000001 - 358.000000	362.000001 - 366.000000
88.000001 - 89.000000	358.000001 - 362.000000	366.000001 - 370.000000
89.000001 - 90.000000	362.000001 - 366.000000	370.000001 - 374.000000
90.000001 - 91.000000	366.000001 - 370.000000	374.000001 - 378.000000
91.000001 - 92.000000	370.000001 - 374.000000	378.000001 - 382.000000
92.000001 - 93.000000	374.000001 - 378.000000	382.000001 - 386.000000
93.000001 - 94.000000	378.000001 - 382.000000	386.000001 - 390.000000
94.000001 - 95.000000	382.000001 - 386.000000	390.000001 - 394.000000
95.000001 - 96.000000	386.000001 - 390.000000	394.000001 - 398.000000
96.000001 - 97.000000	390.000001 - 394.000000	398.000001 - 402.000000
97.000001 - 98.000000	394.000001 - 398.000000	402.000001 - 406.000000
98.000001 - 99.000000	398.000001 - 402.000000	406.000001 - 410.000000
99.000001 - 100.000000	402.000001 - 406.000000	410.000001 - 414.000000

REGIONES HIDROLOGICAS

ACTORES

Andrés Lugo, J.A., J. Flores-Cano, P. Muñoz-Mun, F. Ramírez Ramírez

FINANCIADO

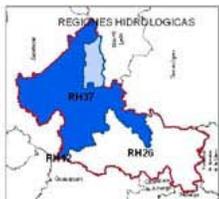
Inv. Federico Navarro Ramírez

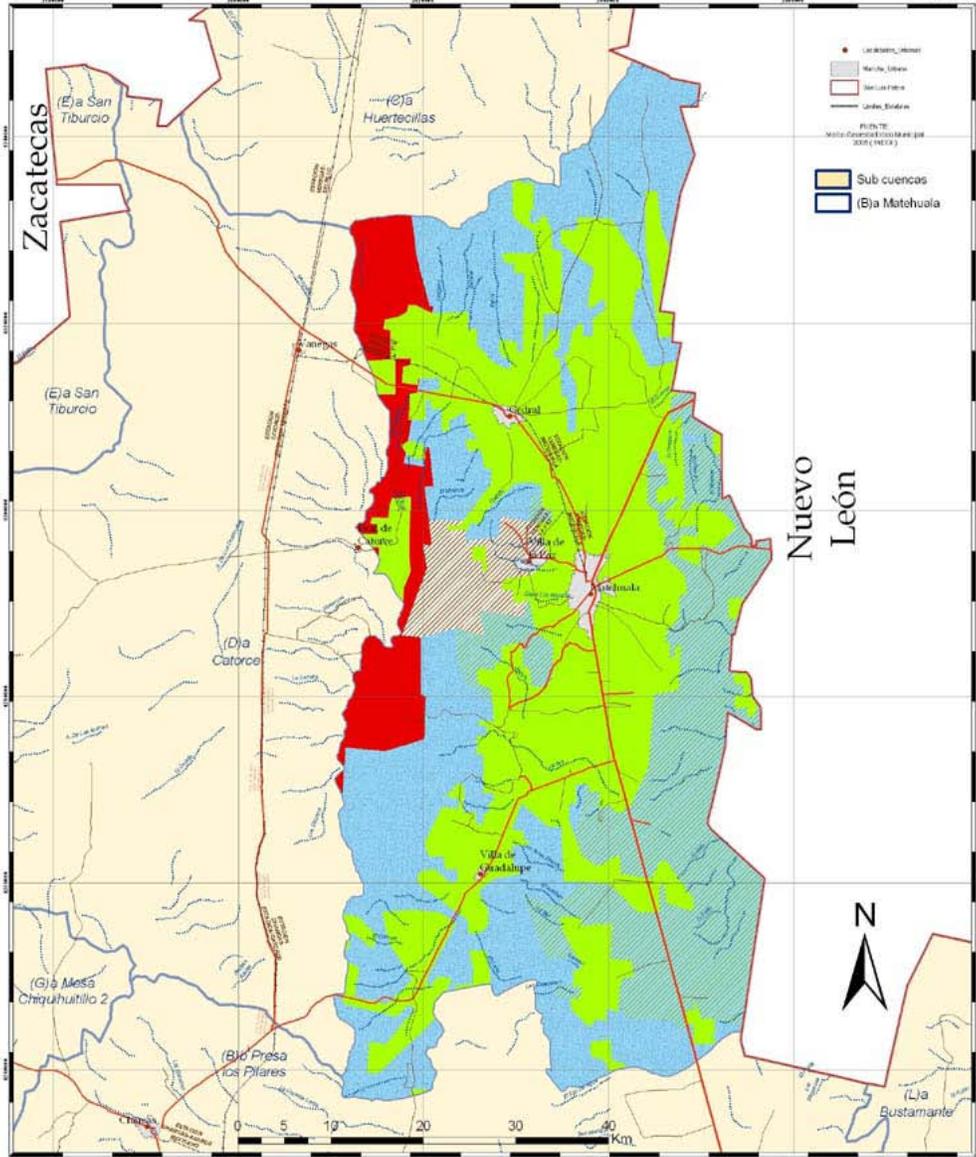
LAB. DE SIG DE LA A.A. DE LA UAGLP

FUENTE

Cartografía: SIGMA

Fotografías aéreas de 1974, 2001 y 2005. Fotografías satelitales: CORTECOA 1974, (Sat. Landsat) por resolución 10m, 30m, 60m.





SIMBOLOGÍA

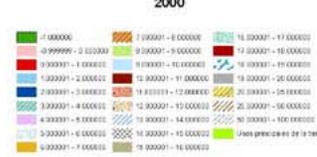
Corrientes superficiales

- CANAL
- CORRIENTE PERMANENTE
- CORRIENTE QUE DESAPARECE

Vías de Comunicación

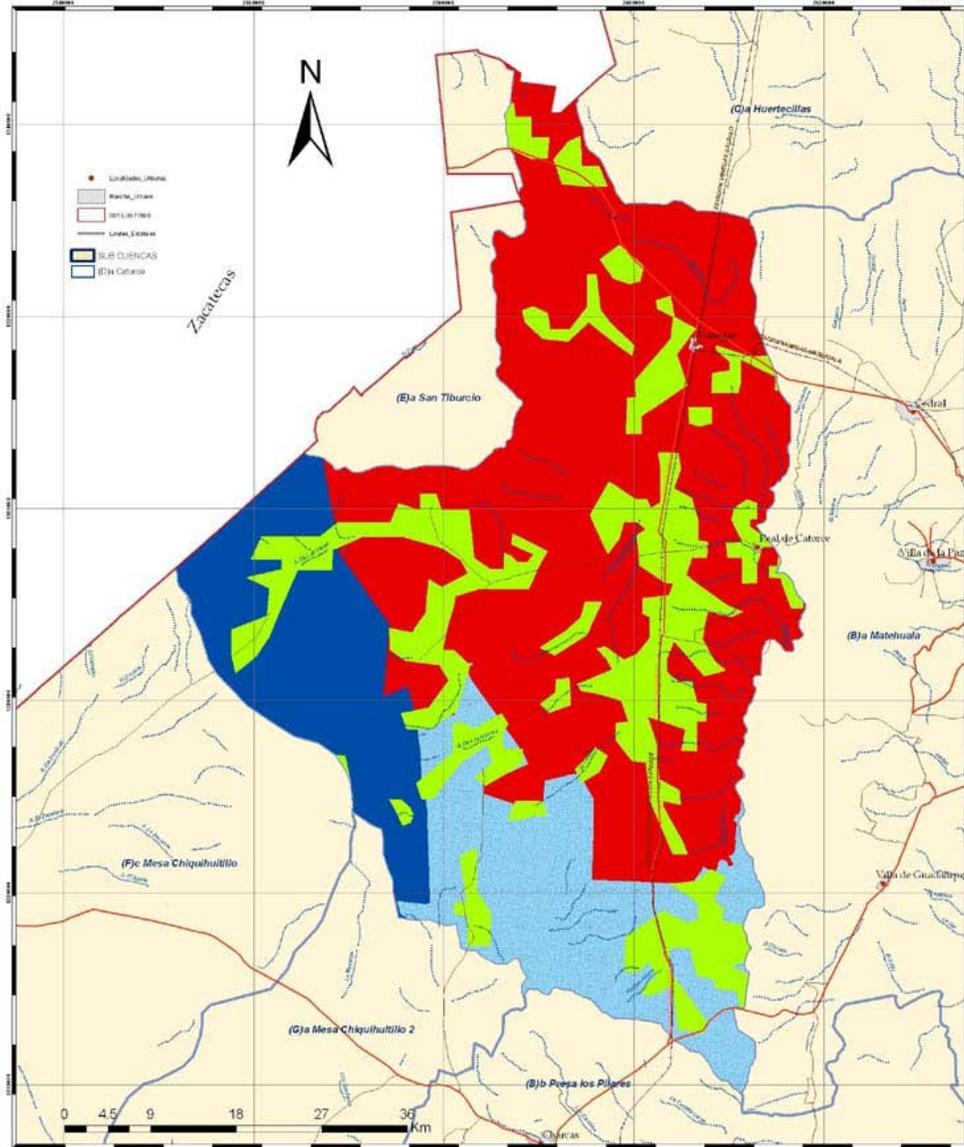
- AUTOPISTA
- CAMINO RURAL MEJORADO
- CARRETERA ESTATAL
- FERROCARRIL

INDICADOR DE SOBREPASTOREO 2000



AUTORES	
Avalos-Lozano, J.A., J. Flores-Cano, P. Medellín-Mirón, F. Navarrete-Ramírez	
COLABORO	
Ing. Federico Navarrete Ramírez	
Lab. De SIG de la A.A. de la UASLP	
FUENTE	
Banco de datos de campo	
Proyección geográfica de 2000: UTM 14Q, Proyección geográfica de 1993: UTM 14Q, Unidad de medida: metros, 2000: Sistema de Referencia de Ecu. las Procs. 2000, 1993: 2000	





SIMBOLOGÍA

Corrientes superficiales

- CANAL
- CORRIENTE PERMANENTE
- CORRIENTE QUE DESAPARECE

Vías Comunicación

- AUTOPISTA
- CAMINO RURAL MEJORADO
- CARRETERA ESTATAL
- FERRICARRIL

INDICADOR DE SOBREPASTOREO 2000

0 - 1.000000	1.000001 - 2.000000	2.000001 - 3.000000	3.000001 - 4.000000	4.000001 - 5.000000	5.000001 - 6.000000	6.000001 - 7.000000	7.000001 - 8.000000	8.000001 - 9.000000	9.000001 - 10.000000	10.000001 - 11.000000	11.000001 - 12.000000	12.000001 - 13.000000	13.000001 - 14.000000	14.000001 - 15.000000	15.000001 - 16.000000	16.000001 - 17.000000	17.000001 - 18.000000	18.000001 - 19.000000	19.000001 - 20.000000	20.000001 - 21.000000	21.000001 - 22.000000	22.000001 - 23.000000	23.000001 - 24.000000	24.000001 - 25.000000	25.000001 - 26.000000	26.000001 - 27.000000	27.000001 - 28.000000	28.000001 - 29.000000	29.000001 - 30.000000	30.000001 - 31.000000	31.000001 - 32.000000	32.000001 - 33.000000	33.000001 - 34.000000	34.000001 - 35.000000	35.000001 - 36.000000	36.000001 - 37.000000	37.000001 - 38.000000	38.000001 - 39.000000	39.000001 - 40.000000	40.000001 - 41.000000	41.000001 - 42.000000	42.000001 - 43.000000	43.000001 - 44.000000	44.000001 - 45.000000	45.000001 - 46.000000	46.000001 - 47.000000	47.000001 - 48.000000	48.000001 - 49.000000	49.000001 - 50.000000	50.000001 - 51.000000	51.000001 - 52.000000	52.000001 - 53.000000	53.000001 - 54.000000	54.000001 - 55.000000	55.000001 - 56.000000	56.000001 - 57.000000	57.000001 - 58.000000	58.000001 - 59.000000	59.000001 - 60.000000	60.000001 - 61.000000	61.000001 - 62.000000	62.000001 - 63.000000	63.000001 - 64.000000	64.000001 - 65.000000	65.000001 - 66.000000	66.000001 - 67.000000	67.000001 - 68.000000	68.000001 - 69.000000	69.000001 - 70.000000	70.000001 - 71.000000	71.000001 - 72.000000	72.000001 - 73.000000	73.000001 - 74.000000	74.000001 - 75.000000	75.000001 - 76.000000	76.000001 - 77.000000	77.000001 - 78.000000	78.000001 - 79.000000	79.000001 - 80.000000	80.000001 - 81.000000	81.000001 - 82.000000	82.000001 - 83.000000	83.000001 - 84.000000	84.000001 - 85.000000	85.000001 - 86.000000	86.000001 - 87.000000	87.000001 - 88.000000	88.000001 - 89.000000	89.000001 - 90.000000	90.000001 - 91.000000	91.000001 - 92.000000	92.000001 - 93.000000	93.000001 - 94.000000	94.000001 - 95.000000	95.000001 - 96.000000	96.000001 - 97.000000	97.000001 - 98.000000	98.000001 - 99.000000	99.000001 - 100.000000
--------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------

ALTOS

Avila-Lozano, J.A., J. Flores-Cano, P. Madalín-Alfaro,
 F. Navarrete Ramírez

ELADITE

Ing. Federico Navarrete Ramírez

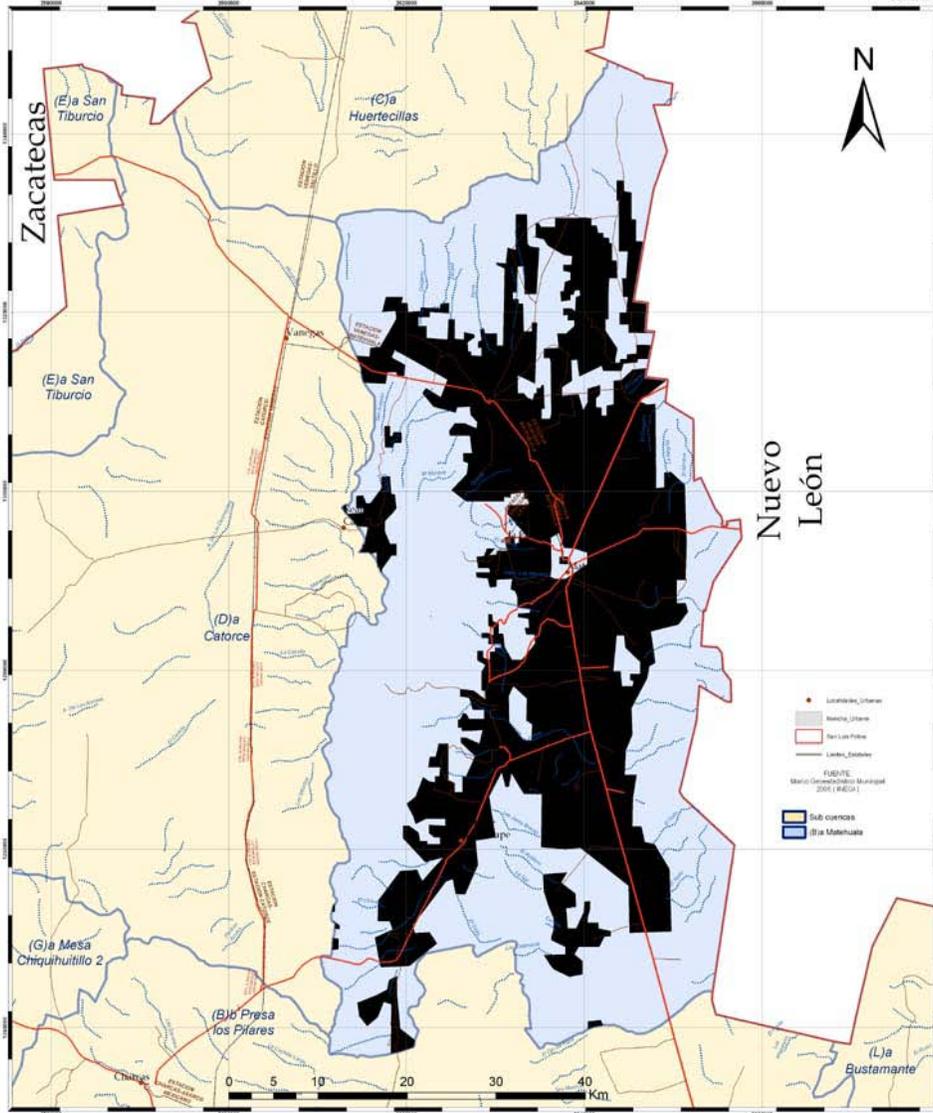
Lab. De SIG de la A.A. de la UASLP

FLUPITE

Salvo errores de imprenta.

Procesamiento digital de 2008 (SIG 2007). Procesamiento digital: COTRACC, S.P.A. Usado actualizado por imágenes 2001 (Aerial Resolution) del Banco de Datos de la Secretaría de Economía (SE), 2001, 2014.





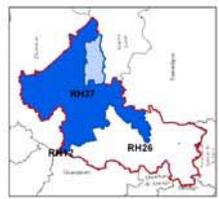
USOS PRINCIPALES DE LA TIERRA 1976

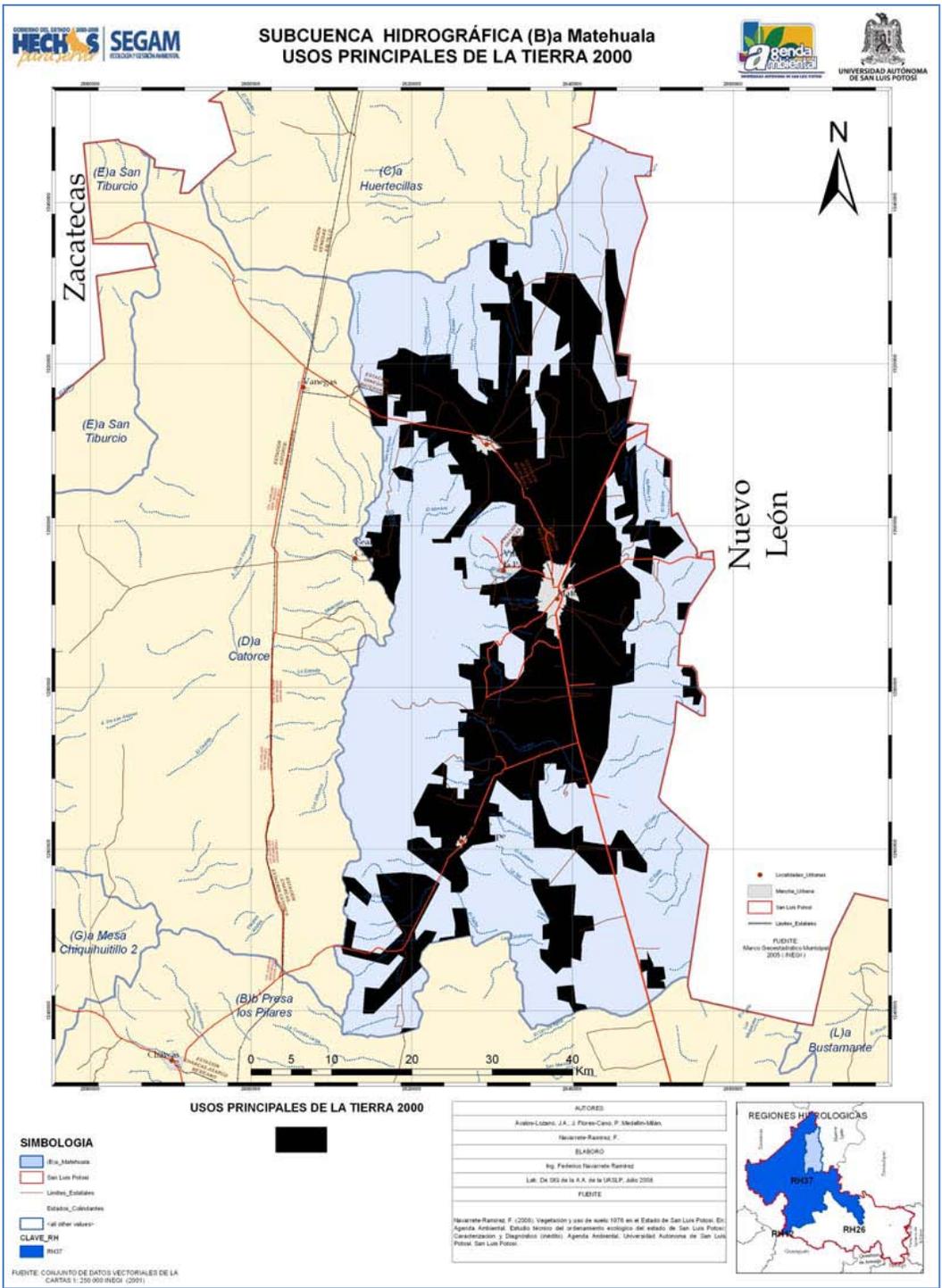
SIMBOLOGIA

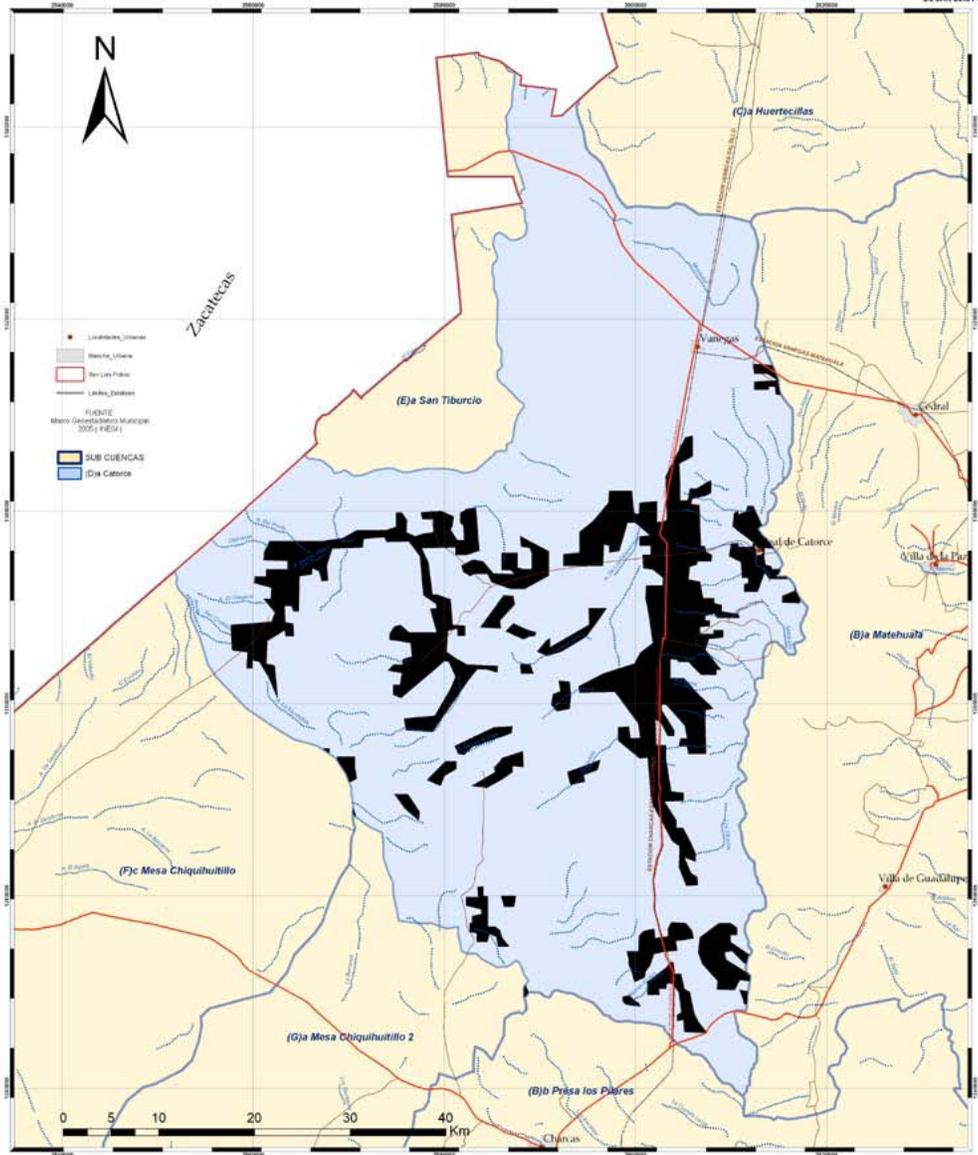
- (E)a Matehuala
- San Luis Potosí
- Límites_Estadales
- Estados_Colindantes
- Sub-cuencas
- (B)a Matehuala
- CLAVE_RH
- RW27

FUENTE: CONSULTA DE DATOS VECTORIALES DE LA CARTA 1:250,000 INEGI (2003)

AUTORES:	
Avelar-López, J.A., J. Flores-Celis, P. Verdades-Silva	
Narciso-Ramírez, F.	
ELABORÓ:	
Ing. Federico Narciso-Ramírez	
L.M. De 363 de la A.A. de la USALP, JUNIO 2008	
FUENTE:	
Narciso-Ramírez, F. (2008). Vegetación y uso de suelo 1976 en el Estado de San Luis Potosí. En: Agencia Ambiental. Estado físico del inventario ecológico del estado de San Luis Potosí. Caracterización y Diagnóstico ambiental. Agencia Ambiental. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí.	







USOS PRINCIPALES DE LA TIERRA 1976

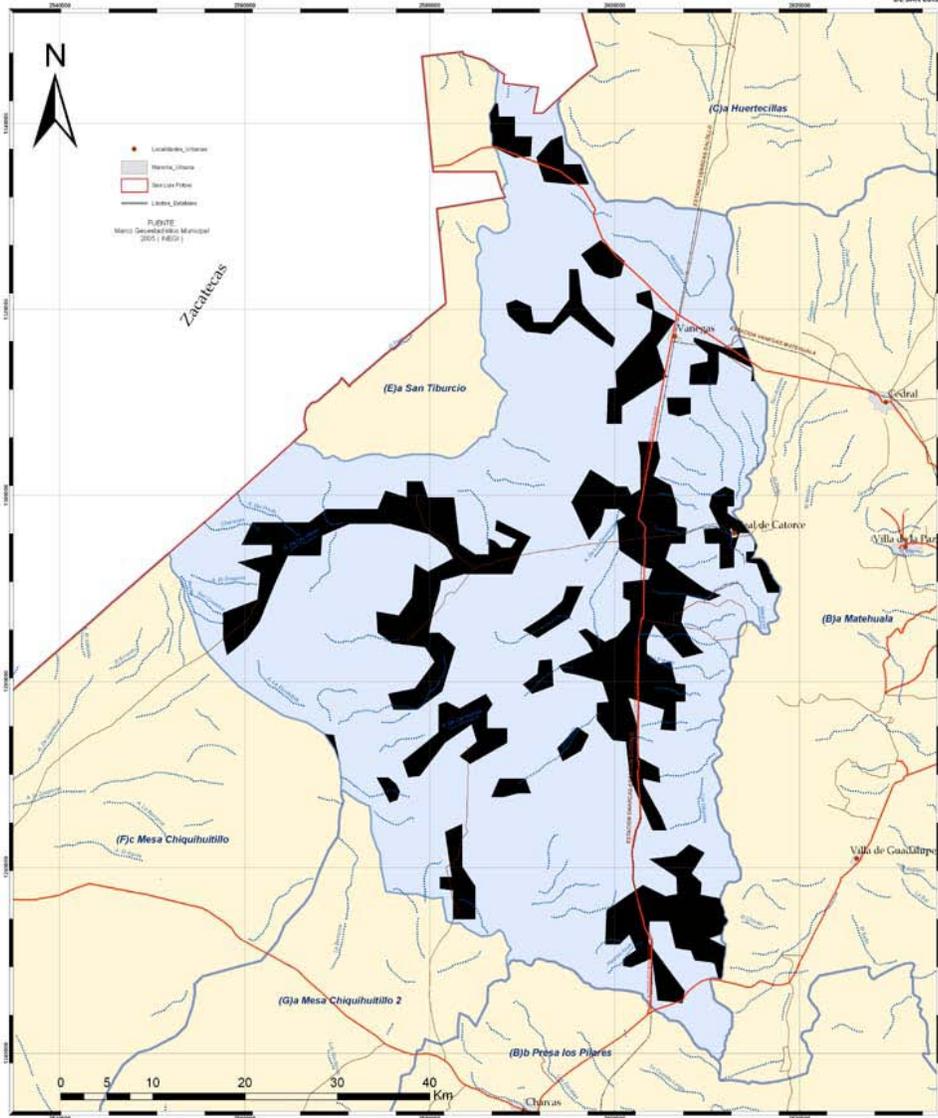
SIMBOLOGIA

- Eje Catorce
- San Luis Potosí
- Límites Estatales
- Estados Colindantes
- "otro valor"
- CLAVE_RH
- RH07

FUENTE: CONJUNTO DE DATOS VECTORIALES DE LA CARTAS 1:250 000 (HEGI 0001)

AUTORES:	
Andrés Luján, J.A., J. Flores Carril, P. Verdán-Balón	
ELABORÓ:	
Ing. Federico Navarrete-Ramírez	
LIC. DR. 393 de la A.A. de la UASLP, Julio 2005	
FUENTE:	
Navarrete-Ramírez, F. (2005). Vegetación y uso de suelo 1976 en el Estado de San Luis Potosí. En: Agenda Ambiental. Estado: Síntesis del conocimiento ecológico del estado de San Luis Potosí. Caracterización y Diagnóstico (ANAD). Agencia Ambiental, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí.	





USOS PRINCIPALES DE LA TIERRA 2000

SIMBOLOGIA

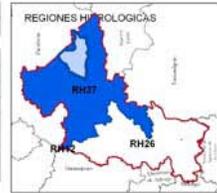
- Eja_Colete
- San Luis Potosí
- Límites_Estados
- Estados_Colindantes
- (all other values)

CLAVE_RH

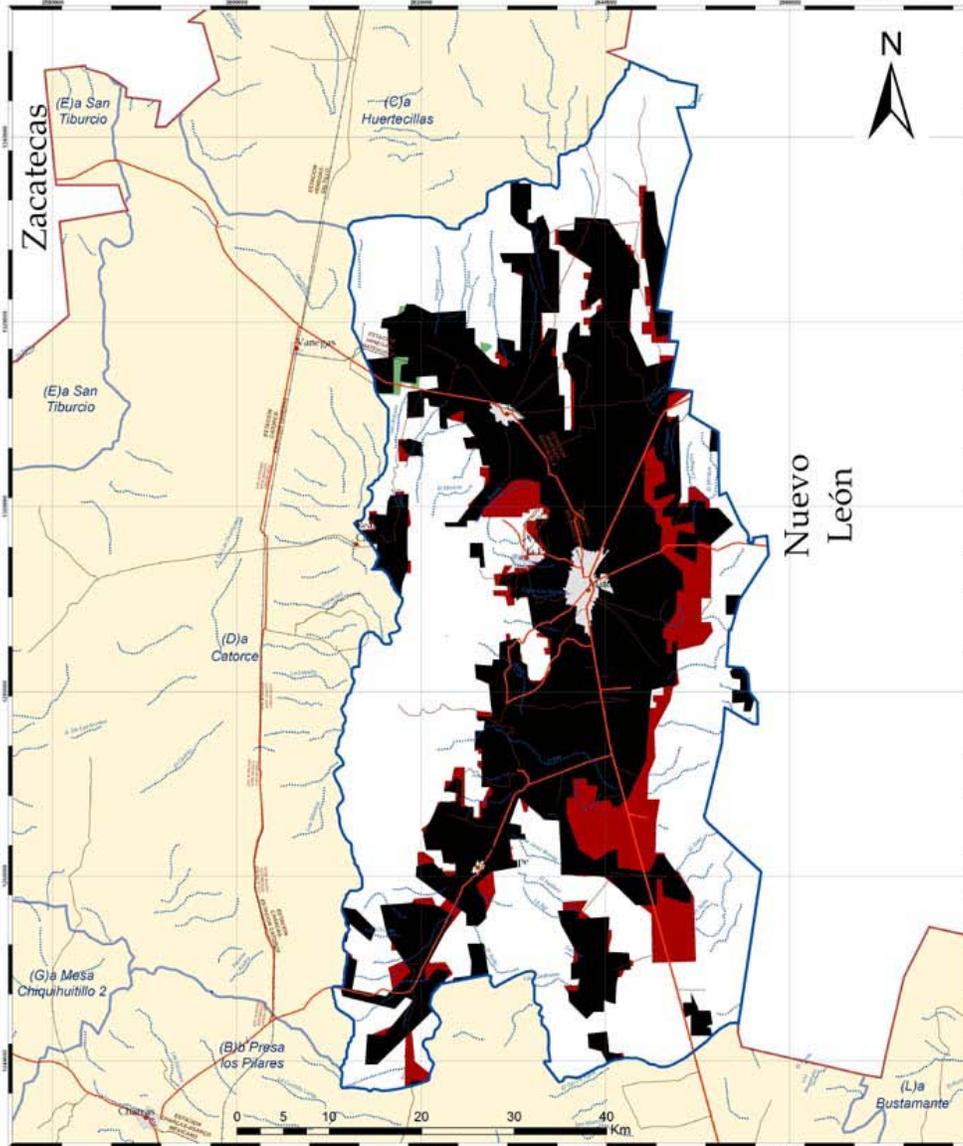
- RH27

FUENTE: CONJUNTO DE DATOS VECTORIALES DE LA CARTA 1: 250 000 (HECH 2007)

AUTORES:
Anita López, J.A., J. Flores-Cano, P. Hernández-Salas
Francisco Ramírez P.
ELABORÓ:
Ing. Federico Hernández-Ramírez
LAC De SIG de la A.A. de la IASLP, JUN 2008
FUENTE:
Hernández-Ramírez, F. (2009). Vegetación y uso de suelo 1976 en el Estado de San Luis Potosí. En: Agencia Ambiental. Estado: Informe del primer seminario geológico del estado de San Luis Potosí. Caracterización y Diagnóstico (Informe). Agencia Ambiental, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí.



Un fenómeno interesante es el abandono de tierras en las que se practicaba la agricultura de riego y la de temporal, en 1976+3; y que para el año 2000 presentaban un uso de la tierra de otro tipo. Hemos localizado a nivel de subcuenca estos sitios y actualmente se intenta identificar las razones del abandono, pues se considera que el abandono puede ser indicador de problemas complejos. En las dos subcuencas se han identificado procesos de degradación del suelo realizados, de manera deliberada, por agricultores industriales que producen jitomate, las tierras, rentadas, sufren un proceso de salinización por la utilización de aguas subterráneas saladas, duran un promedio de cinco años y después son abandonadas.



ABANDONO DE TIERRAS AGRÍCOLAS

■ USOS PRINCIPALES DE LA TIERRA 2000

AGRICULTURA

- Agricultura de riego y humedad 1976
- Agricultura de temporal 1976
- Asentamiento humano

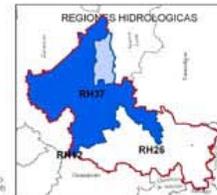
FUENTE: PROGRAMA ESTATAL DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL SAN LUIS POTOSÍ
 ELABORADO POR DOLERA PÉREZ SÁNCHEZ C.Y.
 (IHEACT)

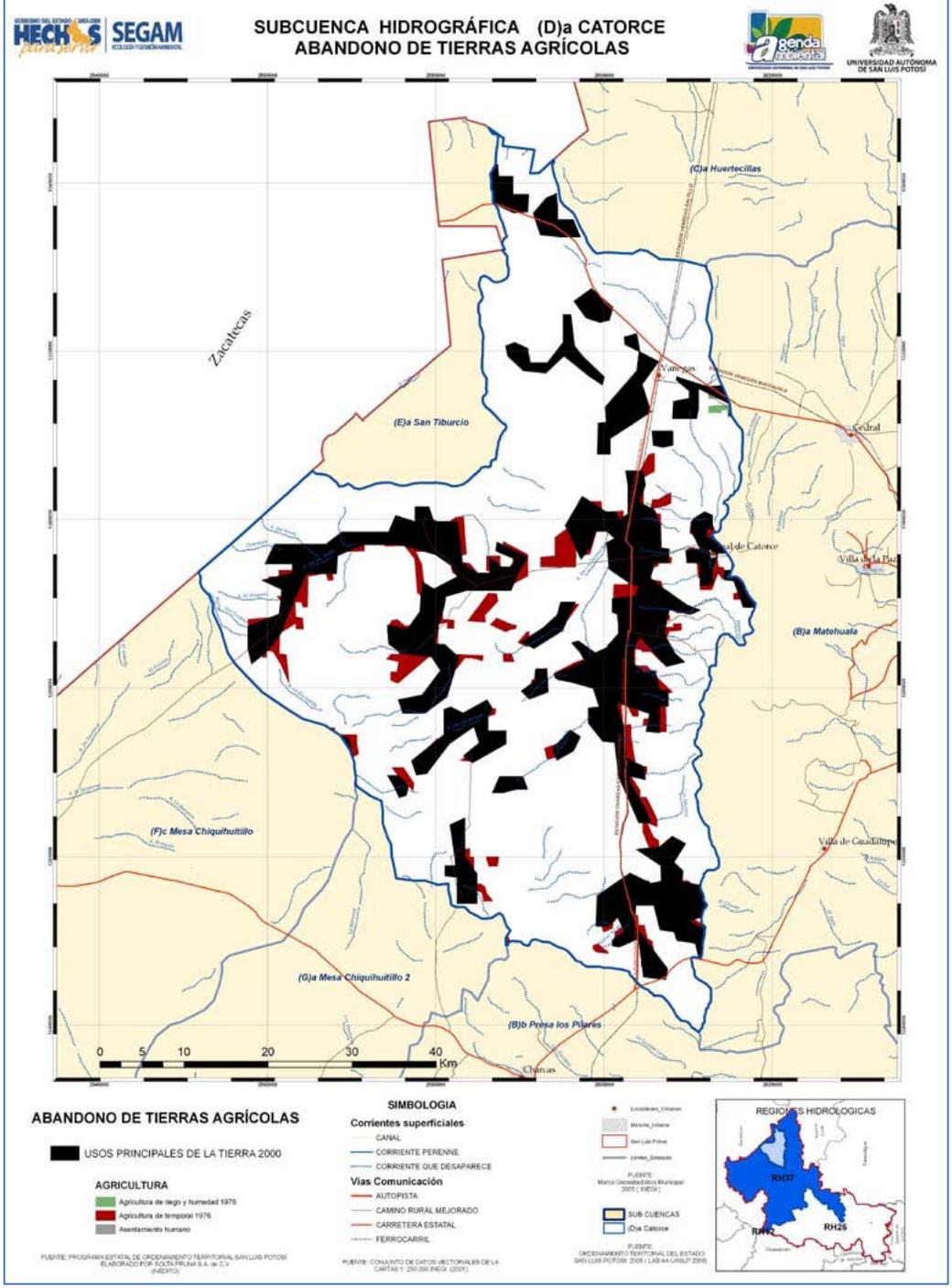
SIMBOLOGÍA

- Corrientes superficiales**
- CANAL
 - CORRIENTE PERENNE
 - CORRIENTE QUE DESAPARECE
- Vías Comunicación**
- AUTOPISTA
 - CAMINO RURAL MEJORADO
 - CARRETERA ESTATAL
 - FERROCARRIL

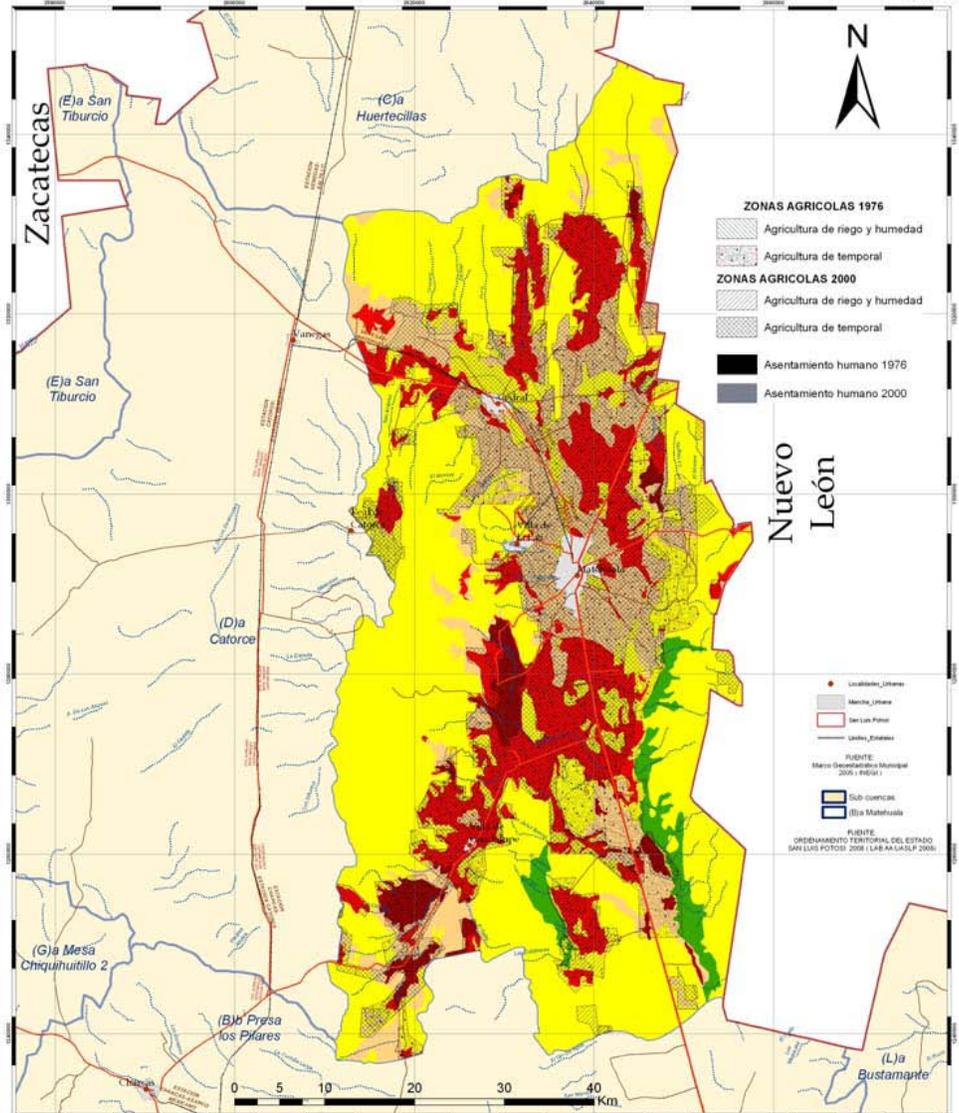
FUENTE: COLECCIÓN DE DATOS SECTORIALES DE LA
 CARTAS 1:250,000 RAN (2001)

- Localidad, Urbana
 - Matamoros, Urbana
 - San Luis Potosí
 - Límite, Estatal
- FUENTE: Mapa Geográfico Municipal
 2005 (IHEACT)
- Sub CUENCA
 - (B)a Matehuala
- FUENTE: ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL ESTADO
 SAN LUIS POTOSÍ 2009 (LABAA/ARUP 2009)





Se realizó la sobreposición de los mapas que contenían las áreas de explotación agrícola de temporal y de riego y de riego de 1976 y 2000 con los mapas actuales de erosión eólica e hídrica con la finalidad de encontrar una correlación, pero solamente se encontró relación entre las áreas degradadas por la erosión eólica y la agricultura, las cuales son evidentes.



SIMBOLOGÍA

Corrientes superficiales

- CANAL
- CORRIENTE PERENNE
- CORRIENTE QUE DESAPARECE

Vías Comunicación

- ALTOPISTA
- CAMINO RURAL MEJORADO
- CARRETERA ESTATAL
- FERROCARRIL

FUENTE: CONJUNTO DE DATOS VECTORIALES DE LA CARTA 1:200,000 (2001)

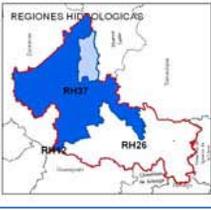
EROSIÓN HÍDRICA

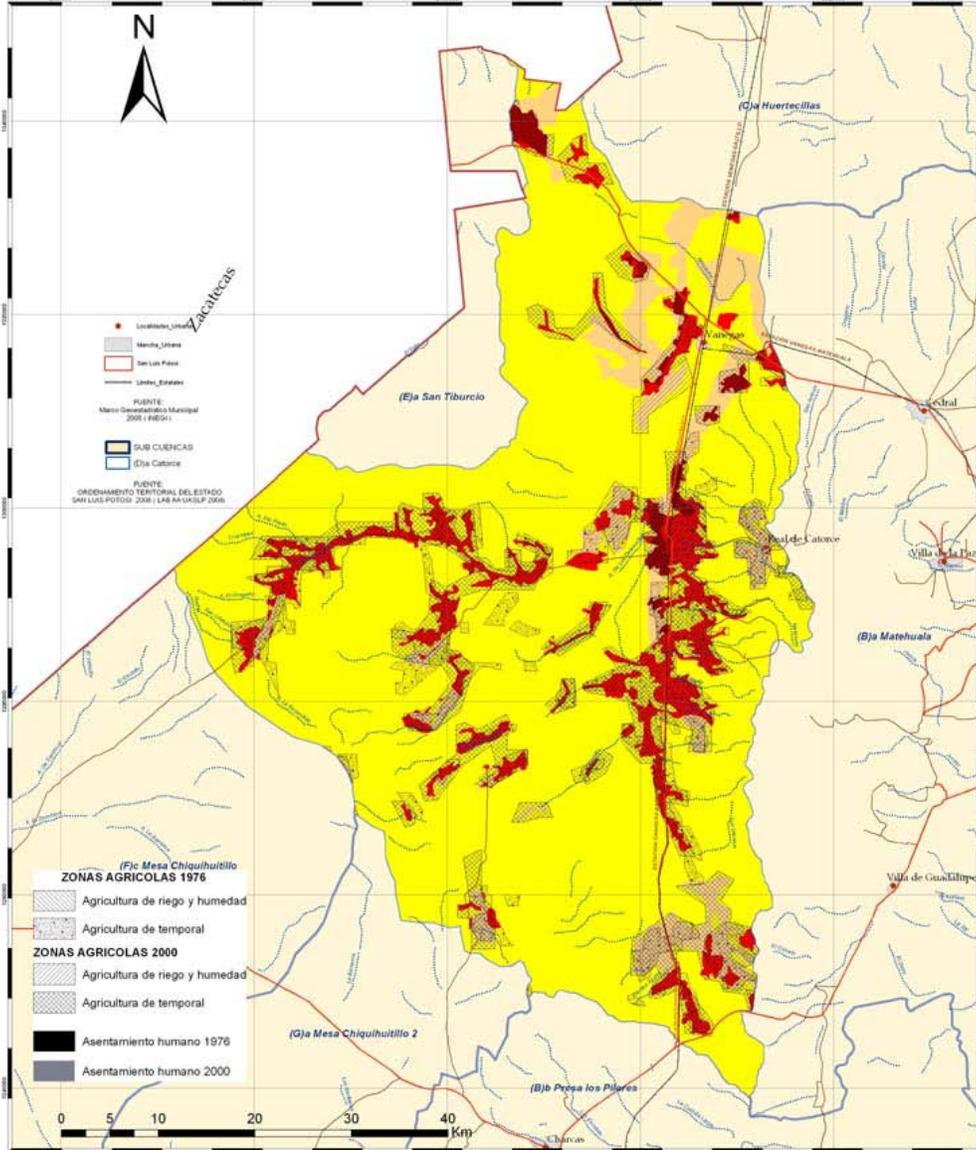
- MUY ALTA
- ALTA
- MODERADA
- LIGERA
- SIN INFLUENCIA DE EROSIÓN

AUTORES:
 Navarrete-Ramírez, F.

ELABORÓ:
 Ing. Federico Navarrete Ramírez
 Lab. De SIG de la A.A. de la UASLP, Julio 2008

FUENTE:
 SOLTA PRELINA S.A. DE C.V., (2002). Programa Estatal de Ordenamiento Territorial San Luis Potosí, inédito





SIMBOLOGÍA

Corrientes superficiales

- CAÑAL
- CORRIENTE PERENNE
- CORRIENTE QUE DESAPARECE

Vías Comunicación

- ALFOFISTA
- CAMINO RURAL MEJORADO
- CARRETERA ESTATAL
- FERROCARRIL

FUENTE: CONJUNTO DE DATOS VECTORIALES DE LA CARTAS 1:250 000 RES-1 (2001)

EROSIÓN HÍDRICA

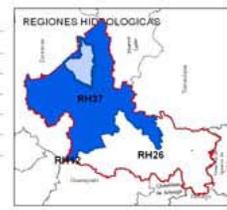
- MUY ALTA
- ALTA
- MODERADA
- LIGERA
- SIN INFLUENCIA DE EROSIÓN

AUTORES:
 Navarrete-Ramírez, F.

ELABORÓ:
 Ing. Federico Navarrete Ramírez

Lab. De SIG de la A.A. de la UASLP, Julio 2008

FUENTE:
 SOLTA PRUNA S.A. DE C.V., (2002) Programa Estatal de Ordenamiento Territorial San Luis Potosí, inédito



2.9.4 Antecedentes Histórico Culturales

Según algunos autores la región que comprende el Sitio Sagrado Natural *Wirikuta* fue parte del territorio de la etnia Guachichil, la más numerosa de los chichimecas, a partir del siglo XII y hasta principios del siglo XVII cuando desaparecieron definitivamente. En su texto mayor, *Guerra de los Chichimecas*, Fray Guillermo de Santa María (2003: 113) señaló:

“Para escribir de esta guerra de los chichimecas me pareció primero tratar algunas cosas de sus costumbres y manera de vivir para que, sabido mejor, se vea y entienda la justificación de la guerra que se les ha hecho y se les hace”.

Se refiere, en primer término, a su nombre que significaría “perro que trae la soga colgando”, nombre genérico:

“Puesto por los mexicanos en ignominia a todos los indios que andan vagos, sin casa, ni sementera (...) Estos chichimecas se dividían en varias naciones y tenían diversas lenguas, traían guerra por causas livianas, aunque en ocasiones se confederan para enfrentar enemigos (Santa.María, 2003: 113)”.

Sobre los guachichiles – Guillermo de Santa María (2003: 115) – establece: “Que eran la mayoría de los chichimecas y los que mayores daños han causado”. Estos cazadores-recolectores no tenían un claro

concepto de propiedad territorial; al parecer no construían templos o altares, ni practicaba los ritos comúnmente observados en Mesoamérica. Eran cazadores-recolectores, andaban desnudos y sólo las mujeres usaban un ceñidor de cuero, muy diestros en el uso del arco y la flecha. Santa María (2003) los describe como belicosos, crueles, indolentes, borrachos y golosos, en un libro escrito para justificar la guerra que los españoles tenían contra ellos.

Probablemente Fray Guillermo actuaba con honestidad al describirlos, pero, como hombre de su tiempo, presentaba una intolerancia radical hacia una cultura tan diferente a la suya propia. Se puede adivinar el asco en sus descripciones de los alimentos consumidos por los chichimecas, tales hábitos alimenticios sólo podían justificarse considerando la pobreza y bestialidad de los chichimecas. Pero no eran, definitivamente, los bárbaros brutales y hambrientos que las crónicas de los españoles (sus enemigos) han intentado retratar. Las condiciones del clima y el suelo de su territorio exigían una sofisticada cultura y un poderoso conocimiento de la estructura, dominancia y fenología de los ecosistemas que los sustentaban. Los guachichiles, al igual que el resto de los habitantes de la Gran Chichimeca, conocían las épocas de florecimiento y fructificación de las plantas y el comportamiento de los animales (Fortanelli, *et al.*, 1999).

Sus recursos fundamentales se constituían de fruta y raíces silvestres, sus frutos más comunes eran las tunas de diversas variedades; también comían la vaina del mezquite, en fresco y de la que hacían pan y atole; consumían los frutos de la yuca; y aprovechaban el maguey en todas sus formas, con excepción de hacer ropa; recolectaban nopales, biznagas, garambuyos, quelites, berros, verdolagas, orégano, palma, papa silvestre, piñones y bellotas; mataban liebres, venados, aves, ratones y peces, ratas magueyeras, víbora de cascabel, perrito de la pradera, codorniz; consumían diversos “brebajes” a partir del maguey, tunas y del mezquite. No tenían alfarería, pero tejían canastas de ixtle y tule (*Typha sp.*) tan apretadas, que contenían cualquier líquido (Santa María, 2003).

Su deambular no era errático, obedecía a una cuidadosa planeación dependiente de los ciclos biológicos y biogeoquímicos. En la seca, se asentaban en las cercanías de los oasis; en época de lluvias se adentraban en el matorral crasicaule, para aprovechar las biznagas y los nopalitos y tunas propios de la estación. Su recolección trashumante incluía: el matorral desierto micrófilo, en el que obtenían la flor de palma, el aguamiel y escapo floral (quiate) del maguey; el matorral desértico rosetófilo donde cosechaban biznagas, agaves y sotoles; y el piedemonte donde encontraban bellotas y piñones (Santa María, 2003). Practicaban el canibalismo los guachichiles de Mazapil, a decir de los zacatecos (Powell,

1996), como lo hacían la mayoría de los pueblos precortesianos. (Stresser-Péan, 2000) señala que los recolectores obtenían del bosque espinoso caducifolio, situado al sureste de su territorio, diversos recursos de los siguientes organismos:

Plantas.

Carnizuelo (*Acacia cornigera*); Huizache (*Acacia farneciana*); Gavia (*Acacia unijuga*); Mezquite (*Prosopis juliflora*); Palma (*Sabal mexicana*); jacube (*Acanthocereus pentagonus*);

Animales.

Jaguar, ocelote, cocodrilo, guacamaya, venado, pecarí, coatí, mapache, tlacuache, conejo, puerco espín, armadillo, puma, ocelote, jaguarundi, coyote, guajolote silvestre, chachalaca, , perdiz, codorniz, diversos tipos de loros, aves rapaces, patos, garza blanca, iguanas, lagartijas, serpientes de cascabel, trigonocéfalos (cuatro narices) coralillos, mazacuatas, diversas tortugas, hormigas y huevas de hormiga, panales de avispas, panales de abejas meliponas, siluros o bagres, centropomidáceos o robalos, tortugas de agua, bivalvos del genero *Unio* y, en ocasiones, el catán (*Lipisostéido*) (Stresser-Péan, 2000).

Los guachichiles aparentemente cultivaban ciertas cactáceas, principalmente nopales. Los españoles, al buscar los asentamientos de

estos grupos, se guiaban por las nopaleras a las que eran muy afectos; Santa María (2003) señala que eran sus sementeras. Consumían múltiples cactus, horneándolos en hornos subterráneos, y miel de abeja, no desdeñaban ningún alimento, y pronto aprendieron a comer carne de caballos, burros, cabras y vacas (esta última les fascinaba y fue un factor importante que provocó la guerra chichimeca).

Los contactos tempranos entre los europeos y los habitantes del nuevo mundo produjeron una serie de brotes epidémicos en rápida sucesión, en una población sin inmunidad adaptativa a estos desconocidos organismos. El resultado de cada pandemia era desastroso y antes de que la población pudiera recuperarse una nueva los golpeaba, hasta que la situación devino en un colapso demográfico. El avance de las enfermedades se adelantó incluso al de los conquistadores, invadiendo el norte de México, y preparando el terreno para la victoria española en la guerra chichimeca, El capitán Gabriel Ortiz de Fuenmayor escribió al virrey en 1616 “que no quedaba un solo chichimeca de aquellos que originalmente habían poblado San Luis Potosí”. Desconocemos cuál fue el alcance del colapso en las zonas semidesérticas potosinas pero la desaparición de los guachichiles, etnia dominante en la región, puede ser un buen indicio del alcance del Armagedón que se les vino encima, es posible que en el momento del encuentro los españoles se enfrentaron a

comunidades chichimecas desarticuladas, que habían sido expulsadas de sus tierras por las enfermedades infecciosas. Powell (1996) afirma que para defenderse de las epidemias los guachichiles se refugiaron en los cerros ocupados por plantas espinosas.

Las primeras expediciones españolas al Altiplano Potosino se dieron en el siglo XVI. El capitán Fuenmayor penetró a la región de Matehuala en 1540 proveniente de Zacatecas. Pero no fue sino hasta 1548 cuando don Francisco de Urdiñola inició la conquista del Reino (Powell, 1996). La facilidad con la que los europeos sojuzgaron Mesoamérica y la zona andina contrasta con las dificultades para extender la influencia española a la zona septentrional de México; a la conquista de la zona de alta civilización que requirió apenas dos años, siguió medio siglo de guerra para someter a la Gran Chichimeca. Los antecedentes de la guerra a sangre y fuego se encuentran en el conflicto Mixtón; el avance hacia el norte de los ganaderos españoles; y el descubrimiento, en 1546, por Juan de Tolosa, de ricas vetas de plata en las cercanías de Zacatecas, que llegó a ser el real de minas más importante en la Nueva España (Sego, 1998). Los mineros y rancheros se lanzaron a la región por millares poseídos por una “fiebre de plata”; las necesidades de mano de obra condujeron a los aventureros a esclavizar a los pobladores, práctica fomentada por el gobierno español en las primeras etapas de la guerra

(Sego, 1998); mientras el aprovisionamiento, necesario a las labores de extracción, beneficio y comercialización, condujo a la expulsión de los indígenas y a la destrucción de los recursos vegetales y animales de los que dependían. Estos hechos se agravaron por los intentos de cristianización y la asociación que los chichimecas intuyeron entre los invasores y las nuevas enfermedades que los aquejaban. Hacia 1550, la mayoría de las tribus chichimecas tenían motivos de sobra para iniciar una guerra santa: “acabar con lo blanco” fue su grito de guerra.

Los chichimecas resultaron un enemigo temible, que estuvo a punto de expulsar a los aventureros de la región. La guerra costó cientos de vidas y la fabulosa cantidad de un millón de aquellos pesos. Las condiciones se tornaron desesperadas para el gobierno virreinal cuando, en 1576, los guachichiles destruyeron el Real de Charcas, fundado apenas dos años antes. Para 1585 la guerra alcanzó su mayor intensidad; los chichimecas consiguieron constituir una alianza que incluyó a los pames y a otras naciones (incluso a los zacatecos), empezaron a usar caballos y su audacia aumentó; por su parte, los españoles aumentaron sus milicias y construyeron un mayor número de poblados llamados presidios como Venado y Agua Hedionda, y en 1584 refundaron el Real de Charcas.

Al fin la cordura se impuso y la Corona Española inició a partir de 1589, siendo Virrey el marqués de Villamanrique, una nueva política que incluía

la liberación de los cautivos, la prohibición de la captura de nuevos esclavos, la compra de la paz mediante ropa, herramientas, aperos agrícolas y ganado. Ya siendo virrey Luis de Velazco, el hijo, se inicia un nuevo esfuerzo de colonización, el cual dependió en gran medida de voluntarios tlaxcaltecas.

Pacificada la mayor parte del Altiplano Potosino en junio de 1591, una larga caravana constituida por 932 colonizadores, partió de Tlaxcala con destino a la frontera septentrional. Con ellos emigraron elementos de su cultura material (Martínez B., 1991; citado por Fortanelli *et al.*, 1999). Los tlaxcaltecas reintrodujeron a San Luis Potosí elementos esenciales de la cultura agrícola mesoamericana: el cultivo de 80 especies diferentes, entre las que se incluían maíz, calabaza, frijol, guaje, algodón, chiles y amaranto; instrumentos de trabajo, como el hacha, la coa y diversos sistemas de producción agrícola, como los de barbecho largo, los de barbecho arbustivo, los intensivos y los especiales (Rojas R., 1991, citado por Fortanelli *et al.*, 1999); los intensivos incluían: cultivo de laderas, modificadas con metepantles, campos drenados, fertilización orgánica, con esquilmos, estiércol humano, guano de murciélago, cieno, aluvión, y nidos de hormigas; y los solares, formas de producción de poli-cultivos escalonados de los que obtenían, alimentos, condimentos, medicinas y flores (Fortanelli, *et al.*, 1999).

Cuando los colonos tlaxcaltecas partieron a San Luis Potosí, la fusión de la cultura agrícola mesoamericana con su contraparte mediterránea, se encontraba en un estado avanzado. En 1580 estos indígenas cultivaban los siguientes organismos importados: lechuga, col, pepino, garbanzo, haba, rábano, cebolla, hierbabuena, ruda, cilantro, perejil, y plantas de ornato, cabras, ovejas, cerdos y aves de corral (Fortanelli *et al.*, 1999); habían incorporado nuevos instrumentos de trabajo como el arado, la pala, el azadón, la hoz, la azada, el machete, los molinos y las eras; incluso habían modificado algunos instrumentos prehispánicos como la coa al añadirles puntas de hierro.

Los asentamientos tlaxcaltecas se convirtieron en un foco de difusión de nuevos organismos y tecnologías y sus esfuerzos por la transformación del paisaje potosino son el antecedente de la reorganización natural que pronto se extendió al Altiplano; estos colonos funcionaron como puente de transmisión de una nueva cultura agrícola sincrética mesoamericana-mediterránea a los cazadores recolectores chichimecas, al mismo tiempo los tlaxcaltecas adoptaron algunas de las estrategias de sobrevivencia de los guachichiles, preservándolas después de la desaparición de este grupo humano.

La Maroma, El Potrero, Villa de La Paz y Real de Catorce: eran, a fines del siglo XVIII, los cuatro núcleos de minas fundamentales de la región de estudio, debemos reconocer que la fecha exacta del inicio de la minería en la región es un enigma inaprensible, sin embargo, es posible vislumbrar algunos indicios.

El Consejo Nacional de Recursos Minerales afirma que las actividades mineras en la región iniciaron en 1770, cuando Don Sebastián de Ichaurrandienta realizó el denuncia de la cata “Nuestra Señora de La Paz” ubicada en El Cerro del Fraile en Matehuala (Cárdenas 1992); sin embargo, la *corta ley* de estas minas no atrajo a demasiados mineros como relata Bernabé Zepeda en 1779: (Velázquez, 1987: 519-520 Tomo III) corriendo el año de 1778 y persuadido:

“De que hallaría protección en el cuerpo de la minería (...) comenzó a trabajar unas minas antiguas (...) De allí volvió a Matehuala, cuyas minas despobladas enteramente y de corta ley no le dieron esperanza”.

Poco después Juan Núñez, Francisco Gómez y Sebastián Coronado encontraron la cata “Descubridora” en el paraje de los Catorce (Montejano, 1974: 14), pero las actividades mineras realmente adquirieron importancia hasta

“1778 [cuando] Bernabé Antonio de Zepeda, minero del Ojo de Agua de Matehuala, (...) tuvo la felicidad de encontrar el crestón¹¹ de la veta grande y allí abrió el tiro de *La Guadalupe* siendo tal la cantidad de plata (...) que en poco tiempo ganó más de medio millón de pesos” (Humboldt 2004: 359).

Dos años después en el Cerro del Barco situado al sur de la sierra se descubrió el Distrito Minero Real de La Maroma, de vida efímera, pero producción importante. El extraordinario desarrollo de la minería en la década 70-80 del siglo XVIII hace palidecer todo lo que sucedió anteriormente, pero 1770 no fue el año de inicio de las actividades mineras en la región, simplemente se ha confundido el comienzo de tales operaciones con su primer período de auge.

Barba (2003) asegura que: a Miguel de Escorigüela en 1615 se le concedió merced por un sitio de ganado mayor y seis caballerías de tierra, que incluía a Ojo de Agua (San Bartolomé) y tuvo en él hacienda de minas. En la *Relación de bienes del capitán Gabriel Ortiz de Fuenmayor y posesión por parte de Isabel Pérez...* (Fechada el dos de junio de 1617); se contemplan, entre otros, los siguientes efectos: “Ítem, pone por inventario (...) las minas y partes de minas que le pertenecen (...) en Mateguala” (Urquiola, 2004: 145). Gamboa, por su parte, menciona en 1761 la presencia en “Mateguala de minas plomosas que están en

corriente” (Gamboa, 1874: 334). En 1644 se admitió a composición la merced de Miguel de Escorigüela, equivalente al territorio después ocupado por las haciendas de Matehuala, San Juan Vanegas y Cedral (Barba, 2003). El fundador de Matehuala murió en 1645 y ante la incapacidad de su heredero para saldar algunas deudas, las Haciendas de Matehuala y San Juan Vanegas se adjudicaron (a fines del mismo año) a Francisco de León. El nuevo dueño de Matehuala, minero antes que todo, descubrió varias minas en el cerro de El Fraile; instaló una hacienda de sacar plata en Ojo de Agua, justo en el sitio donde operó la hacienda de beneficio de Escorigüela (AHESLP, FAMCH, leg. 1673, exp. 01, Fs. 3); y “poseía adicionalmente una mina en el Cerro de San Matías, por debajo del Cerro del Fraile, con un hondor de tres estados” (AHESLP, FAMCH, leg. 1671, exp. 03, Fs. 1-25). Para 1664 –afirma Moran (2001) – existían en Ojo de Agua varias haciendas de beneficio donde se procesaban minerales de la región y del sur de Nuevo León. Francisco de León murió el 19 de enero de 1673, en su hacienda de fundición “Matehuala” junto a Ojo de Agua (Matehuala la Vieja), donde se procesaba mineral de la región, de Nuevo León y Zacatecas (Mazapil). Como se puede apreciar las actividades minero-metalúrgicas en la zona de estudio se han desarrollado, cuando menos desde hace 390 años y no se circunscribieron al procesamiento de minerales obtenidos en el sitio. **Por**

lo tanto resulta inexacta la opinión de Elhuyar (1825: 22) en la que afirma que el distrito de Catorce era un país inculto y despoblado, que sólo servía antes del año de 1774 para la cría de algún ganado, sin embargo, es cierto que merced al descubrimiento la región tuvo un incremento muy grande.

No es extraño que la Hacienda de beneficio de Ojo de Agua, propiedad de León fuera de fundición. Pues las minas de Matehuala son plomosas. Tampoco extraña que poseyera una de azoguería en Mazapil lugar que, según Villaseñor y Sánchez (1992, 440) – que escribió en 1746 –:

“Ha sido en lo antiguo, y recién descubierto, de crecidas leyes en sus metales, principalmente por la fundición en los de fuego, porque tuvo las más acreditadas haciendas en esta línea”.

Pues aunque los minerales de Mazapil no eran muy aptos para el patio, es sabido que en las haciendas se procesaban minerales de diferentes procedencias, principalmente al considerar, que para 1761 la situación de Mazapil había cambiado, pues Gamboa (1874) subraya: “*Mazapil*. Mineral de Plata antiguo, y opulento, que hoy es de cortas leyes”. Por último, existen múltiples documentos que demuestran que a finales del siglo XVIII existieron en Ojo de Agua diversas haciendas de azoguería coexistiendo con haciendas por fuego. En la región existían y se aplicaban diversos procesos de beneficio, por lo que cabe preguntar: ¿cuáles eran las

razones de tal diversidad? En los apartados siguientes se intentará una respuesta.

2.10 *El Metabolismo Industrial de Catorce*

Para los economistas el conjunto de las operaciones industriales, es decir – la totalidad de la producción de bienes (de uso, intercambio y capital), obtenida mediante la transformación de materiales y energía y realizada por el trabajo social – constituyen la base del funcionamiento del sistema económico. Bajo esta perspectiva, el sistema económico toma un lugar propio dentro del gran sistema natural de la Tierra (y el sol). Las sociedades humanas forman parte de la biosfera, y por lo tanto, su existencia depende de los ecosistemas (Ayres, 1994).

En los sistemas industriales la producción (oferta) no se autorregula por sí misma; asegurado el abastecimiento de energía, materias primas e insumos y los sumideros de los residuos generados, condición liminar que permite el metabolismo industrial; los controles que estabilizan el sistema son aportados por el componente humano. El papel humano tiene tres aspectos: dos directos que son la inversión de la fuerza de trabajo y el marco institucional que incluye: las regulaciones normativas, la disponibilidad de capital de inversión, las políticas fiscales, el control de precios y salarios; y los monopolios estatales. Un tercer aspecto, ahora indirecto, es la demanda final en el mercado. Los sistemas industriales

son idealmente estabilizados por el balance de la oferta y la demanda de los productos y el trabajo a través del mercado, pero la realidad es que el mercado presenta fuertes distorsiones debidas al control del Estado o a la presencia de los monopolios, entre otros factores. De cualquier forma, el sistema económico es, en esencia, el mecanismo regulatorio del metabolismo industrial (Ayres, 1994).

La influencia humana sobre la composición y estructura de los ecosistemas se debe, fundamentalmente, a la operación de las *Fuerzas de Producción* de la Sociedad, constituidas por el conjunto de tecnologías específicas (teorías, pericias, instrumentos y procedimientos industriales); y los hombres, organizados socialmente, que las emplean para producir bienes materiales. Las tecnologías constituyen la base material y técnica de la sociedad y se desempeñan como la 'conexión física y funcional entre las comunidades humanas y los ecosistemas' («*interfaz*»); mediante su operación se sustancia el intercambio orgánico sociedad-naturaleza.

Considerando que la *Ley de Conservación de la Masa* establece que: "En toda reacción química la masa se conserva, esto es, la masa total de los reactivos es igual a la masa total de los productos (bienes y residuos)"; es posible determinar la cantidad de productos que se generan en una reacción química específica, a partir de ciertas cantidades de reactivos; o conocer la cantidad de reactivos necesarios para obtener cierta cantidad

de productos. En el caso del beneficio de las menas de plata la presente investigación ha conseguido construir una nueva metodología para determinar; el tipo de minerales procesados y su composición; el volumen de plata metálica producida en el periodo, las tecnologías utilizadas, los procesos desarrollados; algunas de las reacciones químicas; los insumos utilizados por cada marco de plata producido o por cada día de trabajo; e incluso las pérdidas de algunos insumos, como el mercurio; lo que permite determinar, las «*relaciones estequiométricas*» ('relaciones cuantitativas; de masa, volumen, número de moles; de las sustancias que participan en las reacciones químicas involucradas en los procesos') y, por consiguiente, la cantidad de materia prima e insumos directos utilizados (mineral, mercurio, sal, magistral, litargirio, carbón, agua, etcétera); más los residuos producidos, lo que no es un trabajo baladí, pues las reacciones químicas cambian en función de múltiples factores; como la humedad, la temperatura, la variable composición de los minerales, la pericia de los operarios, incluso la disponibilidad de insumos o las necesidades de comercialización.

A partir de la consulta de fuentes primarias fue posible determinar la cantidad de animales de trabajo, forraje, cebo, cueros, madera, ixtle y otras mercancías necesarias para el funcionamiento del sistema; o para alimentar, vestir, y brindar confort a mineros y operarios; y mediante

investigación documental y de campo se ha establecido la procedencia de los diversos materiales y fuentes de energía empleados lo que ha hecho posible evaluar las perturbaciones provocadas por la extracción de estos recursos. Con la misma estrategia ha sido posible dilucidar la cantidad de residuos generados y los puntos en que éstos se han incorporado a los ciclos biogeoquímicos del paisaje.

Los procesos incluidos en el metabolismo industrial no se refieren exclusivamente a los involucrados directamente en las operaciones minero-metalúrgicas, incluyen, además, el resto de actividades colaterales y dependientes que permitieron el funcionamiento de la industria: construcción de caminos y casas para los trabajadores; fabricación de pozos, acueductos, canales y presas; producción de alimentos y bebidas alcohólicas; elaboración de cebo e ixtle de lechuguilla; crianza de animales de trabajo, para la obtención de cueros o actividades recreativas; actividades forestales y de elaboración de carbón; entre otras.

Bajo las consideraciones anteriores el estudio se enfocó en documentar y analizar los siguientes elementos del *Metabolismo Industrial de la Industria Minero-Metalúrgica* considerando, en particular, su dinámica de cambio temporal y espacial:

- a) Tecnología. Establecidas las tecnologías utilizadas y sus peculiaridades, en el sitio y periodo de estudio, se han calculado

los balances de materiales (cantidad de energía, materia prima e insumos utilizados, y residuos generados por unidad de producto).

- b) Los flujos tangibles e intangibles: Un sistema industrial requiere para su funcionamiento establecer flujos de energía, materiales e información, que atraviesan las fronteras hacia el interior y el exterior del sistema industrial (flujos de mercancías y residuos). Estos flujos en realidad forman parte de los ciclos biogeoquímicos del paisaje. Al establecer los flujos de mercancías se determinó, al mismo tiempo, el sitio en que se originan, la distancia del sitio de producción al mercado o localidad industrial, las condiciones particulares y costo del transporte de las mercancías. Por otro lado se identificaron las rutas y sumideros utilizados para la disposición de residuos.
- c) La influencia del sistema industrial minero-metalúrgico en la formación de los paisajes en los espacios mineros.

La caracterización de los patrones geográficos de los paisajes de los distritos mineros y de los agentes que provocaron su formación, en el periodo de estudio, es el segundo gran objetivo del presente trabajo. La caracterización de un patrón implica, en primer término, identificarlo, sin obviar la escala en la que es expresado, y posteriormente sintetizar sus elementos estadísticamente o de otra manera cuantitativa – se utiliza

síntesis en su significado original: “Composición de un todo por la reunión de sus partes”-. Dado que el paisaje es un sistema mudable es condición esencial de su caracterización la comprensión de su dinámica de sucesión (como el paisaje cambia en el tiempo) y, por consiguiente, la identificación del tipo y comportamiento de las *fuerzas conformadoras* de patrones que incluyen:

La *plantilla física abiótica* («*plantilla*» por analogía con la pieza principal del arcabuz, y otras armas de fuego, donde se fijaban y guarnecían todos los demás hierros de la llave); más propiamente llamada biotopo, definido por Tansley (1935: 299) como: “El complejo total de factores físicos formando lo que nosotros llamamos el ambiente del «*bioma*» o comunidad [‘el total de las poblaciones de organismos que coexisten en un espacio y tiempo dados e interactúan directa o indirectamente’] – los factores del hábitat en el más amplio sentido”.

Las respuestas demográficas de las diferentes poblaciones de la comunidad biótica al biotopo.

El régimen de disturbio superpuesto a ellas (tendencia de cambio en la estructura y composición de las comunidades bióticas resultante de la tensión provocada por las *fuerzas conformadoras*) que se manifiesta físicamente en la sucesión (cambio direccional en la composición y estructura de una comunidad a lo largo del tiempo).

Las instalaciones minero-metalúrgicas se convirtieron en mercados centrales alrededor de los cuales se desarrollaron áreas de producción (agrícola, forestal o pecuaria) con diferente *uso de la tierra*, produciendo un patrón geográfico identificable, constituido por parches con diferente *cobertura de la tierra*. Estos diferentes *usos de la tierra* dependían en primer término de la heterogeneidad del biotopo; y en segundo lugar del hecho de que la renta de la tierra, para un producto específico, varía inversamente en función de la distancia al mercado central, y llega a cero donde los costes marginales (provocados por la distancia al mercado y los costos diferentes del transporte para cada producto) y los ingresos marginales por un producto son equivalentes. De esta forma en las zonas cercanas al mercado se produjeron artículos que proporcionaban mayor beneficio, requerían mayor inversión, tenían más altos costos de transporte o, un peso o masa considerable en proporción a su valor; mientras en las zonas más alejadas se produjeron bienes que requerían menor inversión o menores costos de transporte (Von Thünen, 1966, Cronon, 1992). Por otro lado, las haciendas de beneficio se localizaron también en función de la presencia de la materia prima o los insumos necesarios para el procesamiento y del costo del transporte de las materias primas (Weber, 1929).

2.11 Menas y gangas en el Distrito de Catorce

En las siguientes tablas se presentan para las 111 minas que funcionaron en el sitio, y que fueron cartografiadas, los minerales explotados.

Real de Catorce	
El total de minas registradas en el sitio fue de 89	
Mineral	Número de minas
Plata nativa (P)	3
Argentita o acantita, Ag ₂ S. (P)	7
Galena, PbS. (M)	15
Esfalerita, (Zn, Fe)S. (M)	14
Calcopirita, CuFeS ₂ . (M)	15
Pirita, FeS ₂ . (M)	10
Pirargirita, Ag ₃ SbS ₃ . (P)	5
Polibasita, (Ag, Cu) ₁₆ (As, Sb)2S ₁₁ . (P)	3
Clorargirita, AgCl. (P), constituyente de los colorados. Muy abundante.	11
Br-Clorargirita, Ag(Cl, Br). (P), constituyente de los colorados.	5
Bromoargirita, AgBr. (P), constituyente de los colorados.	4
Yodargirita, AgI. (P)	1
Fluorita, CaF ₂ . (G) fundente.	4
Cervantita, Sb ₃ +Sb ₅ +O ₄ . (M)	1
Estibiconita, Sb ₃ +Sb ₅ +2O ₆ (OH). (M)	1
Litargirio, greta, γPbO. (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	2
Hematites Fe ₂ O ₃ . (M) fundente.	1
Anglesita, PbSO ₄ . (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	1
Estibina, Sb ₂ S ₃ . (M)	6
Rodocrosita MnCO ₃ . (G)	1
Calcita, CaCO ₃ . (G)	3
Cerusita, PbCO ₃ . (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	4
Vanadinita, Pb ₅ (VO ₄)Cl. (M) producto de la oxidación de la galena.	1

Real de Catorce	
El total de minas registradas en el sitio fue de 89	
Mineral	Número de minas
Yeso, CaSO ₄ ·2H ₂ O. (G)	1
Azurita: Cu(OH) ₂ ·2(CuCO ₃). (M)	1
Malaquita: Cu(OH) ₂ ·CuCO ₃	4
Cinabrio, HgS (M)	6

Cedral	
El total de minas registradas en el sitio fue de 1	
Mineral	Número de minas
Calcita, CaCO ₃ . (G)	3

Real de la Maroma	
El total de minas registradas en el sitio fue de 20	
Mineral	Número de minas
Argentita o acantita, Ag ₂ S. (P)	6
Galena, PbS. (M)	11
Br-Clorargirita, Ag(Cl, Br). (P), constituyente de los colorados.	2
Bromoargirita, AgBr. (P), constituyente de los colorados.	2
Litargirio, greta, γPbO. (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	2
Tenorita CuO. (M)	1
Anglesita, PbSO ₄ . (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	2
Estibina, Sb ₂ S ₃ . (M)	1
Calcosina Cu ₂ S. (M)	1
Cerusita, PbCO ₃ . (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	3
Piromorfita, Pb ₅ (PO ₄) ₃ Cl (M), fundente, a menudo mezclado con clorargirita, se presenta con los colorados.	1
Yeso, CaSO ₄ ·2H ₂ O. (G)	1
Wulfenita, PbMoO ₄ . (M)	1

Real de la Maroma	
El total de minas registradas en el sitio fue de 20	
Mineral	Número de minas
Malaquita: $\text{Cu}(\text{OH})_2\text{-CuCO}_3$. (M)	3

Real de Matehuala (Cerro del Fraile)	
El total de minas registradas en el sitio fue de 14	
Mineral	Número de minas
<i>Argentita o acantita</i> , Ag_2S . (P)	2
<i>Galena</i> , PbS . (M)	12
<i>Pirita</i> , FeS_2 . (M)	4
<i>Br-Clorargirita</i> , $\text{Ag}(\text{Cl}, \text{Br})$. (P), constituyente de los <i>colorados</i> .	2
<i>Bromoargirita</i> , AgBr . (P), constituyente de los <i>colorados</i> .	2
<i>Litargirio, greta</i> , γPbO . (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	2
<i>Tenorita</i> CuO . (M)	1
<i>Anglesita</i> , PbSO_4 . (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	2
<i>Estibina</i> , Sb_2S_3 . (M)	1
<i>Calcosina</i> Cu_2S . (M)	1
<i>Cerusita</i> , PbCO_3 . (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	3
<i>Piromorfita</i> , $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$ (M), fundente, a menudo mezclado con <i>clorargirita</i> , se presenta con los <i>colorados</i> .	1
Malaquita: $\text{Cu}(\text{OH})_2\text{-CuCO}_3$. (M)	3

Adicionalmente operó el Mineral de San Bartolo, en la vertiente este de la Sierra, junto al río San Bartolo (Bartolomé), con las siguientes minas: Nuestra Señora de la Luz, mina plomosa, de la que en un ensaye, de 8 arrobas, sacaron seis onzas de plata con una y media arroba de liga (*litargirio*), es decir, presentaba minerales que podían fundirse sin gasto

de liga; lo que era muy importante, pues en 1779 la carga de liga, en San Luis Potosí, costaba 15 pesos (Velázquez, 1987). Adicionalmente funcionaban: la mina Cayetano Salinas que era plomosa; la mina Nicolás Sánchez, plomosa, que daba cinco onzas por carga, con ganancia de liga. En el sitio hay un crestón que sale de la tierra cinco varas, de más de treinta de largo y cinco de ancho.

El mineral de La Maroma, daba muy buenas leyes por patio y fuego: sus menas se constituyen fundamentalmente de metales negros: petlanque [constituido por *proustita* (Ag_2AsS_3 , rosicler claro), *miargirita* ($AgSbS_2$) y *pirargirita* (*antimoniuro de plata*, rosicler oscuro, Ag_3SbS_3)]; la *galena* (*sulfuro de plomo*, PbS); y plata sulfúrea (*argentita* o *acantita*, Ag_2S) (Del Río 1959), (Cabrera 1975).

La mineralogía de mena de Real de Catorce en el siglo XVIII se constituía fundamentalmente por: *plata nativa* (Ag), en la Mina del Padre Flores se encontró una veta de *plata nativa* que en el primer año de operación produjo 3 680 kg de plata pura sin más gasto que sacar el polvo en bateas; *plata cornea* (*clorargirita*, ceniza azul, *querargirita*, $AgCl$); *bromoargirita* ($AgBr$, ceniza azul); *colorados* que eran *óxidos de hierro* y *plata nativa* (Ag) y *colorados* constituidos por *óxidos de hierro* en composición con *plata nativa*, plata sulfúrea (*argentita* o *acantita*, Ag_2S) y plata agria prismática (*estefanita*, rosicler negro, plata negra, Ag_5SbS_4),

acompañadas de molibdeno, plomo, plomo amarillo (litargirio, *óxido de plomo*, PbO) y fosfato de plomo (plomo verde, *piromorfita*, $Pb_5Cl(PO_4)_3$). También presentaban plata asociada *esfalerita* o blenda $[(Zn, Fe) S]$ y *pirita* sobre matriz cuarzosa o de piedra caliza. En pocas ocasiones se hallaron metales negros: petanque [constituido por *proustita* (Ag_2AsS_3 , *sulfoarseniuro de plata*, plata roja oscura), *miargirita* ($AgSbS_2$) y *pirargirita* (*antimoniuro de plata*, plata roja clara, Ag_3SbS_3)]; y *galena* (*sulfuro de plomo*, PbS), principalmente en la Mina De San Antonio – La *galena* de Catorce contenía plata, oro, zinc, selenio y antimonio y cuando se fundía producía, al mezclarse con el carbón, dióxido de azufre y óxido de plomo. La *proustita* al ser fundida eliminaba totalmente el arsénico que contiene produciendo un olor aliáceo (de ajo), dejando sobre el carbón una aureola de trióxido de arsénico (Del Río y Fuentes, 1959) –. En las vetas de Catorce se presentaba el asbesto. La *estibnita* (sulfuro de antimonio, SbS) ocurría frecuentemente en Catorce, principalmente en las minas de Santa Ernestina, Santa Emilia y Santa Rita; mientras en La Mina de La Concepción se encontraba la *Descloizita* $[Pb(Zn, Cu) (OH) VO_4]$. Los minerales que formaban la matriz de las menas explotadas en Catorce se encontraban en cierto estado de descomposición, de tal forma que podía romperseles fácilmente, simplemente con el azadón, el pico y la barrena;

por lo tanto el consumo de pólvora era mucho menor que en Guanajuato y Zacatecas (Humboldt, 2004: 359).

Aparentemente a principios del siglo XIX cambió la composición de los minerales explotados en el Real de Catorce, como refiere Humboldt, es evidente que de 1778 a 1798 se explotaron “los yacimientos de las zonas superficiales, de oxidación, con metal en estado nativo (plata nativa y clorargirita)” tal es el caso de los pacos y colorados de Catorce” lo mismo ocurriría en buen número de minas, en sus primeras épocas” (Bargalló, 1966); posteriormente hicieron su aparición los minerales *negros*: piritosos y cobrizos, es posible, que las labores de beneficio, es decir los procesos industriales y por consiguiente el metabolismo industrial, las relaciones de frontera y los patrones de perturbación, hayan sufrido modificaciones exigidas por los cambios en las peculiaridades del mineral procesado, que por otro lado podía ser diferente de una mina a otra.

El producto anual de las minas de Catorce fue en 1803 de 92 toneladas de plata pura; equivalente al 16% de la plata mexicana producida (575 toneladas anuales).

En 1794 en Real de Catorce trabajaban 66 minas, siendo las más importantes “La Valenciana”, “Santa Eduwiges”, “Guadalupe”, “Concepción”, “Dolores Trompeta” y “Animas”. Lo que provocó que para 1795 la población del Real aumentara a 15 000 habitantes (Montejano y

Aguiñaga, 1974: 43). Dado que en la localidad se dificultaba el beneficio, por la escasez de agua, por esta razón se establecieron, a fines del siglo XVIII, las más de las haciendas en la Cañada de los Catorce, Laureles, Vanegas, Potrero, Cedral y Matehuala (Montejano y Aguiñaga, 1974: 173). Por esa época en el Real de Catorce existía una fundición con nueve hornos y muchas fundiciones pequeñas (zangarros); mientras en “Los Catorce” había dos haciendas de patio; en “El Potrero” cuatro del mismo tipo y cuatro zangarros; y en Cedral, la plaza de beneficio más importante, nueve Haciendas de beneficio por patio, cazo y once por fuego (Montejano y Aguiñaga, 1974: 174). La importancia del Cedral se reflejaba en su población que para 1795 era de más de 2000 almas, que se movían en el Asiento de Haciendas de beneficio de Cedral (Montejano y Aguiñaga, 1974: 63).

En 1780 Don Cristóbal Basave, a pregunta expresa realizada por el justicia mayor don José Antonio Troncoso, afirmó: “No sé a punto fijo el número de haciendas que hay en este Real [de Catorce], pero que las principales pasan de treinta, así de beneficio de azogue como de fuego” (Montejano y Aguiñaga, 1974: 34).

El padre Montejano (1974: 172) estableció que el producto de las minas de Real de Catorce en el periodo de 1773 a 1827, fue de 13 millones de marcos (2990 toneladas de plata). Aunque, como sucedía para el resto

del país, la ley de plata de las minas de Catorce era bastante baja: “San Agustín” 14 onzas/carga, “San Gerónima” 4 onzas/carga, “La Purísima” y “Santa Ana” 3.5 onzas/carga, las demás 1.5 a 2 onzas por carga, considerando que la riqueza media de los minerales mexicanos en la época virreinal era de 7.20 onzas/carga (Humboldt, 2004: 341), **se puede calcular que la cantidad de minerales extraídos y procesados en Catorce de 1773 a 1827 fue de aproximadamente 2 256 875,90 toneladas de mineral.**

En 1782 en el Real existían doce haciendas de beneficio por fundición y cazo (148 tahonas, 58 cazos); cuatro en Ojo de Agua (70 tahonas, 25 cazos); una en la Carbonera (24 tahonas, 13 cazos); en Cedral siete haciendas de beneficio por patio, cazo y fuego, que en 1800 aumentaron a catorce (48 tahonas, 22 cazos); tres en Vanegas (26 tahonas, 9 cazos); una en Biznaga (6 tahonas, 2 cazos); en Matehuala en 1785, veintiocho por beneficio de cazo y azogue, trece por fuego y fundición y nueve galemes de mano. (Palmer 2002: 84). Era mucho menos costoso construir haciendas cerca del Real debido a los costos del transporte, transportar una carga de mineral a San Luis Potosí costaba 4 pesos, en cambio a Matehuala importaba un peso.

Considerando los porcentajes de plata beneficiada en San Luis Potosí la plata se obtenía en la siguiente proporción:

Plata obtenida por amalgamación: 98.39%.

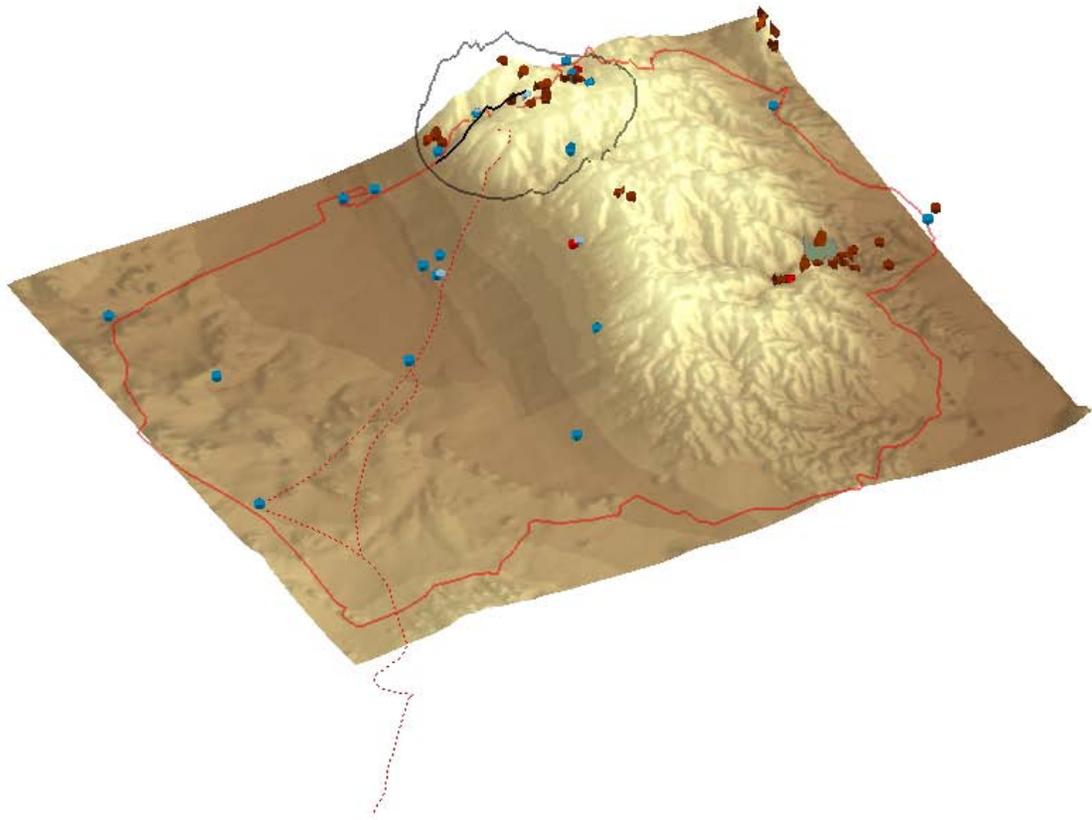
Plata obtenida por fundición 1.61%.

En los distritos mineros de Catorce y Matehuala se procesaron de 1773 a 1827:

a) 1 962 506,00 toneladas de mineral por amalgamación.

b) 31 910,67 toneladas de mineral por fundición.

Mediante investigación de archivo y fuentes bibliográficas, análisis de imágenes de satélite y verificación de campo se determinó la ubicación y se cartografiaron las diferentes instalaciones industriales que operaron en Wirikuta a fines del siglo XVIII y principios del XIX: ciento once minas; setenta y nueve haciendas de beneficio, con seiscientos cuarenta y cuatro tahonas y doscientos cincuenta y ocho cazos; siete haciendas ganaderas y agrícolas; dos sitios de engorda de ganado y tres centros de abastecimiento de madera y carbón y siete sitios de disposición final de residuos. Con estos elementos se construyó un sistema de información geográfica.



2.12 Reconstrucción de las conexiones básicas entre el sistema minero-metalúrgico y los paisajes del Distrito de Catorce

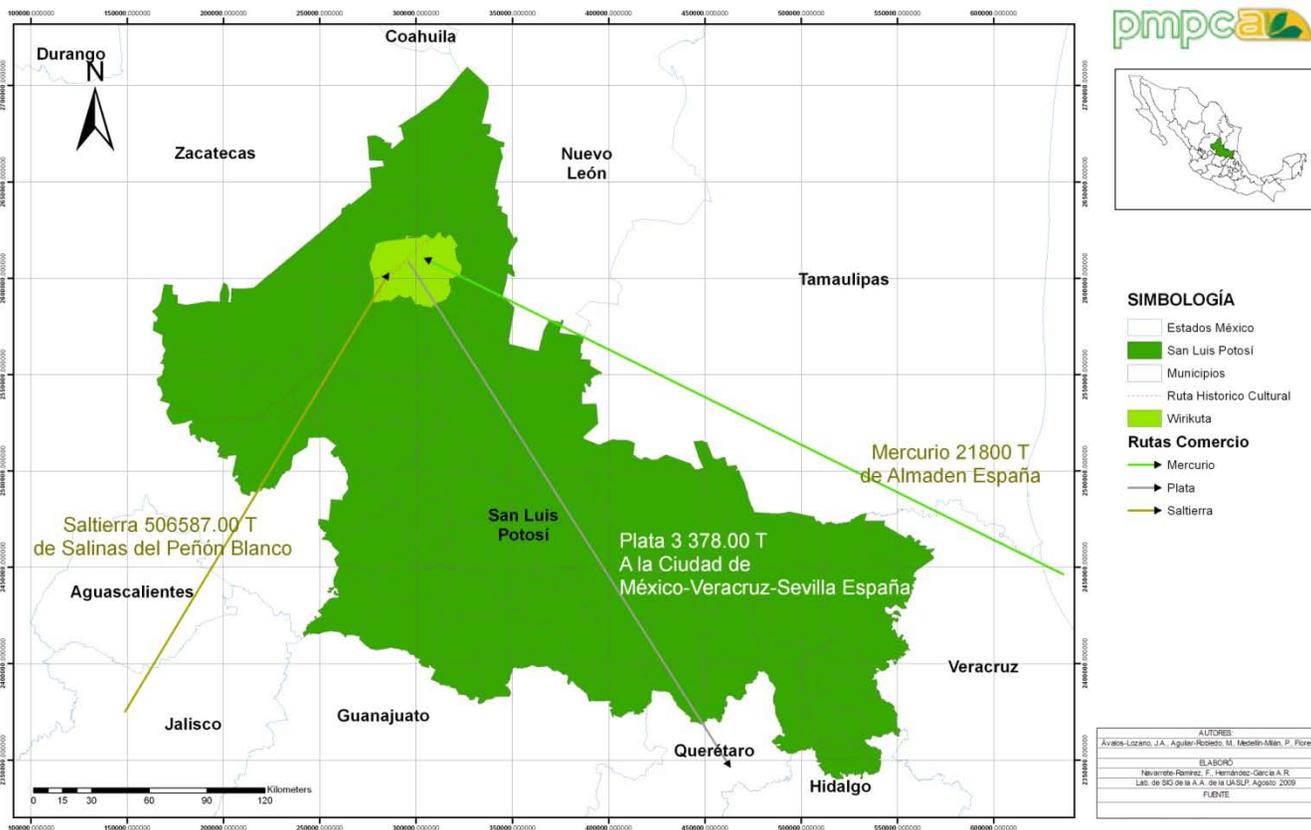
Los minerales de Real de Catorce y La Maroma se procesaban por cazo y patio, los de Matehuala y San Bartolo principalmente por fundición. Lo que exigía diversos insumos pero la nueva industria requería, además de los insumos directos, víveres para mineros y animales, agua, madera para construcción y combustible. De esta forma la minería favorecía el desarrollo de otras actividades económicas como la agricultura y el comercio. La fundación de un pueblo era la primera consecuencia del descubrimiento de una mina. Si el sitio no era apto para la actividad agrícola, los nuevos pobladores debían viajar largas distancias para conseguir el bastimento necesario para su subsistencia y la de las acémilas que utilizaban para el abatimiento del agua en la saca (extracción de minerales) y las labores de beneficio por mercurio, lo que provocaba el encarecimiento de los bienes necesarios para la subsistencia. El precio promedio de una fanega de maíz en 1803 variaba de la forma siguiente: en Salamanca, Guanajuato costaba catorce reales (1 peso y seis reales), en Querétaro dos pesos y medio y en San Luis Potosí cuatro pesos y medio (Humboldt, 2004: 252), no se menciona el costo que el maíz tenía en Real de Catorce pero se puede imaginar. Dado que la necesidad es madre de toda industria, el alto costo de los

alimentos importados despierta el ingenio, “Se empieza a labrar el suelo en las quebradas y pendientes de las montañas vecinas, y en todas las partes donde la peña está cubierta de mantillo. Se establecen Haciendas en las inmediaciones de las minas; la carestía de los víveres y el precio considerable en que la concurrencia de los compradores sostiene todos los productos de la agricultura, indemnizan al cultivador de las privaciones a que le expone la vida penosa de las montañas” (Humboldt, 2004: 238).

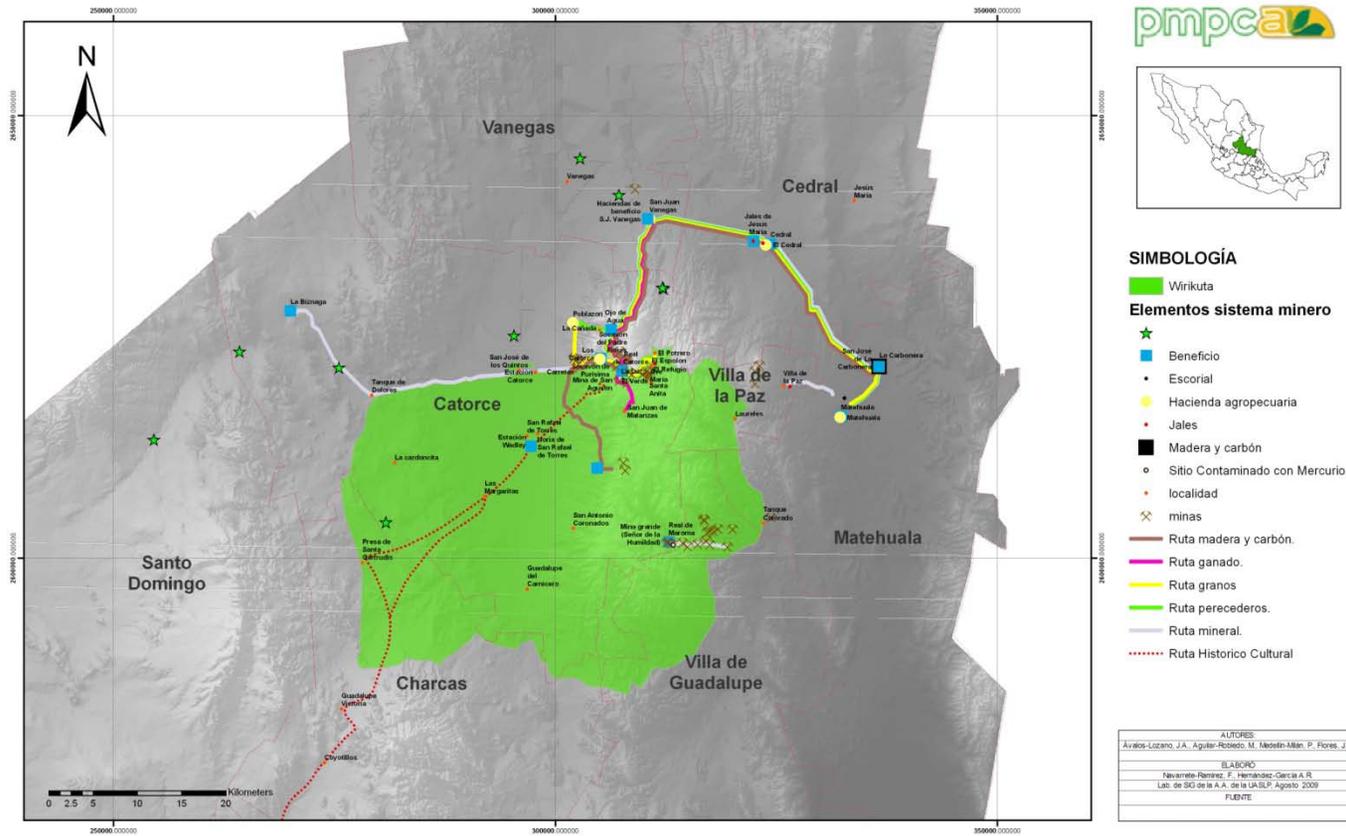
El encarecimiento de los insumos indispensables para la operación del sistema: alimentos, cueros, cebo de cabra, ixtle, pita, carbón vegetal, aguardiente, provocó pues el desarrollo de Haciendas en las inmediaciones (San Carlos, San José de las Trojes, Pastoriza, Tanque Colorado, Poblazón, Vanegas). Y la aplicación de tecnologías de producción apropiadas a un ambiente semidesértico como los qanats (galerías filtrantes) construidas en la Hacienda de Poblazón. Adicionalmente el descubrimiento de las Salinas de Peñón Blanco, situadas entre Zacatecas y san Luis Potosí, en 1561, y el inicio de su explotación que llegó a dar anualmente a la Real Hacienda 250 000,00 fanegas de sal – tierra, y todas se vendían a los patios de amalgamación, siendo – en 1803 – el precio de la fanega, en el sitio mismo, medio peso. (Montejano y Aguiñaga, 1974: 4).

A partir del análisis de fuentes primarias, interpretación de imágenes de satélite y verificación en campo se han determinado las principales rutas de comercio locales y nacionales.

RUTAS NACIONALES DE COMERCIO



RUTAS REGIONALES DE COMERCIO



En el periodo de producción de 1773 a 1827 en Real de Catorce aproximadamente Se consumieron los siguientes insumos para la amalgamación del mineral producido:

NaCl (sal común) 4% del peso total del mineral: 78 500l,24 toneladas.

Azogue (mercurio) 3 – 4 libras/marco: de 17 940 a 23 920 toneladas.

Magistral (FeCuS₂) 1 – 7 libras/libra de mercurio: de 17 940 a 167 440 toneladas.

Uno de los insumos más importantes y de gran interés para los propósitos de la presente investigación es el carbón, las haciendas de beneficio de La Nueva España dependieron todo el tiempo de este combustible. La fabricación de carbón se realizó en las carboneras de la región, la materia prima del carbón es la madera de mezquite y encino, que con relación a otras especies, presentan alta densidad y bajo contenido de humedad, en ocasiones se utilizaron los pinos para este propósito, aunque fue poco usado pues su poder calorífico es menor al del mezquite (Salazar, 2000: 217). Las carboneras vendían adicionalmente leña o rajas de leña para la fundición de afinación.

2.13 El impacto de la industria minero-metalúrgica sobre los paisajes del Altiplano Potosino, Nueva España, siglos XVIII y XIX

Durante mucho tiempo se especuló sobre el efecto que la industria minero-metalúrgica causó a los paisajes del Distrito Minero de Catorce, en el espacio que comprende los siglos XVIII y XIX. Sin mayores pruebas se acepta, que los ecosistemas sufrieron una terrible degradación que afectó a todo el distrito, provocando la transformación de formaciones méxicas de pastizales en matorrales micrófilos de Larrea y Flourenacia. Esta transformación, se afirma, fue el preámbulo de los problemas ambientales que actualmente enfrenta nuestra sociedad: contaminación, deforestación, pérdida de la biodiversidad, posiblemente, durante este periodo muchas de los riegos que ahora nos amenazan fueron creados.

Se ha señalado que el periodo seleccionado para el estudio, que se presenta, abarca de 1772 a 1827; es cierto que este es un breve espacio de tiempo, comparado con la escala temporal de los procesos ecológicos, pero este periodo se encuentra perfectamente justificado por las razones siguientes.

Retomemos la descripción que H. G. Ward (1995: 587), hace de la Sierra de Catorce en 1826:

“No se ve ni un solo árbol, ni una sola hoja de hierba en las cercanías; y sin embargo hace cincuenta años todo el distrito estaba cubierto de bosques (...) Bosques enteros se quemaron para desmontar el terreno, y la madera más grande que se requiere para las minas se lleva desde una distancia de veintidós leguas [92.18 Km]”

Sólo 54 años antes, en 1779, el comisionado virreinal Silvestre López Portillo había, aparentemente, descrito el mismo asiento de minas, en esta descripción se basan las comparaciones realizadas por Ward y otros muchos autores posteriores:

“[Había] maderas de todos tamaño, en unas partes de pino y en otras de encinas (...) por lo que es muy abundante en leñas (...) Siguiendo en su descenso al río encontramos un monte impenetrable de encinas y pinos de tan imponderable corpulencia, (...) que llegan a equipararse con los montes” (Velázquez, 1987).

González-Costilla, *et al.* (2007: 3) refiriéndose al distrito de Catorce afirman:

“La deforestación, el sobrepastoreo y el crecimiento de la población, vinculados a este auge minero, trajeron consigo una drástica modificación del paisaje vegetal de la Sierra,

especialmente en las montañas que rodean el pueblo del Real de Catorce”.

La simple lectura de las descripciones, que anteceden, nos compele hacia una fácil conclusión, los procesos industriales minero-metalúrgicos, propiamente dichos; desarrollados en Catorce, sumados a las operaciones de abastecimiento; construcción; mantenimiento de la infraestructura; y eliminación de residuos; en sólo cincuenta y cuatro años, generaron un régimen de disturbio que modificó la composición, estructura y funcionamiento del paisaje, provocando en algunas áreas la pérdida completa del suelo. Esta suposición, como muchas realizadas en las ciencias ambientales, se basa en “la vieja y familiar falacia” (Cronon, 2003: 9) *Cum hoc ergo propter hoc* (juntamente con esto, por consiguiente provocado por esto). Cuando encontramos en los archivos documentos que describen inundaciones, desertización y cambios significativos en el clima; en el mismo periodo en el que se iniciaron las actividades industriales en el sitio, nos sentimos impelidos a concluir que los disturbios antropógenos provocaron los cambios en la dinámica ecológica. Pero nada en la ecología resulta tan sencillo. Claro, el régimen de disturbio provocado por las actividades humanas puede ser muy importante y después de todo, los cambios en la composición y estructura de los ecosistemas responden a variables impulsoras, pues *De*

nihilo nihil fil (de la nada, nada ha sido), pero las de origen humano no son las únicas fuerzas que se mueven en el mundo.

Para este caso, en particular, es posible que las fuentes no sean tan confiables como se ha pretendido, por ejemplo, González-Costilla *et al.* (2007: 3) han señalado que:

“Las reseñas geohistóricas de Montejano (1993) permiten conocer con certeza cómo era la vegetación circundante. Así, antes del comienzo de la explotación minera, en el último cuarto del siglo XVIII, la Sierra estaba casi deshabitada y cubierta de frondosos bosques, los cuales abastecieron de forma (...) abundante a las haciendas y minas (...) Transcurridos 50 años, alrededor de 1825, no quedaba ni un árbol ni matorral”

Opinion basada en la descripción de Henry Ward que se refería a la parte noroeste del macizo montañoso y que se aplicó indiscriminadamente a todo el distrito, aunque Ward no conoció la vertiente este de la Sierra, que por encontrarse en la adiabática húmeda resulta ser la más fértil. El análisis detallado del libro de Montejano sólo permite encontrar menciones aisladas y tan pobres que imposibilitan toda inferencia sobre cómo era la vegetación de la Sierra, al momento del descubrimiento; claro que existen fuentes como los informes de Silvestre López Portillo del año 1779 (Velázquez 1987: 395, 481, 489), las del mismo Ward sobre la

Llanura de San Cristóbal, realizadas en 1826 y las de Robert Phillips de 1822, desgraciadamente no habían sido analizadas con la profundidad necesaria. A partir de las descripciones de H.G. Ward (1995) y de R. Phillips (1973). Fue posible reconstruir una fracción de los paisajes de Wirikuta a principios del siglo XIX.

En este estudio se presentan evidencias documentales que sugieren la posibilidad de que al efecto de las actividades industriales se sobrepuso otro, de índole diferente, provocado por una serie de fenómenos climáticos (ciclos alternados de sequía y fuertes precipitaciones acompañadas por violentas riadas). Por consiguiente, no es posible identificar directamente la relación entre el funcionamiento del sistema minero-metalúrgico y los perniciosos procesos descritos por Ward sin entender el *metabolismo industrial* del sistema, también dilucidado en otra parte de esta disertación, y definido, para los propósitos de la presente investigación, como: el conjunto integrado y organizado de procesos físicos y químicos que efectuaron constantemente los sistemas industriales, en el periodo y área de estudio, para convertir, mediante el trabajo, materias primas y energía en productos terminados y residuos.

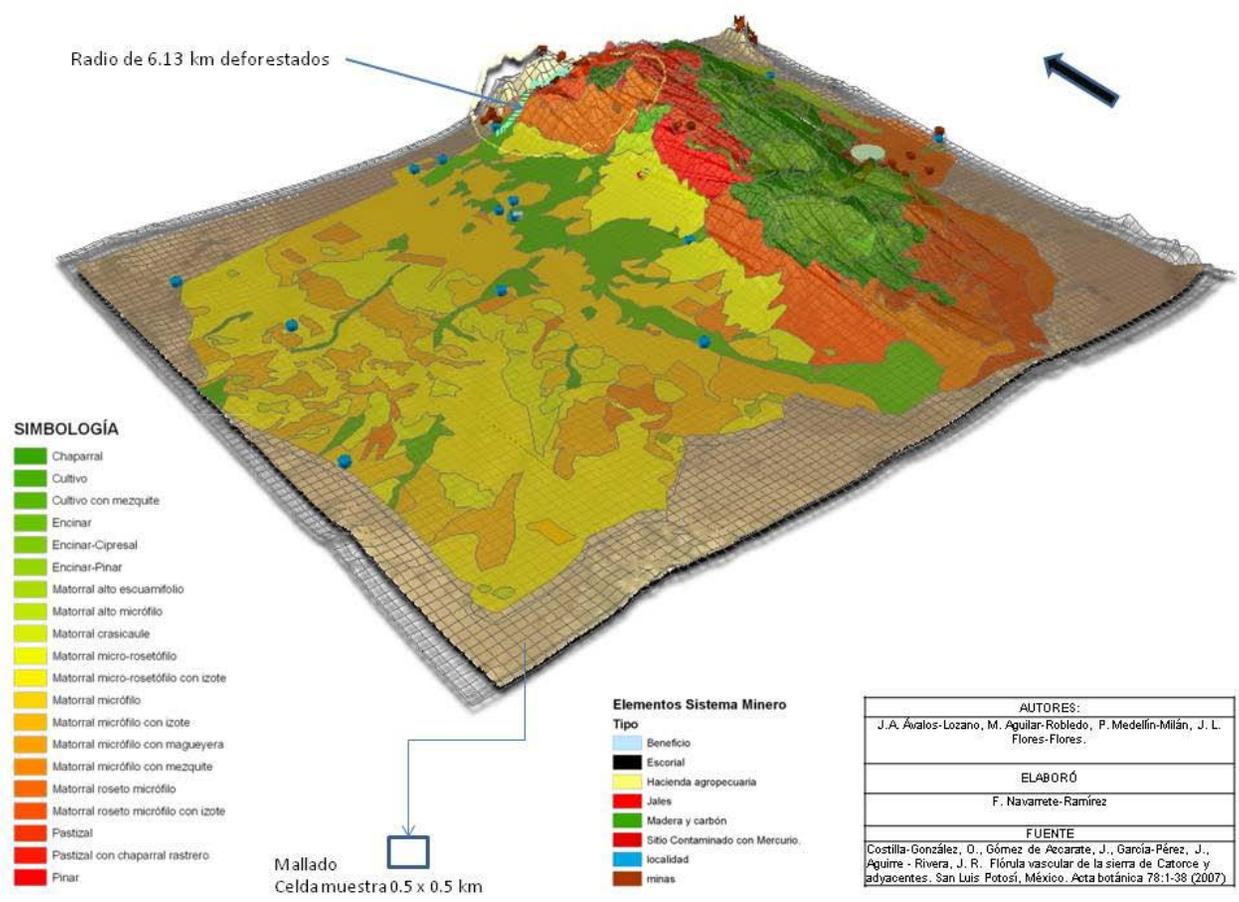
En este punto, es preciso reconocer, que las fuentes documentales del fenómeno son bastas, aunque por la complejidad de las interacciones, apenas se empiezan a entender las diferentes contribuciones de las

actividades humanas y los factores ecológicos que determinaron la conformación de los paisajes de Catorce; y es precisamente por estas dos razones, por la que resulta importante estudiar el caso, pues la manifestación de un cambio ecológico, de gran magnitud, y perfectamente documentado, en un periodo tan corto de tiempo, nos permitió definir, con cierta exactitud, los factores ecológicos involucrados, facilitando una mejor comprensión, a un problema tan complejo.

A partir de la dilucidación fina del metabolismo industrial de Catorce ha sido posible determinar la influencia del sistema industrial minero-metalúrgico en la formación de los paisajes del sitio.

Se desmontaron 118.02 Km² de bosques para las siguientes actividades: fabricación del carbón vegetal utilizado en la fundición, 85.39 Km²; consumo de leña en 55 haciendas de beneficio, 10.66 Km²; consumo familiar de leña (412 Kg al mes, 10 000 familias), 21.97 Km². Los cálculos fueron realizados utilizando los datos de producción de plata obtenida por fundición; el consumo de carbón por carga reportados por Garcés y Eguía (1873). Considerando los rendimientos de la madera y su peso seco (830 Kg/m³ de acuerdo a los utilizados por Salazar, 2000: 338) y considerando la producción de una hectárea de bosque de 25 años con suelo de mala calidad. En este ejercicio no se incluye la madera requerida para la construcción de ademes, artefactos y pilotes, porque es probable que

desde muy temprano fuera traída desde distancias superiores a los 100 km, como afirma Ward (1995). Al realizar las verificaciones en el campo y en las imágenes de satélite se observó que el área desmontada calculada coincide, claramente, con aquella que aún actualmente presenta la pérdida del potencial productivo por un proceso masivo de erosión, lo que provocó un proceso de desertización. En la siguiente imagen se pueden apreciar las relaciones entre las formaciones vegetales los elementos del sistema minero-metalúrgico y las áreas desertizadas. El impacto en las comunidades de bosques de pino y encino provocado por las actividades industriales ha sido ampliamente documentado Manuel Mier y Terán (1827; citado por Montejano y Aguiñaga, 1974) el cual escribió que de un total de 8 000 habitantes del Real de Catorce 5 750 se dedicaban a acarrear leña y carbón que se vendía en la ciudad o en las haciendas de platas.



- SIMBOLOGÍA**
- Chaparral
 - Cultivo
 - Cultivo con mezquite
 - Encinar
 - Encinar-Cipresal
 - Encinar-Pinar
 - Matorral alto escuamfolio
 - Matorral alto micrófilo
 - Matorral crasicaule
 - Matorral micro-rosetófilo
 - Matorral micro-rosetófilo con izote
 - Matorral micrófilo
 - Matorral micrófilo con izote
 - Matorral micrófilo con magueyera
 - Matorral micrófilo con mezquite
 - Matorral roseto micrófilo
 - Matorral roseto micrófilo con izote
 - Pastizal
 - Pastizal con chaparral rastroso
 - Pinar

- Elementos Sistema Minero**
- Tipo
- Beneficio
 - Escorial
 - Hacienda agropecuaria
 - Jales
 - Madera y carbón
 - Sito Contaminado con Mercurio
 - localidad
 - minas

AUTORES:
J.A. Avalos-Lozano, M. Aguilar-Robledo, P. Medellín-Milán, J. L. Flores-Flores.
ELABORÓ
F. Navarrete-Ramírez
FUENTE
Costilla-González, O., Gómez de Acarate, J., García-Pérez, J., Aguirre - Rivera, J. R. Flórua vascular de la sierra de Catorce y adyacentes. San Luis Potosí, México. Acta botánica 78:1-38 (2007)

Se determinó a partir de la descripción de los procesos de saca y beneficio (bestias mulares utilizadas, en el patio, en el fondón y en la operación de los malacates) que se utilizaban anualmente 10 000 bestias de trabajo (que consumían en el mismo periodo, 14 675 toneladas de maíz); se empleaban anualmente 8 000 cueros de novillo, 57,5 toneladas de cebo que se obtenían de 100 000 cabras. Se sacrificaban más de 4 000 carneros y 431 reses para consumo humano. Las manadas que abastecía a la región requerían 5 282,5 Km², sin embargo, por razones de trabajo la mayoría se encontraban estabuladas, una prueba de la afirmación anterior es que entre 1777 y 1779 se registraron en Charcas 118 hacendados de ganado mayor y menor con fierro para herrar.

A partir de los cálculos obtenidos de los balances de materia y energía se determinó que La plata en Real de Catorce se obtenía de diferentes beneficios en la siguiente proporción: por amalgamación 98,39%, y por fundición 1,61%. Por lo tanto, de 1778 a 1826, se procesaron más de 2 220 540 (dos millones doscientos veinte mil quinientas cuarenta) toneladas por amalgamación y más de 36 335 (treinta y seis mil trescientas treinta y cinco) toneladas por fundición. (Elhuyar, 1825: 90; Ward, 1995: 338, 375, 601; Velázquez, 2004: 360; Velázquez, 1987: 392-531). Considerando una ley promedio de 2.40 onzas por quintal (Garcés y

Eguía, 1873: 108; Humboldt, 2004: 341, 372). Se liberaron a los ecosistemas dos millones de toneladas de jales conteniendo plomo, arsénico, antimonio y plata; 506 587 toneladas de sal común; de 21 000 a 151 712 toneladas de sulfato de cobre; y 5 000 toneladas de mercurio, todos estos contaminantes en diversas matrices aún se encuentran en la región.

Se cuenta con cuatro fuentes documentales esenciales que describen los paisajes del sitio en 1773; 1775; 1822; 1826. Lo que ha permitido reconstruirlos, en un Sistema de Información Geográfica. Francisco Bruno de Ureña (1779, en Velásquez, Colección de Documentos para la Historia de San Luis Potosí, 1987), Agrimensor titulado, recorrió, en 1773, la planicie situada al Oeste de la Sierra de Catorce (Llanura de San Cristóbal) describiendo la vegetación, ha a partir de los nombres comunes utilizados en el documento ha sido posible reconstruir el tipo de formaciones: guapilla, ocotillo, parraleña, romerillo, sienesilla, azafran cimarrón, hoja de sén, palma, nopal arrastrado, nopal negrillo, lechuguilla, celidonia, collonoxtle, popoton, duraznillo, yerba de venado, grma, dictamo y cola de zorro; de los que se infiere la presencia de formaciones de matorral micrófilo en el sitio, llanura de San Cristóbal, con presencia de *Flourensia cernua* DC. Y *Larrea tridentata*.

Silvestre Lopez Portillo describe, en 1779, los bosques de la vertiente este de la Sierra hasta el piedemonte:

“Hay maderas de todos tamaños, en unas partes de pinos, y en otras de encinas, y otras varias calidades, por lo que es muy abundante en leñas, y en mesquites para carbón, que aunque no estan en la misma Sierra, los hay en sus faldas, especialmente en la Hacienda, que laman de la Carbonera” (Velázquez, 1987: 481)

Posteriormente hace lo mismo para la oeste:

“[Había] maderas de todos tamaño, en unas partes de pino y en otras de encinas (...) por lo que es muy abundante en leñas (...) Siguiendo en su descenso al río encontramos un monte impenetrable de encinas y pinos de tan imponderable corpulencia, (...) que llegan a equipararse con los montes” (Velázquez 1987).

Ward describe la parte norte de la misma llanura de San Cristóbal describiendo una arbusteda micrófila dominada “por un arbusto pequeño (...) que se parecía al boj en la forma y color de su hoja, que no puede ser otra que la gobernadora, y de mezquites y palmas enanas, con un fruto no muy diferente al dátil” (Ward 1995: 607).

(Bustamante, 2003: 58) escribió en abril de 1824:

“Ya ha comenzado a andar con (...) éxito la máquina de vapor (...) en el real de minas del Catorce, en la de los señores Obregones. Allí se ha encontrado una hierba llamada la gobernadora que abunda en toda la Sierra, la cual es muy resinosa, y da una flama muy activa”.

En la construcción del Plan de Manejo de Wirikuta al documentar, mediante la realización de una serie de entrevistas, los procesos que para la recuperación de su herencia cultural ancestral que realizan actualmente los *wixaritari*; los representantes del pueblo *wixarika*: El Profesor Jesús Lara Chivarra (*Yuka+ye*); el *Mara'akame* José Guadalupe Serio de Cruz (*+/+*); el *Mara'akame* Luis Marín Chon de la Cruz (*Muwieli*); y el *Kawitero* Julio Medina de la Rosa (*Muwieli Ni+kame*) coincidieron en afirmar que los sus abuelos les dijeron que los *wixaritari* han cazado al *hikuri* (peyote) en *Wirikuta* desde antes de la conquista. Lázaro de Arregui (1980: 107) refiere en 1621 que los “pueblos indios” de la Sierra de Jalisco (zona *wixarika*) consumían peyote. Los *wixaritari* llaman a la gobernadora: “la nana del *hikuri*”. Organismo asociado necesariamente al matorral subinerme de *Larrea tridentata* con *Flouencia cernua*.

3. La industria mexicana de producción de plata, en la segunda mitad del siglo XVIII y primera mitad del siglo XIX

No puede negarse que: “Entre más exhaustiva es una investigación más objetiva es la conclusión” Canudas (2005: 21). Bajo este criterio las conclusiones de esta parte del estudio pueden considerarse muy objetivas, si se reflexiona sobre los siguientes elementos:

- a) Humboldt (2004: 333) considera, que, de acuerdo a sus características geográficas y geológicas, las minas mexicanas se pueden clasificar en ocho grupos: Central, Durango y Sonora, Chihuahua, de la Vizcaína, de Zimapán, de la Nueva Galicia, de Taxco y de Oaxaca; en esta sección se consideraron las diputaciones de minería más relevantes de los primeros siete grupos, Oaxaca fue descartada debido a que su producción era prácticamente irrelevante.
- b) El mismo autor (Humboldt 2004: 324) señaló que en La Nueva España, en 1803, el total de distritos mineros era de treinta y siete, en el presente estudio se consideraron catorce (el 38%), incluyendo a las diez diputaciones de minería, más importantes del reino, según la cuantía de plata que se sacaba de ellas; de un total de trece que Humboldt señaló como relevantes. Es justo aclarar, que en estos diez distritos: Guanajuato, Catorce, Zacatecas,

Pachuca, Bolaños, Guarisamey, Sombrerete, Taxco, Batopilas y Zimapán (Humboldt 2004: 332), se encontraban las mejores minas de la Nueva España; adicionalmente se incluyeron: Tlalpujahuá, Zacualpan, Sultepec y Zumpango del Río, por su importancia histórica.

- c) Guanajuato, Catorce y Zacatecas fueron los distritos de mayor producción, del grupo de minas denominadas “centrales” por Humboldt (2004: 334); mientras que el distrito de Pachuca, que incluye a los reales de Pachuca y Real del Monte, lo fue del grupo de la Vizcaína. Las minas de los distritos de Guanajuato, Catorce, Zacatecas y Pachuca produjeron, en 1803, 1 420 000 marcos, equivalentes al 57% de la producción total de plata mexicana; y al 38% de todo el metal extraído ese año en el globo entero; si a este porcentaje se suma la producción de las diputaciones de Taxco, Zacualpan, Bolaños y Zimapán, asientos de minas considerados en el presente documento, el porcentaje se eleva al 79% de la producción nacional, y al 52.7% de la mundial. Porcentaje muy representativo de la producción de la industria, no se incluye en esta cuenta, aunque fueron incorporados en el estudio, a los distritos de Guarisamey (que incluye a los entonces reales, después distritos, de: San Dimas, San José Tayoltita, Guarisamey

y Gavilanes), y Batopilas, debido a que Humboldt (2004: 335) consideró que los datos de su producción, cercana a los 350 000 marcos, proporcionados por las autoridades virreinales, eran “dudosos”. Sin embargo, todos los autores de la época coinciden en que estos dos distritos eran importantísimos; menciona Gamboa en 1761 (1874: 510): “Batopilas. Minas de plata las más ricas, que se han labrado en el Reino, y no se oirán mejores en el mundo; pues se ven piedras con 3 partes de las 4 de plata, pero de suma dureza por el pedernal, que guarnece sus vetas, que sólo con pólvora se trabajan, están corrientes”, aunque Ramírez (1884: 380-381) apunta que la matriz más común no era pedernal sino calcita (espatocalizo) y dolomita (bruno-espatocalizo). El mismo Ramírez (1884: 380-381) afirma que en 1884 Batopilas producía 10 000 pesos fuertes diarios (considerando 6 días hábiles por 52 semanas, son 367 058 marcos de plata anuales). Con relación al distrito de Guarisamey, refiere Ramírez (1884: 410): “Los minerales de San Dimas, de Guarisamey y de Gavilanes, influyeron de manera notable en la producción metálica que tanto llamó la atención a principios de siglo [XIX], pues los dos primeros producían de 250 a 300 000 pesos mensuales, y el último, por si sólo llegaba a esta cantidad”. Humboldt (2004: CDXLIII) establece que 8.5 pesos

mexicanos equivalían a un marco de plata, entonces 500 000 pesos fuertes eran 58 823,52 marcos mensuales y 705 882,35 marcos anuales sólo para el distrito de Guarisamey. Por consiguiente, Humboldt tenía razón, la producción anual de plata de Guarisamey y Batopilas eran muy superior a 350 000 marcos y posiblemente rebasaba el millón de marcos.

- d) El barón de Humboldt (2004: 324-325) afirmó que en la Nueva España existían cerca de quinientos reales y realitos, y que probablemente estos quinientos reales comprendían tres mil minas, que explotaban cuatro o cinco mil vetas; pues bien, utilizando un marco metodológico, en el que se han incorporado herramientas extraídas de la ingeniería de procesos, de la química ambiental, de la geografía histórica y de la historia económica se ha conseguido determinar, el *metabolismo industrial* de las principales empresas minero-metalúrgicas que operaron en las diputaciones de minería de: Guanajuato, Catorce, Zacatecas, Pachuca, Bolaños, Guarisamey, Sombrerete, Taxco, Batopilas, Zimapán, Zacualpan, Sultepec, Tlalpujahuá y Zumpango del Río, durante la segunda mitad del siglo XVIII y la primera del XIX. A tal efecto, se han determinado, en forma exhaustiva, las características de las vetas de los catorce distritos mencionados incluyendo: el tipo, volumen y

características mineralógicas de las menas y gangas extraídas de las 817 minas más importantes del país; éstas, aunque apenas representaban el 27% del total de minas en explotación, según Velázquez, Castillo y Rule (citados por Canudas-Sandoval 2005: 256), produjeron más de noventa de cada cien marcos acuñados en la Nueva España, entre 1790 y 1810.

3.1 El espacio minero del Distrito de Guanajuato

3.1.1 Menas y gangas en el Distrito de Guanajuato

Mineral de Guanajuato	
El total de minas registradas en el sitio fue de 39	
Mineral	Número de minas
Plata nativa (P)	4
<i>Argentita</i> o <i>acantita</i> , Ag ₂ S. (P)	16
<i>Galena</i> , PbS. (M)	13
<i>Aguilarita</i> , β-Ag ₄ SeS. (P)	1
<i>Naumannita</i> , Ag ₂ S. (P)	1
<i>Esfalerita</i> , (Zn, Fe)S. (M)	2
<i>Calcopirita</i> , CuFeS ₂ . (M)	3
<i>Marcasita</i> , FeS ₂ . (M)	5
<i>Pirargirita</i> , Ag ₃ SbS ₃ . (P)	9
<i>Proustita</i> , Ag ₃ AsS ₃ . (P)	5
<i>Estefanita</i> , Ag ₅ SbS ₄ . (P)	4
<i>Polibasita</i> , (Ag, Cu) ₁₆ (As, Sb) ₂ S ₁₁ . (P)	2
<i>Clorargirita</i> , AgCl. (P), constituyente de los <i>colorados</i> . Muy abundante.	2
<i>Br-Clorargirita</i> , Ag(Cl, Br). (P), constituyente de los <i>colorados</i> .	2
<i>Bromoargirita</i> , AgBr. (P), constituyente de los <i>colorados</i> .	4
Fluorita, CaF ₂ . (G) fundente.	3
<i>Dolomita</i> (Ca, Mg)CO ₃ . (G)	1

Mineral de Guanajuato	
El total de minas registradas en el sitio fue de 39	
Mineral	Número de minas
Cinabrio, HgS (M)	2

Mineral de San Nicolás	
El total de minas registradas en el sitio fue de 1	
Mineral	Número de minas
Cinabrio, HgS (M)	2

Veta Madre	
El total de minas registradas en el sitio fue de 9	
Mineral	Número de minas
<i>Argentita o acantita</i> , Ag ₂ S. (P)	2
<i>Galena</i> , PbS. (M)	2
<i>Esfalerita</i> , (Zn, Fe)S. (M)	1
<i>Marcasita</i> , FeS ₂ . (M)	1
<i>Pirargirita</i> , Ag ₃ SbS ₃ . (P)	1
<i>Polibasita</i> , (Ag, Cu) ₁₆ (As, Sb) ₂ S ₁₁ . (P)	4
<i>Clorargirita</i> , AgCl. (P), constituyente de los <i>colorados</i> . Muy abundante.	1
<i>Br-Clorargirita</i> , Ag(Cl, Br). (P), constituyente de los <i>colorados</i> .	1
Fluorita, CaF ₂ . (G) fundente.	1

Mineral El Cedro	
El total de minas registradas en el sitio fue de 3	
Mineral	Número de minas
<i>Calcopirita</i> , CuFeS ₂ . (M)	3
<i>Tetraedrita</i> (Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃ . (M)	1

Mineral del Cubo	
El total de minas registradas en el sitio fue de 12	

Mineral	Número de minas
<i>Calcopirita</i> , CuFeS ₂ . (M)	3
<i>Pirita</i> , FeS ₂ . (M)	12
<i>Proustita</i> , Ag ₃ AsS ₃ . (P)	7
<i>Polibasita</i> , (Ag, Cu) ₁₆ (As, Sb)2S ₁₁ . (P)	2
<i>Clorargirita</i> , AgCl. (P), constituyente de los colorados. Muy abundante.	2
<i>Br-Clorargirita</i> , Ag(Cl, Br). (P), constituyente de los colorados.	2
<i>Bromoargirita</i> , AgBr. (P), constituyente de los colorados.	4
<i>Calcita</i> , CaCO ₃ . (G)	1
<i>Dolomita</i> (Ca, Mg)CO ₃ . (G)	1
<i>Cuarzo</i> , SiO ₂ . (G)	12

Mineral San Bernabé, El Nayal	
El total de minas registradas en el sitio fue de 2	
Mineral	Número de minas
<i>Naumannita</i> , Ag ₂ S. (P)	1
<i>Pirargirita</i> , Ag ₃ SbS ₃ . (P)	1

Mineral de Rayas	
El total de minas registradas en el sitio fue de 2	
Mineral	Número de minas
<i>Argentita</i> o <i>acantita</i> , Ag ₂ S. (P)	1
<i>Galena</i> , PbS. (M)	1
<i>Aguilarita</i> , β-Ag ₄ SeS. (P)	1
<i>Calcopirita</i> , CuFeS ₂ . (M)	1
<i>Estefanita</i> , Ag ₅ SbS ₄ . (P)	1
<i>Br-Clorargirita</i> , Ag(Cl, Br). (P), constituyente de los colorados. (P)	1
<i>Tetraedrita</i> (Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	1
<i>Dolomita</i> , (Ca, Mg)CO ₃ . (G)	1

Mineral de Rayas	
El total de minas registradas en el sitio fue de 2	
Mineral	Número de minas
Ankerita, Ca(Fe ⁺² , Mg, Mn)(CO ₃) ₂ . (M)	1

3.1.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue en el Distrito de Guanajuato

Los minerales en Guanajuato fundamentalmente eran de patio.

3.2 El espacio minero del Distrito de Pachuca

3.2.1 Menas y gangas en el Real de Pachuca, Hidalgo

Real de Pachuca	
El total de minas registradas en el sitio fue de 53	
Mineral	Número de minas
Plata nativa (P)	17
Argentita o acantita, Ag ₂ S. (P)	42
Galena, PbS. (M)	3
Esfalerita, (Zn, Fe)S. (M)	3
Calcopirita, CuFeS ₂ . (M)	8
Pirargirita, Ag ₃ SbS ₃ . (P)	17
Polibasita, (Ag, Cu) ₁₆ (As, Sb) ₂ S ₁₁ . (P)	2
Clorargirita, AgCl. (P), constituyente de los colorados. Muy abundante.	2
Br-Clorargirita, Ag(Cl, Br). (P), constituyente de los colorados.	2
Bromoargirita, AgBr. (P), constituyente de los colorados.	4
Fluorita, CaF ₂ . (G) fundente.	3
Hematites Fe ₂ O ₃ . (M) fundente.	7
Rodocrosita MnCO ₃ . (G)	5
Calcita, CaCO ₃ . (G)	7
Dolomita (Ca, Mg)CO ₃ . (G)	1

Real de Pachuca	
El total de minas registradas en el sitio fue de 53	
Mineral	Número de minas
Cuarzo, SiO ₂ . (G)	1
Martita, Fe ₂ O ₃ . (M)	1
Piromorfita, Pb ₅ (PO ₄) ₃ Cl. (M) fundente, derivado de la oxidación de la Galena. (M)	2
Vanadinita, Pb ₅ (VO ₄)Cl. (M) producto de la oxidación de la galena. (M)	2
Malaquita: Cu(OH) ₂ -CuCO ₃ (M)	4

3.2.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue en el Real de Pachuca, Hidalgo

A partir de la interesante reseña de Burkart (1858; citado por Ramírez, 1884: 465) se ha podido determinar la producción de plata de las minas de Pachuca hasta 1849, que era de patio fundamentalmente.

En el siglo XVII.....	\$40 000 000,00
En el siglo XIII la del Encino.....	\$ 5 400 000,00
En el siglo XVIII el resto de las minas.....	\$ 1 400 000,00
En el siglo XIX, antes de 1849 de todas las minas.....	\$ 250 000,00
Total en el periodo.....	\$47 050 000,00

3.2.3 Menas y gangas en el Real del Monte, Hidalgo

Real del Monte	
El total de minas registradas en el sitio fue de 39	
Mineral	Número de minas
Plata nativa (P)	17

Real del Monte	
El total de minas registradas en el sitio fue de 39	
Mineral	Número de minas
<i>Argentita o acantita, Ag₂S. (P)</i>	39
<i>Galena, PbS. (M)</i>	18
<i>Esfalerita, (Zn, Fe)S. (M)</i>	8
<i>Polibasita, (Ag, Cu)₁₆(As, Sb)₂S₁₁. (P)</i>	3
<i>Hematites Fe₂O₃. (M) fundente.</i>	8
<i>Rodocrosita MnCO₃. (G)</i>	13
<i>Siderita, Fe²⁺CO₃. (M)</i>	2
<i>Calcita, CaCO₃. (G)</i>	3
<i>Cuarzo, SiO₂. (G)</i>	10

3.2.4 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue en el Real del Monte, Hidalgo

Las minas de Real del Monte fueron descubiertas por Alfonso Pérez de Zamora quien las registró ante las autoridades en 1552 (Anonimo 2008: 2). Estas minas han producido desde su fundación y hasta el 2008 462 años), 40,000 t de plata y 231 t de oro, en 462 años, lo que representa 16% de la producción nacional de plata y 6 % de la producción mundial (Anonimo, 2008: 2), sus minerales eran procesados principalmente por amalgamación.

A partir de la interesante reseña de Burkart (1858; citado por Ramírez, 1884: 465) se ha logrado determinar la producción de plata de las minas de Real del Monte hasta 1849.

En los años de 1726 y 1727.....	\$ 4 500 000,00
Con el cuele del Socavón antes de 1762.....	\$ 8 000 000,00
De 1762 hasta la muerte del conde de Regla en 1781....	\$ 12 500 000,00
De 1781 a 1794.....	\$ 600 000,00
De 1795 a 1801.....	\$ 6 000 000,00
De 1802 a 1809.....	\$ 500 000,00
De 1810 a 1819.....	\$ 152 000,00
De 1824 a fin de abril de 1849.....	\$ 11 087 500,00
Total del periodo.....	\$143 127 000,00

3.3 El espacio minero en el Distrito de Zacatecas

3.3.1 Menas y gangas en el Distrito de Zacatecas

Mineral Veta Grande	
El total de minas registradas en el sitio fue de 11	
Mineral	Número de minas
Plata nativa (P)	2
Argentita o acantita, Ag ₂ S. (P)	5
Galena, PbS. (M)	5
Stromeyerita, AgCuS. (P)	2
Esfalerita, (Zn, Fe)S. (M)	2
Calcopirita, CuFeS ₂ . (M)	1
Pirita, FeS ₂ . (M)	4
Marcasita, FeS ₂ . (M)	3
Pirargirita, Ag ₃ SbS ₃ . (P)	5

Mineral Veta Grande	
El total de minas registradas en el sitio fue de 11	
Mineral	Número de minas
<i>Estefanita</i> , Ag ₅ SbS ₄ . (P)	0
<i>Polibasita</i> , (Ag, Cu) ₁₆ (As, Sb) ₂ S ₁₁ . (P)	1
<i>Clorargirita</i> , AgCl. (P), constituyente de los <i>colorados</i> . Muy abundante.	3
<i>Rodocrosita</i> MnCO ₃ . (G)	
<i>Calcita</i> , CaCO ₃ . (G)	2
<i>Tetraedrita</i> (Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃ . (M)	3
<i>Wulfenita</i> , PbMoO ₄ . (M)	3

Mineral de Zacatecas	
El total de minas registradas en el sitio fue de 78	
Mineral	Número de minas
Plata nativa (P)	25 (Quebradilla)
<i>Argentita</i> o <i>acantita</i> , Ag ₂ S. (P)	8 (Quebradilla)
<i>Galena</i> , PbS. (M)	38
<i>Aguilarita</i> , β-Ag ₄ SeS. (P)	0
<i>Naumannita</i> , Ag ₂ S. (P)	0
<i>Stromeyerita</i> , AgCuS. (P)	5
<i>Esfalerita</i> , (Zn, Fe)S. (M)	33
<i>Calcopirita</i> , CuFeS ₂ . (M)	8
<i>Pirita</i> , FeS ₂ . (M)	29
<i>Marcasita</i> , FeS ₂ . (M)	0
<i>Pirargirita</i> , Ag ₃ SbS ₃ . (P)	18
<i>Proustita</i> , Ag ₃ AsS ₃ . (P)	4
<i>Estefanita</i> , Ag ₅ SbS ₄ . (P)	0
<i>Polibasita</i> , (Ag, Cu) ₁₆ (As, Sb) ₂ S ₁₁ . (P)	1
<i>Clorargirita</i> , AgCl. (P), constituyente de los <i>colorados</i> . Muy abundante.	2 (Quebradilla)
<i>Br-Clorargirita</i> , Ag(Cl, Br). (P), constituyente de los <i>colorados</i> .	1 (Quebradilla)
<i>Bromoargirita</i> , AgBr. (P), constituyente de los <i>colorados</i> .	2
<i>Yodargirita</i> , AgI. (P)	1 (Quebradilla)

Mineral de Zacatecas

El total de minas registradas en el sitio fue de 78

Mineral	Número de minas
Fluorita, CaF_2 . (G) fundente.	1
Cervantita, $\text{Sb}_3+\text{Sb}_5+\text{O}_4$. (M)	
Estibiconita, $\text{Sb}_3+\text{Sb}_5+2\text{O}_6(\text{OH})$. (M)	
Litargirio, greta, γPbO . (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	1
Hematites Fe_2O_3 . (M) fundente.	1
Anglesita, PbSO_4 . (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	
Estibina, Sb_2S_3 . (M)	1 (Quebradilla).
Calcosina Cu_2S . (M)	
Arsenopirita, FeAsS . (M)	2
Rhodocrosita MnCO_3 . (G)	0
Smithsonita, ZnCO_3 . (M)	3
Calcita, CaCO_3 . (G)	12
Dolomita $(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$. (G)	
Ankerita, $\text{Ca}(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{CO}_3)_2$. (M)	
Cuarzo, SiO_2 . (G)	
Tetraedrita $(\text{Cu}, \text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	3
Hausmannita, $\text{Mn}^{+2}\text{Mn}^{2+}\text{O}_4$. (M)	1
Cerusita, PbCO_3 . (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	2
Piromorfita, $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$. (M) fundente, derivado de la oxidación de la Galena.	
Vanadinita, $\text{Pb}_5(\text{VO}_4)\text{Cl}$. (M) producto de la oxidación de la galena.	
Yeso, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. (G)	
Wulfenita, PbMoO_4 . (M)	3
Azurita: $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 2(\text{CuCO}_3)$. (M)	
Malaquita: $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$. (M)	
Cinabrio, HgS . (M)	

Mineral de Minillas	
El total de minas registradas en el sitio fue de 1	
Mineral	Número de minas
<i>Galena</i> , PbS. (M)	1
<i>Stromeyerita</i> , AgCuS. (P)	1
<i>Tetraedrita</i> (Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	1
<i>Hausmannita</i> , Mn ⁺² Mn ²⁺ 3O ₄ . (M)	1
<i>Cerusita</i> , PbCO ₃ . (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	2
<i>Wulfenita</i> , PbMoO ₄ . (M)	1

Mineral de Los Campos	
El total de minas registradas en el sitio fue de 1	
Mineral	Número de minas
<i>Stromeyerita</i> , AgCuS. (P)	1
<i>Marcasita</i> , FeS ₂ . (M)	1
<i>Tetraedrita</i> (Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	1
<i>Wulfenita</i> , PbMoO ₄ . (M)	1

3.3.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue en el Distrito de Zacatecas

Los minerales de Zacatecas, por ser negros, se trataban por patio, un poco por fundición.

3.4 El espacio minero en el Real de Sultepec, Estado de México

3.4.1 Menas y gangas en el Real de Sultepec, Estado de México

Distrito de Sultepec	
El total de minas registradas en el sitio fue de 22	
Mineral	Número de minas
<i>Argentita o acantita, Ag₂S. (P)</i>	5
<i>Galena, PbS. (M)</i>	5
<i>Esfalerita, (Zn, Fe)S. (M)</i>	1
<i>Calcopirita, CuFeS₂. (M)</i>	3
<i>Pirita, FeS₂. (M)</i>	9
<i>Fluorita, CaF₂. (G) fundente.</i>	1
<i>Estibina, Sb₂S₃. (M)</i>	2
<i>Calcita, CaCO₃. (G)</i>	5
<i>Dolomita (Ca, Mg)CO₃. (G)</i>	1
<i>Cinabrio, HgS</i>	2

En el año de 1879, se conocían setenta y dos minas y nueve haciendas de beneficio, en las que sólo se utilizaba el método de fundición. En Sultepec se producían galenas, con muy poca plata llamadas sorroches y muy utilizadas en la fundición. La ley de las galenas era de 5 a 6 onzas por carga.

3.4.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue en el Real de Sultepec, Estado de México

En el asiento funcionaban en la segunda mitad del siglo XVIII nueve haciendas de beneficio. La plata de Sultepec era toda de fuego.

3.5 El espacio minero en el Real de Zacualpan, Estado de México

3.5.1 Menas y gangas en el Real de Zacualpan, Estado de México

Distrito de Zacualpan	
El total de minas registradas en el sitio fue de 109	
Mineral	Número de minas
Plata nativa (P)	15
<i>Argentita</i> o <i>acantita</i> , Ag ₂ S. (P)	55
<i>Galena</i> , PbS. (M)	64
<i>Esfalerita</i> , (Zn, Fe)S. (M)	42
<i>Calcopirita</i> , CuFeS ₂ . (M)	14
<i>Pirita</i> , FeS ₂ . (M)	2
<i>Pirargirita</i> , Ag ₃ SbS ₃ . (P)	37
<i>Polibasita</i> , (Ag, Cu) ₁₆ (As, Sb) ₂ S ₁₁ . (P)	4
<i>Fluorita</i> , CaF ₂ . (G) fundente.	1
<i>Cervantita</i> , Sb ₃ +Sb ₅ +O ₄ . (M)	2
<i>Hematites</i> Fe ₂ O ₃ . (M) fundente.	1
<i>Anglesita</i> , PbSO ₄ . (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	2
<i>Estibina</i> , Sb ₂ S ₃ . (M)	3
<i>Calcosina</i> Cu ₂ S. (M)	1
<i>Arsenopirita</i> , FeAsS. (M)	2
<i>Calcita</i> , CaCO ₃ . (G)	2
<i>Rodocrosita</i> MnCO ₃ . (G)	2
<i>Cerusita</i> , PbCO ₃ . (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	1

Los minerales principales eran los ixtajales (similares a los *colorados*), constituidos por *argentita* y *plata nativa*, en matriz ferruginosa, en la zona reducida se presentaban la *pirargirita*, Ag₃SbS₃; plata roja antimonial, o rosicler oscuro; y la proustita, Ag₃AsS₃; plata roja arsenical o rosicler claro. Como mineral de acompañamiento la *tetraedrita* (Cu, Fe)₁₂Sb₄S₁₃; cobre gris platoso o cobre pavonado (llamado en el sitio *zotlanque*);

adicionalmente se presentaban piritas, calcopiritas, esfalerita, galena y antimonio; el mineral era por lo tanto muy rebelde al tratamiento de patio.

La mina del Alacrán era muy antigua y rica dio a su primer dueño, D. Roque Díaz cerca de 8 000 000,00 de pesos fuertes. Otras minas importantes eran las de La Canal, afamadas por su riqueza (Ramírez 1884: 502-504). El mineral común tenía una ley entre 2 y 3 marcos por carga. En el sitio existían cuatro contraminas: La Aurora, San Diego, La Barrena y La Expectativa.

3.5.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el Real de Zacualpan, Estado de México

En el asiento trabajó la Hacienda de Gama, hoy en ruinas, pero con un acueducto de mampostería de 500 m. Los minerales eran plomosos y se trataban por fuego y patio.

3.6 El espacio minero en el Real de Tlalpujahuá, Michoacán

Las minas de Tlalpujahuá tuvieron tres épocas notables en su historia: la primera que inició un poco después de la Conquista que duró hasta fines del siglo XVII; la segunda de mediados del siglo XVIII hasta principios del XIX; y la tercera cuando se organizó en Londres una compañía en el año de 1825 (Ramírez, 1884: 518).

En la segunda época la bonanza se debió al esfuerzo de un hombre extraordinario Joseph de la Borda, que sacó de la mina de su nombre y de la trabajada en la veta de Coronas, cuyos trabajos inició en 1743, la cantidad de 33 millones de pesos fuertes (3 882 352,94 marcos). En 1783 Juan Domingo Cosío en la mina de Guadalupe, obtuvo una utilidad de más de 70 000 pesos fuertes.

La Compañía inglesa establecida en 1825, con un capital de 2 000 000,00 de pesos, poseía más de 80 minas tomadas en avío. Contra la opinión del excelente minero Burkart, pobló todas las minas, con gigantescos malacates, galeras y construyó la contamina John Smith, con un costo extraordinario, pues intentó horadar 4 200 m de longitud en la cañada de Tepetongo, aunque sólo consiguió colar 60 m (Ramírez, 1884: 519). Al final suspendió sus trabajos en 1826.

3.6.1 Menas y gangas en el Real de Tlalpujahua, Michoacán

Distrito de Tlalpujahua	
El total de minas registradas en el sitio fue de 34	
Mineral	Número de minas
Plata nativa (P)	1
Argentita o acantita, Ag_2S . (P)	23
Pirita, FeS_2 . (M)	2
Pirargirita, Ag_3SbS_3 . (P)	27
Proustita, Ag_3AsS_3 . (P)	1
Estefanita, Ag_5SbS_4 . (P)	1
Polibasita, $(Ag, Cu)_{16}(As, Sb)_2S_{11}$. (P)	3

Distrito de Tlalpujahua	
El total de minas registradas en el sitio fue de 34	
Mineral	Número de minas
<i>Bromoargirita</i> , AgBr. (P), constituyente de los <i>colorados</i> .	1
<i>Tetraedrita</i> (Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	1

3.6.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el Real de Tlalpujahua, Michoacán

Los minerales de este distrito eran principalmente propios para el tratamiento por amalgamación fría.

3.7 El espacio minero en el Real de Taxco, Guerrero

3.7.1 Menas y gangas en el Real de Taxco, Guerrero

Distrito de Taxco	
El total de minas registradas en el sitio fue de 89	
Mineral	Número de minas
Plata nativa (P)	15
<i>Argentita</i> o <i>acantita</i> , Ag ₂ S. (P)	45
<i>Galena</i> , PbS. (M)	44
<i>Esfalerita</i> , (Zn, Fe)S. (M)	28
<i>Calcopirita</i> , CuFeS ₂ . (M)	5
<i>Pirita</i> , FeS ₂ . (M)	10
<i>Pirargirita</i> , Ag ₃ SbS ₃ . (P)	3
<i>Proustita</i> , Ag ₃ AsS ₃ . (P)	24
<i>Estefanita</i> , Ag ₅ SbS ₄ . (P)	2
<i>Polibasita</i> , (Ag, Cu) ₁₆ (As, Sb)2S ₁₁ . (P)	1
<i>Clorargirita</i> , AgCl. (P), constituyente de los <i>colorados</i> . Muy abundante.	1
<i>Estibina</i> , Sb ₂ S ₃ . (M)	1

Distrito de Taxco	
El total de minas registradas en el sitio fue de 89	
Mineral	Número de minas
Calcita, CaCO ₃ . (G)	1
Dolomita (Ca, Mg)CO ₃ . (G)	1
Cinabrio, HgS	2

3.7.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el Real de Taxco, Guerrero

Los minerales de Taxco eran casi en la misma proporción propios para el fuego y el patio.

3.8 El espacio minero en el Real de Zimapán, Hidalgo

Según el Servicio Geológico Mexicano, el distrito minero de Zimapán dio inicio a sus operaciones en el año de 1632 en con el descubrimiento de minerales oxidados en el área del Carrizal, donde se desarrolló la mina Lomo de Toro, con Don Lorenzo de Labra como personaje central. Los trabajos de explotación se desarrollaron ininterrumpidamente desde su descubrimiento hasta el movimiento de independencia de 1810, para reiniciar las operaciones en 1870.

3.8.1 Menas y gangas en el Real de Zimapán, Hidalgo

Distrito de Zimapán	
El total de minas registradas en el sitio fue de 35	
Mineral	Número de minas
Plata nativa (P)	1
<i>Argentita</i> o <i>acantita</i> , Ag ₂ S. (P)	6
<i>Galena</i> , PbS. (M)	25
<i>Esfalerita</i> , (Zn, Fe)S. (M)	14
<i>Calcopirita</i> , CuFeS ₂ . (M)	1
Pirita, FeS ₂ . (M)	6
Fluorita, CaF ₂ . (G) fundente.	7
<i>Litargiro</i> , <i>greta</i> , γPbO. (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	1
<i>Hematites</i> Fe ₂ O ₃ . (M) fundente.	7
<i>Estibina</i> , Sb ₂ S ₃ . (M)	7
Calcosina Cu ₂ S. (M)	2
<i>Calcita</i> , CaCO ₃ . (G)	5
<i>Dolomita</i> (Ca, Mg)CO ₃ . (G)	1
<i>Tetraedrita</i> (Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	13
<i>Cerusita</i> , PbCO ₃ . (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	7
Piromorfita, Pb ₅ (PO ₄) ₃ Cl. (M) fundente, derivado de la oxidación de la Galena.	1
<i>Vanadinita</i> , Pb ₅ (VO ₄)Cl. (M) producto de la oxidación de la galena.	1
Yeso, CaSO ₄ .2H ₂ O. (G)	2
Cinabrio, HgS	2

3.8.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el Real de Zimapán, Hidalgo

Los minerales de Zimapán eran de fuego y se producían ligas para fundición.

3.9 El espacio minero en el Real de Sombrerete, Zacatecas

3.9.1 Menas y gangas en el Real de Sombrerete, Zacatecas

Distrito de Sombrerete	
El total de minas registradas en el sitio fue de 44	
Mineral	Número de minas
<i>Argentita o acantita, Ag₂S. (P)</i>	1
<i>Galena, PbS. (M)</i>	14
<i>Esfalerita, (Zn, Fe)S. (M)</i>	10
<i>Calcopirita, CuFeS₂. (M)</i>	3
<i>Pirita, FeS₂. (M)</i>	18
<i>Marcasita, FeS₂. (M)</i>	1
<i>Miargirita, AgSbS₂. (P)</i>	2
<i>Pirargirita, Ag₃SbS₃. (P)</i>	4
<i>Calcosina Cu₂S. (M)</i>	5
<i>Rodocrosita MnCO₃. (G)</i>	1
<i>Calcita, CaCO₃. (G)</i>	2
<i>Dolomita (Ca, Mg)CO₃. (G)</i>	2
<i>Cerusita, PbCO₃. (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.</i>	2
<i>Malaquita: Cu(OH)₂-CuCO₃</i>	2

3.9.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue en el Real de Sombrerete, Zacatecas

Los minerales de Sombrerete eran de patio y fuego, en ese orden.

3.10 El espacio minero en el Real de Bolaños, Jalisco

El distrito de Bolaños poseía, en 1884, cinco minerales (Barranco, Tepec, Barrotes, Pichardo y San José de las Bolas), que tenían cuatro minas en corriente y muchas abandonadas (Ramírez, 1884: 492).

3.10.1 Menas y gangas en el Real de Bolaños, Jalisco

Distrito de Bolaños	
El total de minas registradas en el sitio fue de 13	
Mineral	Número de minas
<i>Pirargirita</i> , Ag_3SbS_3 . (P)	13
<i>Proustita</i> , Ag_3AsS_3 . (P)	13
Fluorita, CaF_2 . (G) fundente.	13
<i>Litargirio, greta</i> , γPbO . (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	1
Calcosina Cu_2S . (M)	1
<i>Calcita</i> , $CaCO_3$. (G)	13
<i>Tetraedrita</i> $(Cu, Fe)_{12}Sb_4S_{13}$	12
<i>Cerusita</i> , $PbCO_3$. (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	13
<i>Azurita</i> : $Cu(OH)_2 \cdot 2(CuCO_3)$. (M)	13
Malaquita: $Cu(OH)_2 \cdot CuCO_3$. (M)	13

3.10.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el Real de Bolaños, Jalisco

Los minerales de Bolaños eran de patio.

3.11 El espacio minero en el distrito de Guarisamey

3.11.1 Menas y gangas en el distrito de Guarisamey

Mineral Pueblo Nuevo	
El total de minas registradas en el sitio fue de 8	
Mineral	Número de minas
Plata nativa (P)	
<i>Argentita</i> o <i>acantita</i> , Ag ₂ S. (P)	1
<i>Galena</i> , PbS. (M)	2
<i>Esfalerita</i> , (Zn, Fe)S. (M)	4
<i>Calcopirita</i> , CuFeS ₂ . (M)	1
<i>Pirita</i> , FeS ₂ . (M)	3
<i>Hematites</i> Fe ₂ O ₃ . (M) fundente.	1

Mineral Durango	
El total de minas registradas en el sitio fue de 13	
Mineral	Número de minas
<i>Esfalerita</i> , (Zn, Fe)S. (M)	6
<i>Pirita</i> , FeS ₂ . (M)	6
<i>Clorargirita</i> , AgCl. (P), constituyente de los <i>colorados</i> . Muy abundante.	1
<i>Bromoargirita</i> , AgBr. (P), constituyente de los <i>colorados</i> .	1
<i>Yodargirita</i> , AgI. (P)	1
<i>Hematites</i> Fe ₂ O ₃ . (M) fundente.	8
<i>Mimetita</i> , Pb ₅ (AsO ₄)Cl. (M), derivado de la oxidación de la galena.	1
<i>Malaquita</i> : Cu(OH) ₂ -CuCO ₃ . (M)	1
<i>Cinabrio</i> , HgS. (M)	3
<i>Tennantita</i> (Cu,Ag,Fe,Zn) ₁₂ As ₄ S ₁₃ , <i>Fahlerz</i> . (P)	1

Mineral Tejaman, en corriente en 1803 (Humboldt 2004: 327).	
El total de minas registradas en el sitio fue de 8	
Mineral	Número de minas
Plata nativa (P)	
<i>Argentita</i> o <i>acantita</i> , Ag ₂ S. (P)	1

Mineral Tejaman, en corriente en 1803 (Humboldt 2004: 327).

El total de minas registradas en el sitio fue de 8

Mineral	Número de minas
<i>Galena</i> , PbS. (M)	5
<i>Esfalerita</i> , (Zn, Fe)S. (M)	3
<i>Calcopirita</i> , CuFeS ₂ . (M)	2
<i>Pirita</i> , FeS ₂ . (M)	3
<i>Hematites</i> Fe ₂ O ₃ . (M) fundente.	1
<i>Cinabrio</i> , HgS. (M)	2

Real de Guarisamey

El total de minas registradas en el sitio fue de 8

Mineral	Número de minas
Plata nativa (P)	8
<i>Argentita o acantita</i> , Ag ₂ S. (P)	8
<i>Galena</i> , PbS. (M)	3
<i>Calcopirita</i> , CuFeS ₂ . (M)	1

Real de Los Gavilanes

El total de minas registradas en el sitio fue de 11.

Mineral	Número de minas
Plata nativa (P)	9
<i>Argentita o acantita</i> , Ag ₂ S. (P)	
<i>Galena</i> , PbS. (M)	8
<i>Esfalerita</i> , (Zn, Fe)S. (M)	8
<i>Calcopirita</i> , CuFeS ₂ . (M)	9
<i>Pirita</i> , FeS ₂ . (M)	4
<i>Polibasita</i> , (Ag, Cu) ₁₆ (As, Sb)2S ₁₁ . (P)	2
<i>Malaquita</i> : Cu(OH) ₂ -CuCO ₃ . (M)	11

Real de San José Toyaltitla	
El total de minas registradas en el sitio fue de 1, Mina El Abra, riquísima mina, propiedad de la familia Zambrano, se abrió en bonanza y continuó así hasta una profundidad de cien varas, a la que se inundó, en corriente a principios del siglo XIX, inundada en 1826 (Ward 1995: 637)	
Mineral	Número de minas
<i>Estefanita</i> , Ag ₅ SbS ₄ . (P)	1
<i>Polibasita</i> , (Ag, Cu) ₁₆ (As, Sb)2S ₁₁ . (P)	1

Real de San Dimas	
El total de minas registradas en el sitio fue de 15	
Mineral	Número de minas
<i>Argentita o acantita</i> , Ag ₂ S. (P)	5
<i>Galena</i> , PbS. (M)	5
<i>Esfalerita</i> , (Zn, Fe)S. (M)	8
<i>Calcopirita</i> , CuFeS ₂ . (M)	6
<i>Pirita</i> , FeS ₂ . (M)	4
<i>Pirargirita</i> , Ag ₃ SbS ₃ . (P)	1
<i>Tetraedrita</i> (Cu, Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	1

3.11.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el distrito de Guarisamey

Los minerales de Guarisamey, más ricos, eran muy dóciles y podían utilizarse con una simple refinación, el resto eran de patio.

3.12 El espacio minero en el distrito de Batopilas

El Real de Batopilas, Chihuahua, fue descrito por Gamboa en 1761 (1874: 510): “Batopilas. Minas de plata, las más ricas, que se han labrado en el Reino, y no se oirán mejores en el mundo; pues se ven piedras con 3

partes de las 4 de plata, pero de suma dureza por el pedernal, que guarnece sus vetas, que sólo con pólvora se trabajan, están corrientes”, aunque Ramírez (1884: 380-381) apunta que la matriz más común no era pedernal sino calcita (espatocalizo) y dolomita (bruno-espatocalizo). Su clima es caliente y saludable, vetas muy visibles por sus crestones, hay muy poca agua en sus minas, la plata nativa del sitio apenas requería tratamiento, una buena parte de ella podía separarse de su matriz mecánicamente, el resto podía en 1827 fundirse muy fácilmente, aun en hornos artesanales.

3.12.1 Menas y gangas en el distrito de Batopilas

Distrito de Batopilas	
El total de minas registradas en el sitio fue de 42	
Mineral	Número de minas
Plata nativa (P)	20
<i>Argentita</i> o <i>acantita</i> , Ag ₂ S. (P)	13
<i>Esfalerita</i> , (Zn, Fe)S. (M)	2
<i>Pirargirita</i> , Ag ₃ SbS ₃ . (P)	8
<i>Proustita</i> , Ag ₃ AsS ₃ . (P)	1
<i>Litargirio</i> , <i>greta</i> , γPbO. (M) fundente, producto de la oxidación de la galena.	42
<i>Hematites</i> Fe ₂ O ₃ . (M) fundente.	13
Malaquita: Cu(OH) ₂ -CuCO ₃ . (M)	11

El barón de Humboldt señaló que los minerales de Batopilas presentaban la misma naturaleza que los de Kongsberg en Noruega (Humboldt, 2004: 339) que como se recordará se constituyen por los siguientes minerales:

P: **plata nativa**; *argentita*, Ag_2S ; *pirargirita*, Ag_3SbS_3 .

M: *pirrotina*, $Fe_{1-x}S$; *esfalerita*, $(Zn, Fe)S$; *pirita*, FeS_2 ; *calcopirita*, $CuFeS_2$; *Galena*, PbS ; y *arsenico nativo*, As .

G: *calcita*, $CaCO_3$; *cuarzo*, SiO_2 ; *siderita*, Fe_2+CO_3 ; *fluorita*, CaF_2 ; *baritina*, $BaSO_4$.

Efectivamente se asemejan en la presencia de *plata nativa* en una ganga de calcita, aunque una diferencia importante es que en Batopilas la ganga más importante era la dolomita.

Las minas más destacadas del asiento de minas fueron: Nevada, que inició operaciones en 1632, se llamó así por la abundancia que presentaba en plata nativa, que por su abundancia le daba el color de la nieve en largos tramos (Ramírez, 1884: 382). La Pastrana, cuya veta medía cerca de 7 m de ancho, en corriente en 1827, presentaba minerales de altísima ley, al grado que las barretas, tenían la punta de un lado y un cincel en el otro para cortar la plata (Ward, 1995: 639), duró en bonanza 20 años, desde 1730 hasta 1750, (Ramírez, 1884: 382) y trabajaba en 1884. La de San Antonio cuya bonanza duró 14 años, desde 1793 hasta 1807, durante la bonanza proporcionó a su dueño Cristóbal Pérez 15 800 000,00 pesos. Buen Suceso, en corriente en 1827, que tenía un crestón de plata nativa, que se explotó hasta las tres varas,

después se inundó (Ward, 1995: 639). Candelaria, en corriente en 1827 (Ward, 1995: 639). Carmen, en corriente en 1827, esta mina hizo la fortuna del marqués de Bustamante (hombre riquísimo), pues produjo para él 25 000 000,00 (Ramírez, 1884: 385) de pesos fuertes, de su interior se extrajo una masa de plata nativa sólida de 17 arrobas equivalentes a 195.60 kg (Ward, 1995: 639, 640). La explotación de las minas no llegó a mucha profundidad, en 1884, Pastrana no pasaba de 124 m, Carmen de 118, San Antonio de 110, Arbitrios de 84.

En el año de 1849 Batopilas vivió una nueva bonanza, pues Manuel Mendazona construyó un socavón, que, partiendo de la ribera izquierda del río corrió hasta el mineral, desaguando las minas de: San Antonio, El Carmen, Giral, Cancio, Fierro, Santo Niño, Carmen, Chiquita, Nevada, Candelaria, entre otras. Durante este tiempo se trabajaron catorce minas, siendo las principales: San Néstor, que sólo en 1847 dio 60 000 pesos. Refugio descubierta en 1810 que produjo más de 50 000 pesos por año.

Desde el año de 1632 a 1884, en un periodo de 252 años, el distrito produjo 59 869 512,00 pesos equivalentes a 7 043 472,00 marcos de plata.

3.12.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el distrito de Batopilas

Los sistemas de beneficio empleados en Batopilas fueron los de fundición, y amalgamación por patio y cazo.

3.13 El espacio minero en el Mineral de Zumpango del Río, Guerrero

En el Mineral de Zumpango del Río situado en el estado de Guerrero se beneficiaba la plata por fundición desde tiempos prehispánicos (Bargalló, 1969: 46), los métodos de fundición utilizados fueron: torrefacción en la propia veta; fundición en hoyos donde se colocaba el mineral, con una hoguera abierta, avivada las llamas por un corro de *teucuitlapitzqui* (náhuatl, el que hace la fundición de la genuina excrecencia de los dioses, León-Portilla, 1978: 23), armados con sendos canutos de caña o cobre; o con crisoles de barro sobre hornillos corrientes, que se muestran en los códices *Xólotl*, *Tlótzin* y Florentino, en los hornillos se mezclaba el mineral molido mezclado con carbón, se encendía el hornillo y se avivaba el fuego con aire insuflado mediante canutos, por orificios, perfectamente visibles en las pinturas, el metal se recogía en el fondo del horno.

3.13.1 Menas y gangas en el Mineral de Zumpango del Río, Guerrero

Las menas de Zumpango eran plomosas.

3.13.2 El tratamiento de los minerales de plata por fuego y por azogue el Mineral de Zumpango del Río, Guerrero

Los minerales eran de fuego.

3.14 Los flujos de residuos del sistema industrial minero-metalúrgico

Considerando que a partir de 1770-80 la plata se obtenía de diferentes beneficios en la siguiente proporción: por amalgamación 86.5%, por fundición 13.5% (con una ley promedio de 2,40 onzas por quintal según Garcés y Eguía (1873: 108) y Humboldt (2004: 341); y corrigiendo para la anterior proporción que fue de 30% amalgamación y 40% fundición Elhuyar (1825: 90), Ward (1981: 338, 375, 601), Velázquez (2004: 360), Velázquez (1987: 392-531) y Humboldt (2004: 372).

De 1521 a 1779, se produjeron en México:

31 519,67 toneladas de plata por amalgamación y

13 508,4 toneladas de plata por fundición.

Se procesaron 21 085 651,33 toneladas de mineral. Se liberaron a los ecosistemas más de veintiún millones de toneladas de jales conteniendo arsénico, plomo, antimonio y plata; 4 732 965,77 toneladas de sal común; y 65 689,96 toneladas de mercurio, todos estos contaminantes aún se encuentran en diversas regiones de nuestro país; los cálculos fueron realizados con base en las leyes promedio, volumen de plata producida por amalgamación 2.4 onzas por quintal, y pérdidas de azogue y otros insumos en el proceso (Humboldt, 2004, Sonneschmid, 1825, Brading, 1975, Garcés y Eguía, 1873).

3.15 Las amenazas a la salud provocadas por el sistema industrial minero-metalúrgico

Al revisar los documentos de la época descubrimos dos posiciones, encontradas, sobre las amenazas a la salud provocadas por los procesos metalúrgicos virreinales, una oficial mantenida por científicos ligados a la Corona Española, y otra a la que llamaremos independiente.

Dentro de la posición oficial encontramos a Sonneschmid, científico alemán contratado por el Monarca y cuyas investigaciones fueron financiadas por la familia Fagoaga (prominentes mineros zacatecanos).

En su *Tratado de la Amalgamación* escribe:

“Notorio es en todo este reino, que el beneficio por patio no es ninguna operación dañosa para los peones que en ella se emplean, y (...) no había necesidad de mencionarlo, si no fuese por motivo de muchos europeos que se han dejado persuadir que (...) el beneficio de sus minerales, destruye un inmenso número de sus habitantes” (Sonneschmid 1825: 94).

Aunque en la página 51 de la misma obra, al hablar sobre la reciente incorporación de las capellinas en el proceso de destilación del mercurio, se contradice al afirmar que:

“Habiéndose servido antes (...) de ollas de barro. Estas se reventaban con frecuencia, y pusieron en el mayor riesgo a los que acudieron para apagar la lumbre. He encontrado a varios sujetos que (...) se han azogado” – aunque matiza –: “Y sin embargo de esto se restablecieron casi enteramente, restándoles solo un leve temblor de miembros”.

Una posición similar es apuntada por el Humboldt (2004: 49):

“Cerca de cinco a seis mil personas se ocupan de la amalgama de los minerales o en las manipulaciones que la preceden. Un gran número de estos (...) pasan su vida descalzos sobre montones de metal molido (...) mezclado de (...) mercurio oxidado (...) y es un fenómeno singular ver que (...) gozan de la mejor salud. Los médicos (...) afirman unánimemente que raras veces se dejan ver (...) afecciones del sistema nervioso (...) Una parte de los habitantes de Guanajuato beben el agua misma de los lavaderos, sin que su salud padezca alteración”

Es más fácil encontrar opiniones divergentes: Gamboa (1874: 463) en sus comentarios dirigidos al Rey describe: “Frecuentes las enfermedades (...) venenosas las fundiciones, y las azoguerías: incurables, y a cada paso las dolencias, entre humedades, fuego y vapores”; Alzate (1831: 380) refiriéndose a la claridad de *Los Comentarios* de Gamboa que permiten

conocer las haciendas de beneficio: “Sin necesidad (...) [de] exponernos (...) al peligro de recibir las exhalaciones venenosas del azogue”; y el fiscal Leonz (Chávez, 1987: 48-49) que en un informe oficial dirigido al Virrey, refiriéndose a las razones por las que se debía suspender el partido a los barreteros, escribe: “El detrimento a la salud, es falso (...) por que los que lo padecen son (...) el repasador que con el contacto y manejo del azogue se pone trémulo y casi inservible”.

El estado del conocimiento en el siglo XVIII no permitía inferir los efectos crónicos y ambientales del mercurio, pero los especialistas de la época contaban con información suficiente para afirmar su peligrosidad, la prueba se encuentra en las *Reales Ordenanzas (...) del Importante Cuerpo de la Minería de Nueva-España* (1783: 134-135):

“Titulo 13, Del surtimiento de Aguas y Provisiones de las Minerías. Artículo 1º Mercediendo la primera atención el agua para beber en los Reales (...) ordeno (...) que no se use de la inficionada con partículas minerales. Artículo 2º Prohíbo con el mayor rigor que de los desagües (...) de los lavaderos de haciendas y fundiciones, se echen las aguas á Arroyos o Acueductos que las lleven a la población”.

Como se puede deducir, de los testimonios de Humboldt, la Ley era letra muerta pues “Una parte de los habitantes de Guanajuato beben el agua misma de los lavaderos” sin que esto incomodara a las autoridades.

Más sorprendente resulta la descripción de un movimiento social en contra de la instalación de dos haciendas de beneficio por fundición, descrito por Hausberger (1993), y sucedido en Chihuahua, en 1732; a principios de ese año, dos empresarios mineros iniciaron la construcción de nuevos hornos de fundición en dos emplazamientos. El 4 de junio de 1732 un grupo de vecinos de Chihuahua presentó una queja formal ante el Cabildo de la Ciudad, el movimiento ambientalista exigía: el cese de la construcción de los hornos, localizados a menos de 170 m de la zona habitacional y el compromiso del Cabildo de prohibir, en el futuro, la edificación de hornos de fundición en las inmediaciones de la ciudad, por los riesgos potenciales de su operación; alegando que: “ninguno debe ser compelido a exponer su vida en grave peligro por ocurrir a los daños que pueden padecer otros, y mucho menos por aumentar sus ganancias y utilidades; por más fuerte razón no han de ser preferidas las de un particular a las de la salud y bienestar de un común que debe mirarse y procurársele su propia conservación” (Hausberger 1993: 4-5). Uno de los empresarios apeló de inmediato invocando el beneficio que sus hornos producirían a la Corona en materia de impuestos. El resultado final,

después de diversos episodios, fue la aprobación final de las haciendas y la derrota del movimiento que se enfrentó a hechos consumados, pues en forma sigilosa se continuó la construcción hasta su finalización, mientras el gobierno consultaba la opinión de los médicos y científicos.

Otro caso se presentó en 1827, cuando Juan Kidell, administrador de la Catorce Company, pidió a la diputación de minería de Catorce su intervención, pues el Municipio de Cedral le prohibió a su empresa la “quema” (desulfuración) de los minerales de Sereno (ricos en *pirargirita*, Ag_3SbS_3 ; *tetraedrita* $(\text{Cu}, \text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$; *esfalerita*, $(\text{Zn}, \text{Fe})\text{S}$), en sus dos hornos de reverbero, “pretextando” que el humo dañaba a los vecinos. La diputación apeló al Gobernador, acusando al ayuntamiento de ligereza y describiendo la situación como: “la más vil ingratitud y desvergüenza que se quejasen los vecinos de lo dañoso del humo, y quisiesen perjudicar a los mineros a quienes deben su subsistencia” (AHESLP, SGG, 1826, febrero (2), febrero 14 de 1827).

Las ideas vertidas en el presente trabajo permiten, a nuestro juicio, diversas lecturas.

Es evidente que el gobierno novohispano y amplios sectores de la Sociedad estaban conscientes de los efectos, en la salud y el ambiente, provocados por las actividades minero-metalúrgicas; no es posible, por lo tanto, atribuir los daños al pobre desarrollo del conocimiento científico. El

estudio de la historia de las tecnologías de beneficio demuestra que, cuando la necesidad lo exigió, los técnicos mexicanos desarrollaron nuevos procesos de gran sofisticación (la amalgamación, la fundición con litargirio, la fundición con tequezquite). También se modificaron procesos que tenían efectos en la salud, como la destilación del mercurio (que producía azogamiento), resuelto con el diseño de un dispositivo hermético llamado *capelina*, aunque fue originalmente desarrollada para ahorrar mercurio (Ávalos *et al.*, 2007: 42). Sin embargo, los desequilibrios de poder permitieron la realización de estas actividades riesgosas, ignorando las demandas de las víctimas potenciales.

En el siglo XVIII, el énfasis fundamental de las políticas institucionales descansaba en intereses económicos egoístas y de corto plazo; aunque en el México virreinal se legislaba bajo principios de previsión, la solución de los conflictos sociales, provocados por el funcionamiento de instalaciones potencialmente peligrosas, obedecía a las relaciones de poder. Los apoyos otorgados por las instituciones a la investigación provocaron que algunos especialistas sirvieran a los intereses de los grandes capitalistas o actuaran impulsados por criterios de costo-beneficio ponderando el crecimiento económico sobre la seguridad de la población, otros, desde entonces, se encontraban comprometidos con los

intereses de la Sociedad al considerar que los riesgos a la salud no pueden ser riesgos aceptables.

La increíble bonanza en la producción de plata mexicana en el siglo XVIII se constituyó en un valladar insalvable, para la instrumentación de políticas precautorias, aunque si se realizaron esfuerzos para aplicarlas. En los hechos, el gobierno virreinal se enfocó a la atracción de inversionistas a cualquier costo, la salud de la población y de los ecosistemas fue, simplemente, lo último que se consideró.

4. De la significación de algunas voces oscuras, usadas en los minerales de la Nueva España.

Abras: “Son aberturas de los Cerros, que demuestran fuerza de evaporación subterránea, que las hizo reventar, y son señales de Minas, como los Riscos, que suelen tener en sus labios” (Gamboa 1874: 321).

Acantita: Ag_2S , ver argentita.

Aceite de vitriolo: Acido sulfúrico.

Achicar: “Frase de la Minería para explicar la disminución de agua en alguna labor, ó Cañón. Llamase *Achicadores* los Operarios destinados á esta faena” (Gamboa 1874: 85).

Achichinques: “Operarios destinados á recoger las aguas de los Veneros subterráneos de las minas en unas cubetas de cuero de Toro, y conducir las a las piletas, ó Cajas de el Tiro” (Gamboa 1874: 321).

Acido azótico: Acido nítrico.

Acido carbónico: Anhídrido carbónico.

Acido fumante de Nordhansen: Acido sulfúrico.

Acido marino deflogiaticado: Cloro gaseoso.

Acido muriático: Acido clorhídrico.

Acido marino: Acido clorhídrico.

Acido piroleñoso: Acido acético.

Acido prúsico: Acido cianhídrico.

Ademes: “Cubiertas, ó forro de madera, con que se aseguran, y resguardan los Tiros, Pilares y labores. Se llama *Ademador* el Operario que lo ejecuta” (Gamboa 1874: 321).

Afinación: “Es quitar á las planchas, ó tejos de Plata las heces, que todavía les quedan después de fundidas” (Gamboa 1874: 321).

Agua fuerte: Acido nítrico.

Agua regia: Mezcla de acido nítrico y clorhídrico.

Aguilarita: β -Ag₄SeS

Alabastro: Variedad mineral del yeso.

Álcali volátil: Gas amoníaco disuelto en agua.

Alcohol de alfareros: Sulfuro de plomo (galena).

Alcribís, ó Tobera: “Uno como embudo, por donde entra, y se encaja el Cañón de los Fuelles en el Horno de Fundición, para dar aire y soplo” (Gamboa 1874: 321). *Tobera*: Abertura tubular, primitivamente de forma cónica, por donde se introduce el aire en un horno o una forja, fragua o crisol. También tienen *tobera* ciertos motores marinos, de aviación, etc.

Almartaga: ver caparrosas (Gamboa 1784: 408), son sulfatos nativos de cobre, hierro o cinc.

Aludeles: caños de barro cocido, semejantes a una olla sin fondo, que ensamblados con otros, se empleaban a fines del siglos XVIII, en Almadén, España e Idria, Eslovenia (pertenecientes al emperador de Austria), para condensar los vapores mercuriales producidos por la calcinación del cinabrio. Del Río (1832: 153) se refiere a la operación de este tipo de hornos en Almadén de la siguiente forma: “Pienso que ya se habrán substituido los cuartos de Idria para recoger el azogue a los antiguos aludeles, en que se desperdiciaba tanto que a cien varas de

distancia vimos Betancourt y yo globulitos en los pétalos de las flores, en el año de 1782, y así se expuso al Gobierno que no nos dio crédito”.

Anglesita: PbSO_4 . La anglesita es muy importante pues es un producto secundario que se encuentra naturalmente en las zonas de oxidación de los criaderos de plomo, presenta depósitos de importancia en Zumpango del Río (Pueblo de Xochipila); en el mineral de Zacualpan (minas de Santa Inés, Guadalupe); en el distrito de Zimapán; y en Matehuala (minas Providencia y Plomosa).

Ankerita: $\text{Ca}(\text{Fe}^{+2}, \text{Mg}, \text{Mn}) (\text{CO}_3)$, espato marrón.

Aparejo: “Máquina para levantar los Ademes de los Tiros, cuando se hundan, ó desquician; y también para levantar unas grandes vigas, que llaman Llaves, y en que estriban los Malacates” (Gamboa 1874: 321).

Aperos: “Son todas las cosas necesarias para el corriente de los Tiros, Norias, composición de *Galeras*, y demás conducente á las obras subterráneas de las Minas. Llamase *Aperador* al que las tiene baxo de su mano, y distribuye según conviene” (Gamboa 1874: 322).

A pique: “Trabajar á pique, es trabajar profundamente perpendicularmente en las Vetas clavadas” (Gamboa 1874: 322).

Apuradores: “Los que, ó las que buscan partículas de metal en los derrames de las Haciendas de Azoguería” (Gamboa 1874: 322).

Aragonita: CaCO_3 .

Arcilla: silicato de aluminio impuro.

Arena: anhídrido silícico desmenuzado.

Argentita: ver acantita, Ag_2S , plata vítrea, argirita, plata negra, polvorilla.

Arriñonada: mena con hematites (plata arriñonada son *colorados*).

Argento: plata

Arsenopirita: FeAsS , mispickel, piritas arsenicales, fierro arsenical, agujillas.

Asbesto: Amianto.

Atacador: “Es un Hierro rotundo, y liso, más delgado que una Barrena, para atacar el Cohete con que se revienta la peña, y no ha de tener Acero, porque no haga fuego antes de tiempo” (Gamboa 1874: 322).

Atajador: “Mozo que trae las Mulas, o Caballos al tiempo de mudarse para las Tahonas, Molinos, y Desagües” (Gamboa 1874: 322).

Atecas: “Los Sirvientes, que echan el agua de los Planes de las Minas en las botas, para que salgan por los Tiros” (Gamboa 1874: 322).

Atierras: “Las tierras que impiden el uso de la labor, y deben sacarse á los *Terreros*” (Gamboa 1874: 322).

Azoe: Nitrógeno.

Azogue: Mercurio.

Azogueería: “Así dicen del beneficio de Oro, y Plata por Azogue, y haciendas donde se ejecuta” (Gamboa 1874: 322).

Bancos: “Peñas fuertes, que levantan y estrechan la Veta, ó la hacen tomar otro rumbo” (Gamboa 1874: 322).

Barita: baritina, espato pesado (por su alto peso específico), BaSO_4

Barra: “El Instrumento de Hierro calzado, y la parte que tiene cada dueño de 12, ó 24 *barras*, en que se divide una Mina” (Gamboa 1874: 322), según Ladd (1988: 10) la barra era, también, una célula de trabajo integrada por cinco o seis barreteros, un peón o tenatero, y el capitán de barra.

Barrena: “Hierro redondo del diámetro de una peseta, y la punta de escoplo, ó con cuatro filos en cruz en el asiento, con cabeza, y puntas calzadas de Acero, larga de dos tercias, ó tres cuartas para barrenar las peñas, y darlas cohetazo” (Gamboa 1874: 322).

Barrenadores o Coheteadores: operador encargado de horadar la peña con la barrena para acomodar el cohete (Moreno 1984).

Barreno: “Es el lugar horadado de la peña para acomodar el cohete. Se llama también *Barreno* la comunicación de las Minas, que se dice *barrenarse*, cuando se hacen una interiormente” (Gamboa 1874: 322).

Barretero: Operario de la Mina, con Barra, Cuña, ó Pico” (Gamboa 1874: 322).

Boca: “Es la abertura primera que se hace sobre la veta” (Gamboa 1874: 322).

Boca mejora: “Tiro, ó Boca para comunicarse con la Estaca fixa, y facilitar la labor interior de las Minas” (Gamboa 1874: 322).

Bochorno: “Excesivo calor, que apaga las luces dentro de las Minas, por falta de ventilación, y haberse trabajando sin dar cruceros, para que devane el viento: con los efluvios, que despiden los Operarios con la fatiga, se aumenta, y se apagan las luces: es menester que salgan luego algunos de ellos, con lo que suele volver á tomar aliento la llama” (Gamboa 1874: 322).

Bonanza: “Se dice, cuando se encuentra labor de metales ricos” (Gamboa 1874: 322).

Br-clorargirita, Cl-bromoargirita: Ag(Cl, Br), embolita, clorobromuro de plata, plata cornea verde.

Bromoargirita: AgBr, plata verde, plata cornea amarillo melada, bromirita.

Bronce blanco: ver piritas, sulfuro de hierro (FeS₂).

Bronce candelero: calcopirita, CuFeS₂, utilizado como materia prima para la fabricación del magistral.

Cal apagada: Hidrato de calcio

Cal viva: Oxido de calcio.

Calcita: CaCO_3 , carbonato de cal, espato calcáreo o calizo (Ramírez 1884: 67).

Calcopirita: CuFeS_2 , bronce candelero, mena de cobre amarillo y plata (Del Río 1832), utilizado como materia prima para la fabricación del magistral.

Calcosina: Cu_2S , cobre vítreo, calcosita, cobre sulfurado.

Carbonatos: derivados oxidados de la galena que se presentan en la zona de colorados, constituidos principalmente por anglesita, cerusita y piromorfita, poderosos fundentes y en muchas ocasiones con altas concentraciones de plata.

Carbonato de sosa: Carbonato de sodio.

Carbonato ácido primario: Bicarbonato de sodio.

Caparrosa: Nombre común a varios sulfatos nativos de cobre, hierro o cinc.

Caparrosa azul: Sulfato cúprico ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) sulfato de cobre pentahidratado, vitriolo azul.

Caparrosa verde: Sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), sulfato de hierro hidratado, vitriolo verde.

Caparrosa blanca: Sulfato de zinc (ZnSO_4).

Capitán de Barra: jefe de la barra (normalmente 5 barreteros y un peón) (Moreno 1984).

Cendra: pasta de ceniza de huesos, limpia y lavada, con que se preparan las copelas para afinar el oro y la plata.

Cendrada: asiento de ceniza de los hornos de fundición.

Ceniza azul de catorce: bromuro y cloruro de plata, azurita y óxidos de hierro y plomo.

Cervantita: $\text{Sb}_3 + \text{Sb}_5 + \text{O}_4$.

Cerusita: PbCO_3 , albayalde.

Cinabarita: ver cinabrio.

Cinabrio: Sulfuro rojo de mercurio.

Clorargirita: AgCl , cerargirita, querargirita, plata cornea, plata muriatada, argiroceratita.

Cobre carbonatado azul: azurita

Colorados: *pacos*, son minerales de plata (plata nativa en pequeñas partículas; argentita y acantita llamados plata sulfúrea (Ag_2S); *argentita*

(Ag₂S) y *estefanita* (Ag₅SbS₄), llamados plata agria prismática (Sprödglaſerz); caracterizados por la presencia de óxidos de hierro y en Catorce clorargirita (Ramírez 1884: 67; Humboldt 2004: 338)), eran extremadamente abundantes.

Cuarzo: El mineral más común, compuesto por dióxido de silicio, o sílice, SiO₂.

Diaforita: Pb₂Ag₃Sb₃S⁸.

Dolomita: (Ca, Mg) CO₃; espato amargo, espato perla o perlado.

Emborrascarse o aborrascarse la mina: Es encontrar en lugar de metal guijas y perderse la veta (Gamboa 1884: 493).

Epigenético yacimiento: El depósito que se formó después de la roca de caja. Un ejemplo sería una mineralización secundaria.

Esfalerita: (Zn, Fe)S, blenda, falsa galena, estoraque, ojo de víbora, michoso, relumbrón.

Espato flúor: ver fluorita, Fluoruro de calcio, CaF₂, excelente fundente utilizado en la fundición de minerales de plata, muy abundante de forma natural en las minas de Bolaños, Jalisco.

Espato satinado: yeso-calcita.

Espáticos: minerales de estructura laminar, y por ello fácilmente exfoliable. Se aplica en especial a los lapídeos, minerales de brillo vítreo (que presentan caras cristalinas nítidas) que forman la ganga de los minerales metalíferos.

Estefanita: Ag_5SbS_4 , plata agria, plata gris antimonial, rosicler negro, plata quebradiza, con la pearceíta y la polibasita forma las platas negras.

Estibina: Sb_2S_3 , antimonio verde, antimonita, estibinita, alcohol.

Estibiconita: $\text{Sb}^{3+}\text{Sb}^{5+}_2\text{O}_6(\text{OH})$.

Filón: masa metalífera o pétreo situada normalmente entre dos capas de roca en un terreno.

Fluorita: CaF_2 , ver espato flúor.

Freieslebenita: AgPbSbS_3 , plata estriada.

Friable: desmenuzable.

Galena: Sulfuro de plomo, PbS , alcohol de alfareros, michoso, relumbroso, soroche, plomo reluciente, plomo michoso, esmeril, tescubate, importante mena de plata y única fuente de plomo.

Ganga: minerales sin valor económico, que acompañan a la mena, y que no contienen los elementos metálicos que se recuperan en el proceso industrial. Ocupan entre el 90 y 95 % del volumen total de la roca.

Gas carbónico: Anhídrido carbónico, CO₂.

Greda: Carbonato amorfo – plumbagina

Greta: Ver litargirio Óxido de plomo de color amarillo. Utilizada en el beneficio por fuego, como fundente, aprovechando el plomo que contiene, se prefiere al plomo en estado metálico debido a que es seca y terrea puede molerse con lo cual se mezcla más fácilmente con el *metal de pinta* en la revoltura para la fundición. (Gamboa 1874: 396)

Guija: Piedra lisa y pequeña que se encuentra en las orillas y cauces de ríos y arroyos.

Hausmannita: $Mn+2Mn_2+3O_4$

Hematites: Fe₂O, almagre, Utilizado como fundente.

Hematita parda: Hidrato férrico

Hematita roja: Hematites, Oxido férrico (Fe₂O₃)

Herrumbre: Hidrato de hierro

Hidrargirium : Mercurio

Hidroclorato de barita: Cloruro de bario hidratado.

Hidrofilacio: concavidad subterránea y llena de agua, de que muchas veces se alimentan los manantiales.

Hígado de azufre: ver sulfuro de natrón (Na_2S).

Hígado de azufre a la cal: Trisulfuro de calcio.

Ixtajales: son minerales de plata caracterizados por la presencia de óxidos de hierro (Ramírez 1884: 67).

Jaboncillo: vetas de arcillas terrosas o podridas, ricas en mineral útil, provienen de la descomposición de las rocas que en un principio llenaban la veta (Ramírez 1884: 68).

Limonita: Fe_2O_3 .

Litargirio: PbO , Óxido de plomo, utilizado, en México, como fundente esencial en el tratamiento por fuego de los minerales de plata, en los siglos XVI, XVII, XVIII y XIX.

Malacate: cabrestante o torno de eje vertical que se emplea para mover grandes pesos por medio de una maroma o cable que se va arrollando en él a medida que gira movido por la potencia aplicada en unas barras o palancas que se introducen en las cajas abiertas en el canto exterior del cilindro o en la parte alta de la máquina.

Maleable: Dicho de un metal: Que puede batirse y extenderse en planchas o láminas.

Marcasita: FeS_2 , dimorfo de la piritita, piritita blanca, piritita radiante, Manuel Del Río (1832) señala que no se asocia a los minerales ricos en plata, era fuente en el siglo XVIII y XIX del sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), caparrosa verde.

Marmatita: $(\text{Zn}, \text{Fe})\text{S}$, variedad de esfalerita ferrosa.

Martita: Fe_2O_3 .

Matriz: roca en cuyo interior se ha formado el mineral útil.

Mena: término aplicado a la materia metalífera en el estado en el que es extraída de la tierra por el minero (parte de un filón que contiene minerales útiles en proporción predominante listos para su tratamiento metalúrgico, ver *Filón*: masa metalífera o pétreo situada normalmente entre dos capas de roca en un terreno.

Metales de amalgamación directa: metales que se encuentran en forma metálica o nativa en las matrices, principalmente el oro (Ramírez 1884: 84).

Metales de cazo: minerales que se benefician por el método de cazo, principalmente la plata en el estado de cloruros, bromuros, e yoduros, conocidos genéricamente como *plata verde*, éstos pueden referirse a los compuestos arcillosos llamados colorados (Ramírez 1884: 82-83).

Metales de fuego: minerales que se benefician por el método de fundición, principalmente las galenas argentíferas y los minerales de muy alta ley, los cloruros de plata son dóciles a la fundición si se agrega litargirio (greta), pero pierden mucha plata por volatilización o en las escorias, Garcés y Eguia lo resolvía destruyendo los cloruros con tequezquite. (Garcés y Eguia 1873; Ramírez 1884: 83).

Metal de jugo o Metal de Ayuda: compuestos utilizados en la fundición que ministran la cantidad de plomo que sirve como fundente a la plata. Puede tener las siguientes denominaciones de acuerdo a sus características: pepenas si están en el estado de sulfuros; y cuajados si se encuentran en el estado de óxidos (Ramírez 1884: 657).

Metales de lixiviación: minerales que se benefician por el método de lixiviación, a cuyo tratamiento pueden someterse todos los minerales que no contengan más de 15% de plomo (Ramírez 1884: 84).

Metales de patio: minerales que se benefician por el método de amalgamación en frío, denominado método de patio, normalmente se utilizan los minerales llamados negros, y que eran en el siglo XVIII y XIX los más abundantes, pues el 80% de la plata que se producía en México desde 1800 y hasta 1884 se obtenía por este método (Ramírez 1884: 84).

Metal de pinta: Mineral destinado a la fundición que contiene plata, puede ser **mogrollo**, cuando está compuesto de sulfuros; **bronces** cuando contiene pirritas de hierro; y **metal verde**, cuando el cobre, en estado de carbonato, óxido o sulfuro es parte esencial de de la composición argentífera (Ramírez 1884: 657).

Metales de tonel: minerales que se benefician por el método de tonel, que son los piritosos, que contienen poco plomo y algunos compuestos que deben ser eliminados por reverberación. (Ramírez 1884: 84).

Miargirita: AgSbS_2 , rosicler semiprismatico, rubí blenda, con proustita y pirargirita forma las platas rojas.

Michoso: $(\text{Zn}, \text{Fe})\text{S}$, esfalerita.

Mimetita: $\text{Pb}_5(\text{AsO}_4)\text{Cl}$

Moho de hierro: Óxido de hierro hidratado.

Natrium: Sodio.

Naumannita: Ag_2S .

Negros: minerales argentíferos que se encuentran a mayor profundidad que la zona de oxidación, compuestos por pirritas sobre matrices resistentes y duras (Ramírez 1884: 80).

Ocre quemado: Óxido férrico

Ocre rojo: Arcilla ferruginosa

Orín de hierro: Oxido de hierro hidratado

Oropimento: Trisulfuro de arsénico

Piedra infernal: Nitrato de plata

Piedra de alumbre: Sulfato de aluminio y potasio

Pirargirita: Ag_3SbS_3 , plata roja antimonial, rubí blenda, rosicler oscuro, petlanque, o petanque.

Pirita: FeS_2 , pirita amarilla (Del Río 1832), fierro sulfurado, bronce chino, bronce margaritoso, bronce soroché, sulfuro de hierro. Utilizada a fines del siglo XVIII y principios del XIX como mena de plata, azufre y Sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$); Del Río menciona que es el mineral más abundante.

Piromorfita: $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$

Plata agría: *argentita* (Ag_2S), *estefanita* (Ag_5SbS_4).

Plata azul de Catorce: acantita, más dolomita más plata metálica (Ag_2S , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, Ag).

Plata azul acerada: polibasita (Ag, Cu)₁₆ (As, Sb)₂ S₁₁.

Plata córnea: *clorargirita*, AgCl, la plata cornea es muy escasa en Europa, en cambio en Catorce es muy abundante y se presenta

acompañada normalmente de Piromorfita o plomo verde ($Pb_5(PO_4)_3Cl$); y Wulfenita o plomo amarillo ($PbMoO_4$, molibdato de plomo). La plata cornea de México es solamente $AgCl$, mientras la europea (hornerz) contiene óxido de hierro, de aluminio y principalmente ácido sulfúrico (Humboldt 2004: 338).

Plata Rubí: proustita-pirargirita.

Plata verde: Clorargirita, Br-Clorargirita, Cl-bromoargirita, $Ag(Cl, Br)$, Bromoargirita, $AgBr$, Yodargirita, AgI .

Plata vítrea: argentita-acantita.

Plata viva: Mercurio.

Podridas: tierras ferruginosas fácilmente desmoronadizas, cercanas a los crestones de las minas, en las que los minerales de plata se encuentran diseminados.

Polibasita: $(Ag, Cu)_{16}(As, Sb)_2S_{11}$, junto con la pearceíta y la Estefanita forma las platas negras.

Proustita: Ag_3AsS_3 , plata roja arsenical, rosicler clara, plata roja clara, junto con la pirargirita y la miargirita forma las platas rojas.

Roca de caja, o rocas en que las vetas arman: Roca adyacente a la mineralización, define las zonas mineralizadas.

Rodocrosita: MnCO_3 , dialoguita, espato de manganeso, espato rosado o rubefaciens.

Rejalgar: βAsS , arsénico rojo.

Rumbeadores: exploradores que andan en busca de filones metálicos
Ward 1995: 635.

Salitre: Nitrato de potasio.

Sectil: mineral que puede cortarse fácilmente con un cuchillo (Venator 1897, Collins 1900).

Siderita: $\text{Fe}^{2+}\text{CO}_3$, espato de hierro.

Smithsonita: ZnCO_3 , espato de zinc.

Stromeyerita: AgCuS , cobre sulfurado argentífero.

Sulfuro de Natrón: Na_2S , utilizado por Garcés y Eguía para eliminar el cobre y el fierro convirtiéndolos en caparrosa azul ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) o en caparrosa verde (FeSO_4); $\text{Na}_2\text{S} + \text{Cu Fe} \rightarrow \text{CuSO}_4, \text{FeSO}_4$.

Tenorita: CuO .

Tequezquite: bicarbonato de sodio hidratado $\text{Na}_2\text{CO}_3, \text{HNaCO}_3$.

Temescuitates: plomos vidriado que se producen en la fundición y se utilizan como *metal de ayuda*, Garcés y Eguía 1873: 51).

Tetraedrita: $(\text{Cu}, \text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$, cobre gris, cobre pavonado, panabasa, importante mena de plata.

Tierras podridas: minerales de plata que se encuentran cerca de los crestones, diseminados en tierras ferruginosas, desmoronadizas, los minerales argentíferos incluidos son por lo general: cloruros, bromuros, yoduros, sulfuros y plata nativa (metales colorados), fáciles de tumbar y entraban bien en la amalgamación por patio y cazo (Ramírez 1884: 79).

Vanaditina: $\text{Pb}_5(\text{VO}_4)\text{Cl}$.

Veta: vena de materia mineral, depositada en fisuras, grietas o hendiduras de un cuerpo rocoso, y de composición distinta a la de la sustancia en la que está incrustada. Esta estructura, en capas estratificadas muy juntas, se conoce como filón.

Vetas separadas: en algunos *Minerales* están claramente separadas las rocas metalíferas de las que no lo son; y aun se distinguen las rocas que arman criaderos de un mineral determinado, de las que contienen minerales diferentes, como Guadalcazar, S.L.P., en el que, a través de la formación caliza en la que se encuentran los yacimientos de mercurio, se han abierto camino las rocas porfídicas, en que arman las vetas de plata.

Vitriolo: Ácido sulfúrico.

Vitriolo - aceite de: Ácido sulfúrico.

Vitriolo amoniacal: Sulfato de amonio.

Vitriolo azul: Sulfato de cobre hidratado, sulfato cúprico.

Vitriolo blanco: Sulfato de zinc, caparrosa blanca.

Vitriolo de cobre: Sulfato de cobre hidratado, caparrosa azul $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Vitriolo de plomo: Anglesita.

Vitriolo verde: Sulfato de hierro hidratado, Sulfato ferroso, FeSO_4 , Caparrosa verde.

Wulfenita: PbMoO_4 .

Yeso: Sulfato de calcio, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Yodargirita: AgI, plata amarilla, plata cornea amarilla, plata yodurada.

Zotlanque: *tetraedrita* $(\text{Cu}, \text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$; cobre gris platoso.

5. Discusión y Conclusiones

Los resultados de la presente tesis doctoral sugieren que los procesos minero-metalúrgicos mexicanos, durante el siglo XVIII, presentaban cierta diversidad tecnológica, aunque no tanta, como tradicionalmente se ha sugerido. Ciertamente, que la distribución geográfica de los reales era muy heterogénea y que los procesos tecnológicos presentaban un carácter particular que variaba de una comarca a otra, como resultado de la

adaptación a las condiciones de los diferentes paisajes. Sin embargo, todos los procesos mineros utilizaban esencialmente las mismas técnicas con diferentes niveles de desarrollo y los metalúrgicos no eran sino variantes de la combinación de dos tecnologías básicas: la fundición y la amalgamación (Sánchez 2002). El carácter de estos métodos se diversificó para enfrentar la variabilidad climática de los diferentes asientos de minas; para resolver los retos tecnológicos provocados por la multiplicidad de caracteres mineralógicos de las vetas explotadas, y aquellos inherentes a la profundidad de explotación, como las modificaciones en la composición (el paso de minerales oxidados a reducidos), la ley de los minerales y la mayor dificultad en el tumbe, y por supuesto, los problemas derivados de la extracción de la mena, la ganga y el agua desde una mayor profundidad. En múltiples ocasiones fue preciso realizar modificaciones para subsanar la carencia de los insumos esenciales: el azogue, la madera, el carbón y el plomo; sin contar, otra gran fuente de diversidad que fue el deficiente conocimiento de gran parte de los mineros y operarios sobre las artes de la saca y el beneficio; y la disponibilidad de los trabajadores, siempre escasos.

Puede concluirse que la transformación de los procesos minero-metalúrgicos; a lo largo de los trescientos años del virreinato, en los quinientos reales y realitos de México; más que un proceso general de

desarrollo, enfocado a aumentar la eficiencia del laborío de las minas y el beneficio de los metales, fue resultado de un proceso de adaptación a las condiciones imperantes en los sitios de explotación, a las condiciones del mercado y al marco político-institucional, incluyendo los conflictos con diversos actores sociales, provocados por las amenazas a la salud y a los ecosistemas que representaban las operaciones minero-metalúrgicas. La excepción la constituyen los “distritos de las mejores minas de la Nueva España, colocándolas según la cuantía de plata [que se sacaba de ellas]” (Humboldt 2004331-332), las cuales de acuerdo a su orden de importancia, en 1803, fueron: Guanajuato, Catorce, Zacatecas, Pachuca (Real del Monte), Bolaños, Guarisamey, Sombrerete, Taxco, Batopilas, Zimapán, Fresnillo, Ramos y Parral. A lo largo del siglo XVIII y principios del XIX, en estos sitios, se realizaron fuertes inversiones para la construcción de obras muertas, de disfrute y beneficio y diversos proyectos de investigación para la normalización y optimización del laborío de las minas y el beneficio de los metales. En forma paralela, con capital privado y de la Corona, se financió el establecimiento del Colegio de Minería para preparar y calificar a los prácticos y operarios. En estos distritos mineros se consiguió ampliar la gama de minerales que podían refinarse y se incrementaron las ganancias económicas que producía la industria.

Otra conclusión importante es que durante todo el siglo XVIII y hasta 1810, se presentó en la Nueva España una transformación en la industria minero-metalúrgica, que aunque afectó a todas las regiones del sistema; realmente se presentó con mayor fuerza en catorce diputaciones de minería, en las que, a lo largo del periodo, se concentró más del 90% de la producción de plata mexicana en las manos de unas cuantas familias, capaces de trabajar con sus propios caudales: Los Romero de Terreros con intereses en Real del Monte y Zimapán; La familia Borda con propiedades en el Distrito de Zacatecas, La Cañada del distrito de Tlalpujahua y la diputación de Taxco; Vicente Sardaneta y el Conde de San Mateo de Valparaíso, con minas en el distrito de Guanajuato; los Obregón y asociados, con varios sitios en el Distrito de Guanajuato y en el de Catorce; el Conde de Peñasco, dueño del Cerro de San Pedro en San Luis Potosí; Francisco Xavier de Vizcarra, Marqués de Pánuco, en Pánuco, Zacatecas; el Marqués de San Miguel Aguayo y Juan Lucas de Lassága, en Mazapil, Zacatecas (Lassága y Velázquez de León 1774: 20); y la importantísima familia Fagoaga, en el Distrito de Zacatecas, patrocinadores, junto con otros, de la misión alemana que a finales del siglo XVIII enviara el Rey para reformar la industria minero-metalúrgica de México; todos ellos, verdaderos empresarios, fundadores de gigantescos complejos agro-industriales (Langue 1999: 50; Sánchez 2002: 132), y

posiblemente de las empresas más grandes del mundo: La Valenciana, Guanajuato con 3 332 trabajadores; La Vizcaína, en Real del Monte, Hidalgo, que agrupaba, en 1766, a 3 785 empleados, en nueve minas (Ladd 1988: 16); y La Quebradilla, Zacatecas con 2 550 operarios. Siendo este fenómeno el responsable, junto con las reformas económicas y políticas de los borbones, de la bonanza del México borbónico (1777-1810), que sacó de su inacción a la minería y al Reino todo de su languidez Elhuyar (1825: 49).

La riqueza generada por la bonanza finisecular, aunque cuantiosa, sólo benefició a un pequeño sector de españoles peninsulares, el resto de los estamentos sociales no fueron invitados al banquete. Tampoco benefició realmente al cuerpo social, pues no fue suficiente para borrar la terrible asimetría en la distribución de la riqueza en México, la gigantesca producción de plata del distrito de Guanajuato se utilizó para la compra de artículos suntuarios, no para remediar, en 1784, la falta de alimentos que provocó en la ciudad y minas de Guanajuato la muerte de más de 8 000 seres humanos, obviamente miembros de la clase más pobre del pueblo. No se engañó Humboldt (2004: 68) al afirmar: “México es el país de la desigualdad. Acaso en ninguna parte la hay más espantosa en la distribución de fortunas, civilización, cultivo de la tierra y población”.

Es probable que este proceso de concentración haya sido la respuesta natural, de familias con suficiente capital, a una oportunidad excelente de inversión; la cual habían estudiado perfectamente en todos sus detalles y que aunque presentaba ciertos riesgos asociados a una minería bicentenaria, resultaban manejables, con el apoyo financiero y técnico de la Corona, que consiguieron a toda costa. Esta industria una vez bajo control, les brindó pingües beneficios.

Los problemas de la minería y el beneficio: las vetas emborrascadas, las inundaciones, las mayores profundidades de las obras de disfrute, los aumentos en los costos debidos a la construcción de obras muertas y al ademado, los incrementos en los gastos de operación y mantenimiento de la maquinaria utilizada para el desagüe de los planes y la extracción del mineral; las matrices profundas resistentes al tumbé, los minerales rebeldes a los procesos de beneficio, incluso la escases de mano de obra calificada y no calificada, mercurio, plomo y madera y los procesos inflacionarios liderados por el maíz, alimento básico de operarios y bestias mulares (Sánchez 2002: 132), eran simples manifestaciones de una industria que había llegado a su madurez; y que por lo tanto requería, como condición liminar, resolver el primero y mayor de los obstáculos, definido claramente por Lassága y Velázquez de León (1774: 18):

“Queda pues establecido, que la causa principal, y que generalmente influye en la inhabilitación actual de todas las minas de este Reino, sean las que fueren, es la falta de caudales, con que pueda instaurarse y fomentar su laborío”.

La revolución de la industria modificó las peculiaridades de los procesos en todo el país; provocando: el aumento en la producción de plata; la constitución del Tribunal y el Colegio de Minería (instituciones fundamentales en la vida de México); la normalización industrial de los métodos de saca y beneficio (en los distritos principales se abandonaron los procesos artesanales); la construcción de gigantescas obras de infraestructura como la contramina de la veta la Vizcaína, en Real del Monte, el Socavón de Purísima, en Catorce, o las haciendas de beneficio de: El Salto, en Hidalgo; La Saucedá y Cinco Señores, en Zacatecas; el incremento en la proporción de la plata de azogue a costa de la de fuego; la rehabilitación de viejos asientos de minas abandonados, como las nueve minas de la Vizcaína y varias de Zimapán a cargo de los Romero de Terreros, o la de las minas de Veta Grande restauradas por una compañía en la que se asociaron Los Borda, con los Anza y los Fagoaga; el reproceso de jales, graseros y escoriales (Sánchez 2002: 131-132); la transformación de las relaciones laborales; la primer huelga registrada en

Norteamérica, realizada por los operarios de la Vizcaína en Real del Monte, Hidalgo, en 1766.

En la segunda parte del documento, mediante un estudio de caso, se dilucidaron las complejas articulaciones entre el metabolismo industrial de uno de los grandes distritos mineros novohispanos, para este propósito, el de Catorce, y la composición estructura y dinámica de los paisajes que funcionaron como su base de sustentación; además de explorar otros impactos ambientales, relacionados con los procesos de extracción y beneficio de plata y oro; durante el periodo comprendido entre 1772 y hasta 1827, depurando los efectos de las actividades industriales de otras posibles causas. Para favorecer la comprensión de la dinámica ecológica se realizó un estudio ecológico complementario en el sitio que abarcó el periodo 1976-2000.

Las razones para la selección del sitio y el periodo son las siguientes:

Son incontables las opiniones sobre el favorable influjo que ejerció la minería en la economía y la composición de los paisajes de la Nueva España; en particular, Humboldt (2004: 238) describe de la siguiente forma este efecto:

“En México los campos más bien cultivados, los que recuerdan (...) las más hermosas campiñas de Francia (...) son los (...) que

circuyen las minas más ricas del mundo (...) en las partes más incultas de las cordilleras (...) el beneficio de las minas lejos de entorpecer el cultivo de la tierra, lo ha favorecido singularmente”.

Esta opinión ha tenido, durante más de dos siglos, una profunda influencia en la sociedad mexicana; siendo su más notable vindicador el eminente químico y metalurgista Fausto de Elhuyar el cual en su *Memoria sobre el influjo de la minería en la Nueva España* (1825: 22) realiza una apasionada defensa de la industria:

“Al descubrirse cualquier mineral (...) se han formado en instantes poblaciones numerosas, en parajes, en que por su escabrosidad y aridez natural no se hubiera esperado verlas jamás; y cuando la riqueza ha sido de alguna entidad y duración, se han visto igualmente en los contornos y a largas distancias, vivificarse y tomar mayor extensión y energía los ramos que se cultivaban y crearse otros nuevos con el consiguiente aumento de población”.

Esta fuerte convicción del primer Director del Real Seminario de Minería, se basaba en la sólida experiencia conseguida tras dirigir durante treinta y tres años los destinos de la minería y la metalurgia mexicanas. Pero, de acuerdo a su juicio experto, existía un ejemplo que ilustraba, de forma excepcional, su opinión sobre el benéfico influjo de la minería en la economía y en la composición del paisaje, el caso del Real de Catorce:

“Por moderno y bien conocido el descubrimiento de [estas] minas (...) en un país inculto y despoblado, que sólo servía antes del año de 1774 para la cría de algún ganado, sin trascendencia alguna al cultivo y fomento de su misma provincia, y menos de las inmediatas, que desde aquella época han tomado un incremento muy grande a merced de aquel precioso descubrimiento” Elhuyar (1825: 22).

Y muy grande debió haber sido su influencia cuando el celeberrimo barón de Humboldt se refirió, en 1803, a este hallazgo como:

“El suceso más importante en la historia de la minería de la América Española en doscientos años (...) [que] ocupa hoy día el segundo o tercer lugar entre las minas de Nueva España [lo que en la época significaba ser el segundo Real de minas del mundo], si se les clasifica por la cantidad de plata que producen” (Humboldt 2004: 358-359).

En este espacio, las interacciones entre el *conjunto articulado de operaciones industriales* y los ecosistemas que lo rodeaban, en sólo 54 años, conformaron una intrincada urdimbre sobre la que se entrelazó la trama social, económica y política de la región; produciendo un régimen de disturbio que aparentemente transformó la dinámica de los ecosistemas y provocó una nueva composición y estructura del paisaje.

Se puede pensar que el periodo seleccionado representa un breve espacio de tiempo, comparado con la escala temporal de los procesos ecológicos, pero la justificación para la selección del periodo de estudio fue sencilla, en 1772 se descubrió la cata “La Descubridora”, en El Real de Catorce, que marca el inicio de operaciones en la localidad, y en 1826 Henry G. Ward (1995: 587), cuando sólo habían transcurrido cincuenta y cuatro años, describe el sitio minero con las siguientes palabras:

“No se ve ni un solo árbol, ni una sola hoja de hierba en las cercanías; y sin embargo hace cincuenta años todo el distrito estaba cubierto de bosques (...) Bosques enteros se quemaron para desmontar el terreno, y la madera más grande que se requiere para las minas se lleva desde una distancia de veintidós leguas [92.18 Km]”

El cuadro resulta extraordinario cuando se compara con la pretendida descripción del sitio, realizada por el comisionado virreinal Silvestre López Portillo en 1779, en la que se basan los juicios de Ward y de muchos autores posteriores:

“[Había] maderas de todos tamaño, en unas partes de pino y en otras de encinas (...) por lo que es muy abundante en leñas (...) Siguiendo en su descenso al río encontramos un monte

impenetrable de encinas y pinos de tan imponderable corpulencia, (...) que llegan a equipararse con los montes” (Velázquez 1987).

González-Costilla, *et al* (2007: 3) refiriéndose al distrito de Catorce afirman:

“La deforestación, el sobrepastoreo y el crecimiento de la población, vinculados a este auge minero, trajeron consigo una drástica modificación del paisaje vegetal de la Sierra, especialmente en las montañas que rodean el pueblo del Real de Catorce”.

La simple lectura de las descripciones, que anteceden, nos compele hacia una fácil conclusión, los procesos industriales minero-metalúrgicos, propiamente dichos; desarrollados en Catorce, sumados a las operaciones de abastecimiento; construcción; mantenimiento de la infraestructura; y eliminación de residuos; en sólo cincuenta y cuatro años, generaron un régimen de disturbio que modificó la composición, estructura y funcionamiento del paisaje, provocando en algunas áreas la pérdida completa del suelo. Esta suposición, como muchas realizadas en las ciencias ambientales, se basa en “la vieja y familiar falacia” (Cronon, 2003: 9) *Cum hoc ergo propter hoc* (juntamente con esto, por consiguiente provocado por esto). Cuando encontramos en los archivos documentos que describen inundaciones, desertización y cambios

significativos en el clima; en el mismo periodo en el que se iniciaron las actividades industriales en el sitio, nos sentimos impelidos a concluir que los disturbios antropógenos provocaron los cambios en la dinámica ecológica. Pero nada en la ecología resulta tan sencillo. Claro, el régimen de disturbio provocado por las actividades humanas puede ser muy importante y después de todo, los cambios en la composición y estructura de los ecosistemas responden a variables impulsoras, pues *De nihilo nihil fit* (de la nada, nada ha sido), pero las de origen humano no son las únicas fuerzas que se mueven en el mundo.

Para este caso, en particular, es posible que las fuentes no sean tan confiables como se ha pretendido, por ejemplo, González-Costilla *et al.* (2007: 3) han señalado que:

“Las reseñas geohistóricas de Montejano (1993) permiten conocer con certeza cómo era la vegetación circundante. Así, antes del comienzo de la explotación minera, en el último cuarto del siglo XVIII, la Sierra estaba casi deshabitada y cubierta de frondosos bosques, los cuales abastecieron de forma (...) abundante a las haciendas y minas (...) Transcurridos 50 años, alrededor de 1825, no quedaba ni un árbol ni matorral”

Opinion basada en la descripción de Henry Ward que se refería a la parte noroeste del macizo montañoso y que se aplicó indiscriminadamente a

todo el distrito, aunque Ward no conoció la vertiente este de la Sierra, que por encontrarse en la adiabática húmeda y presentar una pendiente mucho más suave, resulta ser la más fértil. El análisis detallado del libro de Montejano sólo permite encontrar menciones aisladas y tan pobres que imposibilitan toda inferencia sobre cómo era la vegetación de la Sierra, al momento del descubrimiento; claro que existen fuentes como los informes de Silvestre López Portillo del año 1779 (Velázquez 1987: 395, 481, 489), las del mismo Ward sobre la Llanura de San Cristóbal, realizadas en 1826 y las de Robert Phillips de 1822 (Phillips 1973), desgraciadamente no habían sido analizadas con la profundidad necesaria. Adicionalmente se cuenta con evidencias documentales que sugieren la posibilidad de que al efecto de las actividades industriales se haya superpuesto otro, de índole diferente, provocado por una serie de fenómenos climáticos (ciclos alternados de sequía y fuertes precipitaciones acompañadas por violentas riadas) que se discute a continuación.

Un breve análisis de los fenómenos que se han manifestado en los últimos años en el Altiplano potosino ha demostrado que la vulnerabilidad de los paisajes de *Wirikuta* a los extremos del clima es grande. Debido a que más del 100% de su superficie se encuentra en el Desierto Chihuahuense y está, por consiguiente, amenazada por ciclos alternados

de sequias y violentas precipitaciones. Las sequias que se han definido, desde el punto de vista meteorológico, como “Una función del déficit de precipitación con respecto a la precipitación media anual o estacional de largo periodo, y su duración en una determinada región” (Hernández-Cerda *et al.*, 2004: 315); se han presentado en forma recurrente en la década pasada; dependiendo de su intensidad y duración han tenido diversos impactos en los sistemas productivos, en ocasiones, realmente catastróficos. Actualmente se ha podido determinar que la forma de variabilidad interanual, más conocida “El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) que altera los patrones climáticos globales con periodos de dos a siete años (Magaña *et al.*, 2004); en ocasiones, se ha manifestado en el territorio potosino, produciendo sequías con pérdidas económicas multimillonarias, La Niña parece provocar un efecto contrario. El Niño y su contraparte La Niña corresponden a una condición en la que la temperatura de la superficie del mar presenta anomalías positivas o negativas, en una porción del océano Pacífico, que va desde las costas de Ecuador y Perú hasta el Pacífico central (Magaña *et al.*, 2004). Estos eventos son definidos de la forma siguiente (Null, 2009):

El Niño se define como una anomalía positiva de la temperatura superficial del océano (SST), igual o mayor a $+0.5^{\circ}\text{C}$, durante cinco meses consecutivos.

La Niña se define como una anomalía negativa de la temperatura superficial del océano (SST), igual o mayor a -0.5°C , durante cinco meses consecutivos.

Los valores umbrales son los siguientes:

Eventos débiles cuando la anomalía SST, positiva o negativa, se encuentra entre 0.5 y 0.9;

Eventos moderados cuando la anomalía SST, positiva o negativa, se encuentra entre 1.0 y 1.4;

Eventos fuertes cuando la anomalía SST, positiva o negativa, es ≥ 1.5 ;

Un evento se considera dentro de cierta categoría cuando ha igualado o excedido el valor umbral al menos tres meses.

Para Magaña *et al.* (2004) el Niño es una anomalía positiva de la temperatura superficial del Pacífico, de entre 2 y 5°C ; que produce cambios en la circulación atmosférica global, que alteran el clima mundial, fundamentalmente afectando el ciclo hidrológico, en regiones tropicales y subtropicales. Las variaciones producidas son proporcionales a la intensidad de la anomalía de la temperatura de la superficie del océano Pacífico ecuatorial del este.

Los eventos registrados se presentan en la siguiente tabla:

El Niño			La Niña		
Débil	Moderado	Fuerte	Débil	Moderado	Fuerte
1951	1986	1957	1950	1954	1955
1963	1987	1965	1956	1964	1973
1968	1994	1972	1962	1970	1975
1969	2002	1982	1967	1998	1988
1976		1991	1971	1999	
1977		1997	1974	2007	
2004			1984		
2006			1995		
			2000		

Fuente: Null, j. 2009, Golden Gate Weather Services, CCM.

Los eventos de El Niño más intensos, registrados desde 1950, ocurrieron en 1982-83 y en 1997-98, cuando la anomalía SST rebasó los 4°C. El Niño de 1997-98 alteró profundamente la composición y estructura de las formaciones de matorral Crasicaule en el Altiplano Potosino, produciendo pérdidas cuantiosas a los agricultores y ganaderos y un récord en los incendios forestales. En el periodo de 1997-98 la falta de nubosidad y el consiguiente aumento en la radiación – como afirman Magaña, *et al.* (2004) – provocaron efectos extraordinarios en la fenología de los ecosistemas desérticos, produciendo un florecimiento extraordinario en las formaciones de los desiertos Chihuahuense y Sonorense. Las mismas causas provocaron, en el mismo periodo, una helada extraordinaria que

altero fuertemente a los paisajes del Altiplano potosino, provocando la destrucción masiva de muchas de las formaciones de matorral crasicale, modificando, por consiguiente, su composición y corriendo su frontera hacia el sur, todavía en la actualidad los restos de estos organismos pueden demostrar la debacle. No es correcto pensar que toda la variabilidad climática en San Luis Potosí se debe al ENOS (El Niño y La Niña), seguramente otros factores influyen, e influyeron, en la variabilidad interanual, desgraciadamente no conocemos casi nada sobre ellos, por ejemplo, se ignora que factores controlan la variabilidad interanual del llamado Monzón Mexicano, en el noroeste del país (Magaña *et al.*, 2004). Estos resultados demuestran la actual importancia de los factores climáticos, y en la presente investigación se han obtenido documentos que demuestran que en el pasado estas mismas variables ejercieron el mismo control sobre la composición y dinámica de los ecosistemas de *Wirikuta*. Es posible que al efecto de las actividades industriales, que se manifestó en cambios en el uso de la tierra y desmontes masivos, se haya sobrepuesto otro, provocado por una serie de ciclos de sequía y fuertes precipitaciones acompañadas por violentas riadas.

Senosian y Dibildox (1939; citados por (Montejano y Aguiñaga, 1974) señalan que el 2 de mayo 1787 después de una terrible sequía cayó en Matehuala un furioso granizo del tamaño de un huevo de paloma que dejó

a los árboles sin ornato y a los mineros sin alimento. Doris Ladd (1976: 48) habla de una serie de sequías en Bocas a fines del siglo XVIII que provocaron la muerte de miles de animales, Alejandro de Humboldt (2004: 47) refiere que el 28 de agosto de 1784 se heló el maíz, después de una sequía extraordinaria por lo que perecieron más de 300 000 habitantes en todo el reino (7% de la población nacional). Sólo en Guanajuato murieron 8 000 individuos. Por último Velásquez (1987) refiere que en Catorce los niños andaban suspirando con su canastita por la falta de alimentos provocada por esta helada que destruyó los frutos en Matehuala. Se considera posible que los sitios despojados de su cobertura vegetal y expuestos a las terribles sequías finiseculares hayan perdido la humedad del suelo y su estructura; si a estos fenómenos siguieron fuertes lluvias entonces el suelo sufrió un terrible proceso de erosión y perdió su potencial productivo.

Hemos demostrado los efectos deletéreos de la variabilidad climática y en la planeación estratégica del sitio debemos sumar el cambio climático (CC). El IPCC, ha establecido, en su IV Informe, que el calentamiento del sistema climático global es inequívoco, como lo evidencian las observaciones de los incrementos en las temperaturas medias del aire y del océano, el derretimiento generalizado del hielo y de la nieve, y la elevación del nivel medio del mar (IPCC, 2007: 5). Este fenómeno,

sumado a la variabilidad climática, afecta a los ecosistemas y a los sistemas productivos de diversas formas, para los propósitos de la presente investigación, fue particularmente importante el efecto que el CC puede tener sobre la integridad funcional de los ecosistemas. Desgraciadamente, ignoramos en qué medida cambiarán la precipitación y la dinámica hidrológica de las cuencas del Altiplano Potosino. También desconocemos las formas en que estos cambios afectarán la disponibilidad de agua, la evapotranspiración, la capacidad de carga y los coeficientes de agostadero. Carecemos de información sobre las consecuencias del CC en los sistemas productivos agro-silvo-pastoriles del sur del Desierto Chihuahuense; y sobre otros perniciosos efectos que el CC puede producir en San Luis Potosí, como las modificaciones en la biodiversidad, la degradación de los suelos, la alteraciones de la dinámica del paisaje y posiblemente la extinción de especies vulnerables.

En México, se han realizado diversos estudios, a nivel país, sobre el Cambio Climático (CC), que ha permitido disminuir las incertidumbres sobre el fenómeno y construir escenarios nacionales del CC y sus efectos sobre los ecosistemas y los sistemas productivos. Se ha conseguido asociar la aparición de condiciones hidrometeorológicas extremas con fenómenos climáticos de baja frecuencia como El Niño, y se han determinado los daños económicos y las pérdidas de vidas humanas,

provocados por estas anomalías climáticas en diversas cuencas del país. Se han obtenido resultados interesantes a partir de Modelos de Circulación General (MCG), que se han corrido bajo diferentes escenarios de emisión. Las conclusiones, de baja resolución, lucen preocupantes, es probable que el clima nacional sea cada vez más cálido entre el 2020 y el 2080, principalmente en el norte del país; otros resultados proyectan, en ese periodo, para México, una disminución en la precipitación del 10%, y un incremento de 2°C de temperatura media.

Según Villers y Trejo (2004) la duplicación en la concentración del CO₂ atmosférico, podría provocar cambios en el patrón de distribución de las comunidades vegetales en el país. En lo general, ante el CC, las comunidades vegetales enfrentarán presiones, como el incremento en la aridez o rangos más altos de precipitación. Es posible que el hábitat de los bosques templados se reduzca considerablemente, y que estas áreas sean ocupadas por bosques espinosos y matorrales xerófitos, lo que alterará de diferentes formas la capacidad de carga animal de los actuales agostaderos. Mientras, algunos climas; como el árido templado, correspondiente a las áreas de distribución de los pastizales; podrían desaparecer totalmente (estas zonas son especialmente importantes en el Wirikuta por sus relativamente buenos coeficientes de agostadero).

Otros datos importantes son – de acuerdo con el IPCC – una disminución en el escurrimiento, de hasta un 20% y una mengua, aún no determinada en la recarga, en las 1473 cuencas hidrológicas e hidrográficas del territorio nacional, que podrían presentarse en los próximos años.

Pero toda esta información, tan relevante, no permite la obtención de conclusiones útiles para construir escenarios de impacto y vulnerabilidad a escala regional o local, ya que, como resulta lógico, los escenarios nacionales de Cambio Climático son de baja resolución, y no permiten incorporar forzantes del clima regional, como la topografía, la cobertura vegetal y la humedad del suelo, aspectos muy relevantes a escalas locales. La heterogeneidad espacial en la distribución de estos forzantes locales provoca que el CC se manifieste en formas diversas en diferentes regiones. Lo que justifica la pertinencia de realizar estudios de vulnerabilidad a nivel regional. Por esta razón, no pueden ser utilizados modelos de baja resolución, diseñados para los estudios nacionales, en la construcción de estrategias de adaptación regional, tampoco se pueden aplicar soluciones sencillas, como el aumento de resolución (reducción de escala), mediante la interpolación de una malla de baja resolución a una de alta resolución, sumando sencillamente la anomalía derivada de los MGC a una climatología de alta resolución espacial, pues los resultados son poco sensibles a la influencia de forzantes locales, como la

deforestación o la orografía, que provocan las diferentes respuestas locales, por lo anterior, es preciso construir escenarios climáticos específicos regionales, aplicando métodos modernos de base estadística para realizar la tarea. La construcción de escenarios futuros (climáticos, ecológicos, sociales y económicos) y la comparación de éstos con las condiciones actuales e históricas, permite proponer tendencias probables sobre cambios en la cantidad de precipitación o en la temperatura, en la distribución espacial y temporal de estas variables climáticas, en la evapotranspiración, en la disponibilidad de agua para las comunidades bióticas y humanas, y en la dinámica del paisaje; información de la mayor importancia para la Sociedad, pues nos permiten construir las estrategias de adaptación y mitigación indispensables para el establecimiento de nuestras políticas de desarrollo.

Demostrada la importancia de los factores climáticos, resultó evidente que no es posible identificar directamente la relación entre el funcionamiento del sistema minero-metalúrgico y los perniciosos procesos descritos por Ward sin entender el *metabolismo industrial* del sistema, dilucidado en la primera parte del estudio, y definido, para los propósitos de la presente investigación, como: el conjunto integrado y organizado de procesos físicos y químicos que efectuaron constantemente los sistemas

industriales, en el periodo y área de estudio, para convertir, mediante el trabajo, materias primas y energía en productos terminados y residuos.

En este punto, es preciso reconocer, que las fuentes documentales del fenómeno son bastas, aunque por la complejidad de las interacciones, apenas se empiezan a entender las diferentes contribuciones de las actividades humanas y los factores físicos, biológicos y ecológicos que determinaron la conformación de los paisajes de Catorce; y es precisamente por estas dos razones, por la que resulta importante estudiar el caso, pues la manifestación de un cambio ecológico, de gran magnitud, y perfectamente documentado, en un periodo tan corto de tiempo, posiblemente nos permita definir, con cierta exactitud, los factores ecológicos involucrados permitiendo una mejor comprensión, a un problema tan complejo.

Las conclusiones del presente trabajo demuestran que si bien las actividades minero-metalúrgicas provocaron impactos significativos en el paisaje de *Wirikuta*, se ha sobreestimado su efecto sobre algunos ecosistemas, en el periodo comprendido entre 1772 y 1827; obviando otros factores importantes de carácter climático.

La deforestación, la erosión y la alteración del funcionamiento del paisaje de *Wirikuta*, que se presentó, principalmente en la parte norte de la Sierra de Catorce, en el periodo de estudio; no fue consecuencia exclusiva de

las actividades industriales, se debió también a un periodo de anomalías climáticas (intensas sequías seguidas de violentas precipitaciones) que se presentó a fines del siglo XVIII. La reciente manifestación de los ciclos de sequía y violentas lluvias provocados por El Niño y La Niña, a fines del siglo pasado lo demuestra. Estudios recientes realizados por Sud *et. al.* (1996; citado por Magaña, 1999), demuestran que la deforestación afecta el ciclo hidrológico al modificar la evapotranspiración, la humedad en el suelo y los efectos que la vegetación ejerce sobre los vientos. El mismo Magaña (1999) escribe que una sequía es fundamentalmente consecuencia de las fenómenos naturales relacionados con la circulación atmosférica pero, si a dichas variaciones atmosféricas, añadimos los cambios en el uso del suelo, y las perturbaciones provocadas, a nivel local, en la integridad funcional de los ecosistemas, entonces los impactos negativos producidos por la variabilidad y el CC se incrementan, como en una caja de resonancia, comprometiendo, incluso, la existencia misma de los ecosistemas. Como parte de la presente investigación se ha realizado la caracterización y diagnóstico de las Cuencas El Salado e Interior de Matehuala a escala 1:250 000 en la parte correspondiente al Sitio Sagrado Natural de Wirikuta encontrando los siguientes resultados que se relacionan con el objeto de la presente investigación: entre 1976 y 2000 el 17.87% de la circunscripción territorial de las dos subcuencas ha

cambiado su uso de la tierra; en el mismo periodo, se ha eliminando la cobertura vegetal de 62 065,13 ha, para destinarlas a la agricultura. Este régimen de disturbio ha provocado simultáneamente el aumento del albedo y la alteración de los ciclos hidrológicos; no menos importante resulta que 127 169.28 ha de la superficie de las dos subcuencas presenten erosión alta y muy alta (17.61%), lo que provoca anomalías en la humedad del suelo.

Los resultados obtenidos sugieren que las formaciones de matorrales micrófilos de *Larrea tridentata* (DC.) Cov., y *Flourensia cernua* DC., se encontraban en la vertiente oeste de la Sierra de Catorce (Llanura de San Cristóbal) cuando menos desde el siglo XVI y su invasión sobre los pastizales no fue originada por un aumento en la actividad ganadera, consecuencia de la bonanza minera. Sin embargo, las asociaciones y consociaciones correspondientes sí pudieron haber sufrido fuertes modificaciones en su composición, estructura y funcionamiento, tal y como se ha observado en estudios realizados en el sitio. Para los propósitos del Plan de Manejo de *Wirikuta* eliminar por completo los factores que favorecen el establecimiento del matorral micrófilo podría resultar contraproducente, pues la eliminación de este tipo de arbustadas implica la desaparición del *hikuri* del sitio sagrado.

En siete diferentes áreas de *Wirikuta* y su zona de influencia (establecida en el Plan de Manejo correspondiente) existen acumulaciones significativas de sustancias peligrosas asociadas a las actividades minero-metalúrgicas realizadas en el sitio y periodo de estudio.

El Metabolismo Industrial del sistema minero-metalúrgico en el Distrito Minero de Catorce (*Wirikuta*), entre 1772 y 1827, presentaban un carácter particular, resultado de la adaptación de los procesos tecnológicos a las condiciones de los paisajes que constituían su base de sustentación (climáticas; derivadas de las características de los minerales procesados; de disponibilidad de insumos; económicas, sociales e institucionales,) que determinaron las razones complejas de su aplicación.

6. Referencias

I. Prigogine, I. Stengers. (1984). *Order Out The Chaos* . London: Heinemann.

A. Velázquez, J.M. Maass, Díaz-Gallegos, J.R. Mayorga-Saucedo, R.P.C. Alcántara, R. Castro, R. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra, J.L. Palacio. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica* (062), 21-38.

A.G.N. *Minería*, volumen 46. Documento remitido por los Diputados de *Minería Mateo Gracia y José Ignacio de Escalante el 21 de abril de 1801*. Localizados por Palmer.

Adams, W. M. (2006). *El Futuro de la Sostenibilidad, Re-pensando el Medio Ambiente y el Desarrollo en el Siglo XXI*. IUCN, The World Conservation Union.

AHESLP, FAMCH, leg. 1671, exp. 03, Fs. 1-25.

AHESLP, FAMCH, leg. 1673, exp. 01, Fs. 3. (s.f.).

AHESLP, SGG, 1826, febrero (2). (febrero 14 de 1827). *Carta de Juan Francisco Valdés a José Idelfonso Díaz de León gobernador del estado de San Luis Potosí*. Catorce.

Alzate, A. (1831). Elogio Histórico del Sr. D. Francisco Javier de Gamboa Regente que fue de esta Real Audiencia de México. *Gaceta de Literatura de México* , 373-384.

Anónimo. (2007). *Mapa de las Cuencas Hidrográficas de México escala 1: 250 000. Cartografía en formato digital* . México: INEGI-INE-CONAGUA.

Anonimo. (2005.). *Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-being: Synthesis* . Washington, DC.: Island Press.

Anonimo. (2005b). *Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Washington, DC.: Island Press.

Anónimo. (2008). *Panorama minero del estado de Hidalgo*. Pachuca: Coordinación General de Minería, Servicio Geológico Mexicano.

Anónimo. (1783 (1979)). *Reales Ordenanzas para la Dirección, Régimen y Gobierno del Importante Cuerpo de la Minería de Nueva-España y de su Real Tribunal General. Por orden de su Majestad* (Facsimilar ed.). Madrid. México: Prensas de D. Joaquín Ibarra. Sociedad de Ex-Alumnos de la Facultad de Ingeniería.

Anónimo. (2002). *Síntesis de Información Geográfica del Estado de San Luis Potosí*. México: INEGI.

Anónimo. (1999). *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. Washington D.C.: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service .

Anonym. (2000). *Ecoregion-Based Conservation in the Chihuahuan Desert: A Biological Assessment*. México: WWF, Conabio, The Nature Conservancy, PRONATURA Noreste, ITESM.

Arregui, D. (1980). *Descripción de la Nueva Galicia* . Guadalajara: Gobierno del Estado de Jalisco, Secretaría General de Gobierno, Unidad Editorial.

Ayres, R. (1994). What is industrial metabolism? En *Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable Development* (págs. 8-23). Tokyo: United Nations University Press. The United Nations University.

B.T. Bestelmeyer, J.E. Herrick, J.R. Brown, A.A. Trujillo, K.M. Havstad. (2004). Land Management in the American Southwest: A State-and-Transition Approach To Ecosystem Complexity . *Environmental Management* , 34 (1), 38-51.

Bakewell, P. (1997). *Minería y Sociedad en el México Colonial, Zacatecas 1546-1700*. México: Fondo de Cultura Económica.

Barba, A. A. (1770 (1932)). *Arte de los Metales en que se Enseña el Verdadero Beneficio de los de Oro y Plata por Azogue. El modo de Fundirlos Todos, y como se han de refinar, y apartar unos de otros*. Madrid: En la oficina de la Viuda de Manuel Fernández, Casa C. Bermejo. Ed. Facsimilar.

Barba, R. (2003). *Los tres primeros dueños de la Hacienda de Matehuala. San Luis Potosí*. . San Luis Potos: Archivo Histórico del Estado de San Luis Potosí, Cuadernos del Archivo 9.

Bargalló, M. (1966). *La química inorgánica y el beneficio de los metales en el México prehispánico y colonial* . México D.F.: Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México. .

Bargalló, M. (1969). *La amalgamación de los minerales de plata en Hispanoamérica Colonial*. México D.F.: Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey. .

Brading, D. (2004). *Mineros y comerciantes en el México borbónico (1763-1810)*. (R. G. Ciriza, Trad.) México: Fondo de Cultura Económica.

Burkett, P. (2006). *Marxism and Ecological Economics: Toward a Red and Green Political Economy*. Leiden: Koninkijkje Brill NV.

Bustamante, C. (2003). *Diario Histórico De México, 1822-1848*. México: Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Colegio de México.

Butzer, K. W. (2005). Environmental history in the Mediterranean world: cross-disciplinary. *Journal of Archaeological Science* (32), 1773-1800.

C.A. Johnston, R.J. Naiman. (1990). Aquatic patch creation in relation to beaver population trends. *Ecology* (71), 1617-1621.

Cabrera, O. I. (1975). *El Real de Catorce* . San Luis Potosí, S.L.P.: Sociedad Potosina de Estudios Históricos.

Canudas, S. (2005). *Plata en la historia de México. Síntesis de la historia económica, siglo XIX, tres tomos*. Villahermosa: Utopía, Editorial de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Cárdenas, A. (1992). *Monografía Geológico Minera de San Luis Potosí*. México: Consejo de Recursos Mineros, Secretaría de Energía Minas e Industria Paraestatal. Subsecretaría de Minas e Industria Básica.

Carrión, L. (1900). *Metalurgia por vía seca del plomo, plata, cobre, mercurio y oro*. Pachuca: Tipografía del Gobierno del Estado.

Castillo-Martos, M. (2006). *Bartolomé de Medina y el siglo XVI*. Santander: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria.

Castillo-Martos, M. (2008). Estudio Preliminar. En L. B. Montalvo, *Informes para obtener plata y azogue en el mundo hispánico* (págs. XIII-LXIX). Granada: Editorial Universidad de Granada.

Chávez, O. (1987). *La situación del minero asalariado en la Nueva España a fines del siglo XVIII*. México: UCPEET/STPS.

Chivarra, J. L. (junio de 2007). Génesis del Mundo. (J. A. Ávalos-Lozano, Entrevistador)

Christensen, J. (2005). Are We Consuming Too Much: It turns out we may be worrying too much about how much we consume and far too little about how to invest, , Vol. , no. . *Conservation in Practice* , 6 (3).

Clavijero, F. J. (2003). *Historia Antigua de México* . México: Editorial Porrúa .

Collins, H. (1899). *Metallurgy of Lead & Silver, Part I. - Lead*. London: Edited by W.C. Roberts-Austen, K.C.B., D.C.L., F.R.S., Charles Griffin & Company, limited.

Collins, H. (1900). *Metallurgy of Lead & Silver, Part II. - Silver*. London: Edited by W.C. Roberts-Austen, K.C.B., D.C.L., F.R.S., Charles Griffin & Company, limited,.

Commoner, B. (2001). The Once and Future Threat of the Petrochemical Industry to the World of Life. *New Solutions* , 1, 1-12.

Cook, S. F. (1949). *The Historical Demography and Ecology of the Teotlapan* . Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

Cramaussel, C. (1999). Sociedad colonial y depredación ecológica: Parral en el siglo XVII. En G. B. González (Ed.), *Estudios sobre historia y ambiente en América* (Vol. I). México: Instituto Panamericano de Geografía e Historia, El Colegio de México.

Cronon, W. (1992). *Nature's Metropolis: Chicago and the Great West*. New York, London : W. W. Norton & Company.

Cronon, W. (2003). *Changes in the Land: Indian, Colonists, and the Ecology of New England*. New York: Hill and Wang, a division of Farrar, Straus and Giroux.

Cronon, W. (1990). Modes of Prophecy and Production: Placing Nature in History . *The Journal of American History*, 76 (4) , 1122-1131.

Cronon, W. (1993). The Uses of Environmental History. *Environmental History Review* , 17 (3), 1- 22.

Cronshaw, H. (1921). *Silver Ores* . London: John Murray.

D. M. Olson, E. Dinerstein. (1998). The Global 200: A representation approach to conserving the earth's most biologically valuable ecoregions. *Conservation Biology* (3), 502-512.

D. Pimentel, C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Shpritz, L. Fitton, R. Saffouri, R. Blair. (1995). Environmental and Economic Cost of Soil Erosion and conservation benefits. *Science* , 267, 1117-1123.

D.H. Meadows, D.L. Meadows, J. Randers. (1993). *Más Allá de los Límites del Crecimiento*. Madrid: Ediciones El País S.A./Aguilar S.A. de ediciones Juan Bravo.

Del Río y Fuentes, A. (1959). *Nociones de Mineralogía y Geología* . México D.F.: Secretaria de Educación Pública, Instituto Federal de Capacitación del Magisterio. Imp. Galve. .

Del Río, A. (1832). *Elementos de Orictognosia ó del Conocimiento de los Fósiles; según el sistema de Bercelio y según los principios de Abraham*

Gottlob Werner, con la sinonimia inglesa, alemana y francesa, para uso del Seminario Nacional de Minería de México, Parte práctica. México: Imprenta de Juan F. Hurtel, Filadelfia. .

Duport, S. (1843). *Métaux Précieux au Mexique Considérée Dans ses Rapports Avec La Géologie, La Métallurgie et L'Économie Politique.* Paris: Chez Firmin Didot Frères, Libraires.

E. P. Odum, G.W. Barret. (2005). *Fundamentals of Ecology* (Fifth ed.). Australia: Thomson, Brooks/Cole,.

E. Weiher, G.D.P. Clarke, P.A. Keddy. (1998). Community assembly rules, morphological dispersion, and the coexistence of plant species. *OIKOS* (81), 309-322.

Elhuyar, F. d. (1818 (1979)). *Indagaciones sobre la Amonedación en la Nueva España.* Madrid: Imprenta de La Calle de la Greda. México. Miguel Angel Porrúa, S.A. Ed. Facsimilar.

Elhuyar, F. d. (1825 (1964)). *Memoria sobre el influjo de la Minería En la Agricultura, Industria, Población y Civilización de la Nueva – España en sus diferentes épocas, con varias disertaciones relativas a puntos de economía pública conexos con el propio ramo.* Madrid, México: Imprenta de Amarita. Consejo de Recursos Naturales No Renovables. Ed. Facsimilar.

Engels, F. (2006). Viejo prólogo para el Anti-Dühring . En *Introducción a la Dialéctica de la Naturaleza: y otros escritos sobre dialéctica*, , . Madrid: Fundación de Estudios Socialistas Federico Engels.

F. Burel, J. Baudry, . (2004). *Landscape Ecology: Concepts, Methods and Applications*. Enfield, New Hampshire: SCIENCE PUBLISHERS, INC.

Flores, T. (1920). *Estudio Geológico-Minero de los distritos del Oro y Tlalpujahuá* (Vol. Boletín Núm. 37). México: Instituto Geológico de México, Secretaría de Gobernación, Dirección de Talleres Gráficos.

Foladori, G. (2001). *Controversias Sobre Sustentabilidad: La Coevolución Sociedad- Naturaleza*. México, D.F.: Universidad Autónoma de Zacatecas, Miguel Angel Porrúa.

G. Bocco, A. Priego, H. Cotler. (2005). La Geografía Física y el Ordenamiento Ecológico del Territorio. Experiencias en México,. *Gaceta Ecológica* (076).

G. Bocco, M.E. Mendoza, A. Priego, A. Burgos. (2009). *La cartografía de los sistemas naturales como base geográfica para la planeación territorial*. México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Gamboa, F. d. (1874). *Comentarios a las Ordenanzas de Minas* . México: Imprenta Díaz De León y White.

Garcés y Eguía, J. (1873). *Nueva Teórica y Práctica del Beneficio de los Metales de Oro y Plata*. México: Imprenta de Díaz de León y White.

García, E. (2007). Los límites desbordados: Sustentabilidad y decrecimiento. *Trayectorias*, año IX (24), 7-19.

González, J. R. (1956). *Riqueza minera y yacimientos minerales en México* (3 ed.). México: Banco de México, Departamento de Investigaciones.

González-Costilla, O. (2005). *Relación entre Bioclima y Vegetación en la Sierra de Catorce y Territorios Adyacentes (Altiplano Norte del Estado de San Luis Potosí, México)*, Tesis doctoral. Universidad Computlense de Madrid, Facultad de Farmacia, Departamento de Biología Vegetal II.

González-Medrano, F. (2003). *Las comunidades vegetales de México. Propuesta para la unificación de la clasificación y nomenclatura de la vegetación de México*. México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).

H. Cotler, A. Garrido, R. Mondragón, A. Díaz. (2007). *Delimitación de cuencas hidrográficas de México, a escala 1:250,000*. México: INEGI-INE-CONAGUA. Documento Técnico.

H. Cotler, A. Garrido, R. Mondragón, A. Díaz. (2007). *Delimitación de cuencas hidrográficas de México, a escala 1:250,000, Documento técnico*. México: INEGI-INE-CONAGUA.

H. Cotler, A. Priego. (2004). El Análisis del Paisaje como base para el Manejo Integrado de Cuencas: El Caso de la Cuenca Lerma-Chapala. En H. C. (Comp.), *El manejo integral de cuencas en México*. México: SEMARNAT, INE.

Halse, E. (1908). *A Dictionary of Spanish and Spanish-American mining, metallurgical and allied terms, to which some Portuguese and Portuguese-American (Brazilian) terms are added*. London: Ballantyne & Co. Limited.

Hardin, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science* (162), 1243-1248.

Hausberger, B. (1993). Una iniciativa ecológica contra la industria minera en Chihuahua (1732). (J. Covarrubias, Trad.) *Separata de: Estudios de Historia Novohispana*, XIII, 116-134.

Humboldt, A. d. (2004). *Ensayo Político sobre el Reino de la Nueva España* (Séptima ed.). México: Editorial Porrúa.

IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the*

Intergovernmental Panel on Climate Change. (P. R. Core Writing Team, Ed.) Geneva, Switzerland: IPCC.

J. A. Ávalos-Lozano, P. Medellín M., M. Aguilar-Robledo, L. M. Nieto-Caraveo. (mayo-agosto de 2007). Amenaza previsible. Lecciones de la historia sobre la aplicabilidad del principio precautorio. *Trayectorias, año IX, núm. 24*, 31-44.

J. Dovalina, G. Vivar, M. Santillan, C.G. Mijares. (1923). Catalogo sistemático de especies minerales de México y sus aplicaciones industriales,. *Boletín número 40 del Instituto Geológico de México*, 1-290.

J. Null, J. (2009). *El Niño/Oscilación del Sur (ENOS)*. Golden Gate Weather Services, CCM.

J.A. Reyes-Agüero, F. Gonzalez-Medrano, J.D. García-Pérez. (1996). Flora Vascular de la Sierra Monte Grande, Charcas, San Luis Potosí, México. *Bol. Soc. Bot.* (58), 31-42.

J.A. Reyes-Agüero, J. Aguirre-Rivera. (1998). Fitogeografía de la Sierra Monte Grande, Charcas, San Luis Potosí. *Caldesia*, 21 (1), 50-69.

J.L. Flores F., R.I. Yeaton H. (2000). La importancia de la competencia en la organización de las comunidades vegetales en el Altiplano Mexicano. *Interciencia*, 25 (8).

J.L. Lassága, J. Velázquez de León. (1774 (1983)). *Representación que a Nombre de la Minería hacen al Rey los Apoderados D. J. L. de Lassága, Regidor de esta Ciudad, y Juez Contador de Menores y Albaceazgos: y D. J. Velásquez de León, Abogado de la Real Audiencia y Catedrático de la Real Universidad*. México: D. Felipe de Zúñiga y Ontiveros. Sociedad de Ex-Alumnos de la Facultad de Ingeniería. Ed. Facsimilar.

J.M. Fortanelli, F. Carlín, J. G. Loza. (1999). Sistemas Agrícolas de Regadío de Origen Tlaxcalteca en San Luis Potosí. En *Constructores de la Nación. La migración tlaxcalteca en el Norte de La Nueva España*. San Luis Potosí: El Colegio de San Luis, Gobierno del Estado de Tlaxcala.

J.M. Maass, H. Cotler. (2007). El protocolo para el manejo de ecosistemas en las cuencas hidrográficas. En H. C. (comp.) (Ed.), *El Manejo integral de cuencas en México* (2da ed., págs. 41-58). México: Instituto Nacional de Ecología.

J.R. Barbosa-Gudiño, M. Hoppe, M. Gómez-Anguiano, P.R. Martínez-Macias. (2004). Aportaciones para la interpretación estratigráfica y estructural de la porción noroccidental de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21 (3), 299-319.

Jiménez-Domínguez, B. (2001). Contradicciones en la política de la sostenibilidad. *Psicología Política* (23), 77-84.

K. Arrow, P. Dasgupta, L. Goulder, G. Daily, P. Ehrlich, G. Heal, S. Levin, K. Mäler, S. Schneider, D. Starret, B. Walker. (2004). Are We Consuming Too Much? *Journal of Economic Perspectives* , 18 (3), 147-172.

L. Viller, I. Trejo. (2004). Evaluación de la vulnerabilidad en los ecosistemas forestales. En A. F. J. Martínez (Ed.), *Cambio Climático: una visión desde México* (págs. 239-254). México: Instituto Nacional de Ecología, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Ladd, D. (1988). *The Making of a Strike: Mexican Silver Workers' Struggles in Real del Monte 1766-1775*. Nebraska, United States of America: University of Nebraska Press.

Ladd, D. (1976). *The Mexican nobility at Independence, 1780-1826*. Austin: Institute of Latin American Studies.

Lang, M. (1977). *El Monopolio Estatal del mercurio en el México Colonial (1550-1710)*. (R. G. Ciriza, Trad.) México: Fondo de Cultura Económica.

Langue, F. (1999). *Los señores de Zacatecas. Una aristocracia minera del siglo XVIII novohispano*. México: Fondo de Cultura Económica .

León-Portilla, M. (1984). La minería y la metalurgia en el México antiguo. En *Minería Mexicana* (págs. 3-33). México, D.F.: Comisión de Fomento Minero. Editoriales Talleres de Punto Gráfico.

- M. Aguilar Robledo, P. Torres Montero. (2005). Ambiente y cambio ambiental: ¿ejes para reconstruir y reconstruir a la historia ambiental? *Vetas. Revista del Colegio de San Luis*, (en prensa).
- M. G. Forman, M. Godron. (1986). *Landscape Ecology*. New York, Chichester, Brisbane; Toronto, Singapore: John Wiley & Sons, Inc.
- M. León-Portilla, J. Gurría-Lacroix, R. Moreno, E. Madero-Bracho. (1978). *La Minería en México. Estudios sobre su desarrollo histórico*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- M. N. Miriti, S. Rodríguez-Buriticá, S.J. Wright, H.F. Howe. (2007). Episodic Death Across Species of Desert Shrubs. *Ecology*, 88 (1), 32–36.
- M.E Hernández-Cerda, L.A. Torres-Tapia y G. Valdez-Madero. (2007). Sequia Meteorológica México: una visión hacia el siglo XXI. En *El cambio climático en México*. México: Instituto de Geografía, UNAM.
- M.G. Turner, F.S. Chapin-III. (2005). Causes and Consequences of Spatial Heterogeneity in Ecosystem Function. En C. J. G.M. Lovett (Ed.), *Ecosystem Function in Heterogeneous Landscapes* (págs. 9-30). United States of America: Springer Science + Business Media Inc.
- M.G. Turner, R.H. Gardner, R.V. O'Neill. (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice, Pattern and Process*. United States of America: Springer Science+Business Media, LLC,.

M.L. Imhoff, L. Bounoua, T.Ricketts, C. Loucks, R. Harriss, W.T. Lawrence. (2004). Global patterns in human consumption of net primary production. *Nature* , 429 (24).

Magaña, V. (Ed.). (1999). *Los impactos de El Niño en México*. México, D.F. : Universidad Nacional Autónoma de México/InterAmerican Institute for the Global Change Research/Secretaría de Gobernación/Secretaría de Educación Pública-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Magaña, V. (2004). *Los Impactos de El Niño en México*. México: UNAM.

May, R. (1980). Estabilidad en los ecosistemas: algunos comentarios. En *Conceptos Unificadores en Ecología*. Barcelona: Blume Ecología.

Montejano y Aguiñaga, R. (1974). *El Real de Minas de la Purísima Concepción de los Catorce, S.L.P.* (Tercera ed.). San Luis Potosí, S.L.P. : Academia de Historia Potosina, A.C.

Moran, C. R. (2001). *Matehuala Orígenes y Fundaciones*. San Luis Potosí: Ediciones Caracol de Oro, CONACULTA.

Moreno, R. (1984). Régimen de trabajo en la minería de los siglos XVI y XVII. En C. d. Minero, *Minería Mexicana* (págs. 83-95). México, D.F.: Comisión de Fomento Minero, Editorial Talleres de Punto gráfico.

N.L. Christensen, A. Bartuska, J.H. Brown, S. Carpenter, C. D'Antonio, R. Francis, J.F. Franklin, J.A. MacMahon, R.F. Noss, D.J. Parsons, C.H.

Peterson, M.G. Turner, and R.G. Woodmansee. (1996). The scientific basis for ecosystem management. *Ecological Applications* (6), 665-691.

Nieto-Caraveo, L. M. (14 de enero de 1999). En torno al criterio de sostenibilidad: lento análisis, ratificación estancada en México. *Pulso, Diario de San Luis, Sección Ideas* . San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.

O. González-Costilla, J. Giménez de Azcárate, J. P. García, J.R. Aguirre Rivera. (2007). Flórmula Vasculare de la Sierra de Catorce y Territorios Adyacentes, San Luis Potosí, México. *Acta Botanica Mexicana* (78), 1-38.

Odum, E. (1980). La Diversidad como función del flujo de energía. En W. V. McConnell (Ed.), *Conceptos unificadores en ecología* (págs. 14-18). Barcelona: Blume.

Orians, G. (1980). Diversidad estabilidad y madurez en los ecosistemas naturales . En *Conceptos Unificadores en Ecología*. Barcelona: Blume Ecología.

P. Ehrlich, A. Ehrlich. (1981). *Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. New York: Ballantine Books.

P.M. Vitousek, P.R. Ehrlich, A.H. Ehrlich, P.A. Matson. (1986). Human Appropriation of the Products of Photosynthesis. *BioScience* , 36 (6), 368-373.

Palmer, G. (2002). *Real de Catorce: Articulación Regional, 1770-1810*. San Luis Potosí, S.L.P.: El Colegio de San Luis.

Percy, J. (1861). *Metallurgy. The art of extracting metals from their ores and adapting them to various purpose of manufacture*. London : John Murray.

Phillips, R. (1973). *Detalles de un viaje desde Altamira a Catorce* (Serie Cuadernos 28 ed.). San Luis Potosí, S.L.P.: Biblioteca de Historia Potosina.

Pianka, E. (1982). *Ecología Evolutiva*. Barcelona: Ediciones Omega, S.A.

Pimm, S. (1991). *The balance of nature: ecological issues in the conservation of species and communities* . Chicago: The University of Chicago Press .

Platt, J. (1964). Strong Inference: Certain systematic methods of scientific thinking may produce much more rapid progress than others. *Science* , 146 (3642).

Popper, K. (2004). *The Logic of Scientific Discovery*. London, New York: Routledge Classics.

Powell, W. P. (1996). *La Guerra Chichimeca (1550-1600)*,. México : Fondo de Cultura Económica.

Probert, A. (1987). *En pos de la plata: episodios mineros en la historia hidalguense* . Pachuca, Hgo., México : Compañía Real del Monte y Pachuca, S.A., SEMIP.

Prost, G. (1998). *English-Spanish and Spanish-English Glossary of Geoscience Terms*. Australia: Gordon and Breach Science Publishers.

R. Costanza, B.S. Low, E. Ostrom, J.A. Wilson. (2000). Ecosystems and human systems: A framework for exploring the linkages . En R. Costanza (Ed.), *Institutions, Ecosystems and Sustainability* . International Society for Ecological Economics.

R. Costanza, H.E. Daly. (1992). Natural Capital and Sustainable Development . *Conservation Biology* , 6 (1), 37-46.

R. Costanza, R. d'Arge, R. De Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton, M. van de Belt. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *NATURE* , 387.

R.U. Ayres,L. W. Ayres. (1994). Consumptive uses and losses of toxic heavy metals in the United States, 1880-1980. En *Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable Development* (págs. 227-251). Tokyo: United Nations University Press. The United Nations UN.

- R.U. Ayres,U.E. Simonis. (1994). Introduction. En *En Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable Development* (págs. 6-8). Tokyo: United Nations University Press. The United Nations University.
- Ramírez, S. (1884). *Noticia Histórica de la Riqueza Minera de México* . México: Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento.
- Randall, R. (2006). *Real del Monte. Una empresa minera británica en México*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Roberts, J. (2004). *Environmental Policy*. London and New York: Routledge Taylor & Francis Group.
- Ruiz de Esparza, J. (1984). La producción de metales preciosos en los siglos XVI y XVII. En *Minería Mexicana* (págs. 99-107). México, D.F.: Comisión de Fomento Minero: Editoriales Talleres de Punto Gráfico.
- Ruiz de Esparza, J. (1995). *México de oro y plata* . México : Ciencia y Cultura Latinoamérica, S.A. de C.V.
- Rul, M. (1881). *Beneficio y Ensayo de Metales en Guanajuato*. México: El Minero Mexicano, Filomeno Mata, Tipógrafo.
- Rzedowski, J. (1972). Contribuciones a la fitogeografía florística e histórica de México, III, Algunas tendencias en la distribución geográfica y ecológica de las Compositae mexicanas. *Ciencia* (27), 123-132.

Rzedowsky, J. (1961). *Vegetación del Estado de San Luis Potosí, Tesis Doctoral*. San Luis Potosí, S.L.P.: UASLP.

S. Rojstacer, S.M. Sterling, N.J. Moore. (2001). Human Appropriation of Photosynthesis Products. *Science* , 294 (21).

Salazar, G. G. (2000). *Las haciendas en el siglo XVII en la región minera de San Luis Potosí. Su espacio, forma, función, material, significado y la estructuración regional*. San Luis Potosí: UASLP .

Sánchez, S. (2002). La minería novohispana a fines del periodo colonial. Una evaluación historiográfica. *EHN* (27), 123-164.

Santa.María, G. (2003). *Guerra de los Chichimecas (México 1575 - Zirosto 1580)* (2 ed.). (Carrillo-Paleografía., Ed.) El Colegio de Michoacán, Universidad de Guadalajara, El Colegio de San Luis.

Sarría, F. d. (1784). *Ensayo de Metalurgia o descripción por mayor de las catorce materias metálicas, del modo de ensayarlas, del laborío de las minas, y del beneficio de los frutos minerales de la plata,*. México: Impreso por D. Felipe de Zúñiga y Ontiveros .

Sarukhan, J. (1998). Biodiversidad, conservación y desarrollo sustentable. *Bol. Soc. Bot.* (63), 15-20.

Sauer, C. (1925). The Morphology of the Landscape. *Geography* , 2 (2), 19-53.

Sego, E. (1998). *Aliados y Adversarios: Los Colonos Tlaxcaltecas en la Frontera Septentrional de Nueva España* (1 ed.). México: El Colegio de San Luis, Gobierno del Estado de Tlaxcala, Centro de Investigaciones Históricas de San Luis Potosí.

Serio, J. G. (9 de septiembre de 2007). Los espíritus de Wirikuta. (J. Ávalos-Lozano, Entrevistador)

Smith, A. (2002). *La Riqueza de las Naciones*. México: Publicaciones Cruz O., S.A.

Sonneschmid, F. (1825, (1983)). *Tratado de la amalgamación de Nueva España* (Facsimilar ed.). México : Sociedad de Exalumnos de la Facultad de Ingeniería, UNAM.

Stresser-Péan, G. (2000). *San Antonio de Nogalar: La Sierra de Tamaulipas y la frontera noreste de Mesoamérica*. (J. Padin, Trad.) México: Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, El Colegio de San Luis, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Francés de Estudios Mexicanos y Centroamericanos.

Tansley, A. (1935). The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms. *Ecology* , 16 (3), 284-307.

Thornton, J. (2000). Beyond Risk: An Ecological Paradigm to Prevent Global Chemical Pollution. *Journal Occupational Environmental Health* (6), 318–330.

Toledo, V. M. (1998). Prologo. En D. Barkin, *Riqueza, pobreza y desarrollo sustentable*. México: Editorial Jus y Centro de Ecología y Desarrollo.

Urquiola, P. J. (2004). *Documentos sobre el capitán y justicia mayor Gabriel Ortiz de Fuenmayor* (Primera ed.). San Luis Potosí, S.L.P.: El Colegio de San Luis.

V. Magaña, V., J. M. Méndez, R. Morales y C. Millán. (2004). Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad y el cambio climático. En A. F. J. Martínez (Ed.), *Cambio Climático: una visión desde México*. México: Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Vasek, F. (1980). Creosote bush: long-lived clones in the Mojave Desert. *American Journal of Botany* (67), 246–255.

Velásquez, P. F. (1987). *Colección de Documentos para la Historia de San Luis Potosí* (Vol. 3). San Luis Potosí: Archivo Histórico del Estado.

Velásquez, P. F. (2004). *Historia de San Luis Potosí* (Vol. 1). San Luis Potosí : El Colegio de San Luis-Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Venator, M. (1897). *Dictionary of Terms Employed in Mining, Metallurgy And Chemistry, with the respective auxiliary Sciences*. Leipzig: Verlag Von A. Twietmeyer .

Villaseñor y Sánchez, J. (1992). *Teatro americano: Descripción general de los Reynos y Provincias de la Nueva España y sus jurisdicciones* . México, D.F.: Editorial Trillas, S.A. de C.V. .

Von Thünen, H. (1966). *Von Thünen's Isolated State*. (C. M. Wartenberg, Trad.) London : Pergamon Press Ltd.

Ward, H. (1995). *México en 1827* . México: Fondo de Cultura Económica.

Weber, A. (1909). *Theory of The Location of Industries*. (C. Freidrich, Trad.) Chicago: University of Chicago Press.

Whitford, W. (2002). *Ecology of Desert Systems* . San Diego: Academic Press, an Elsevier Science Imprint.

Zaid, G. (2001). Del Mercado al Gigantismo. *Letras Libres* (29).

Zaid, G. (2001). El Futuro de la Revolución Industrial. *Letras Libres* (27).

Zonneveld, I. (1989). The land unit – A fundamental concept in landscape ecology, and its applications . *Landscape Ecology.* , 3 (2), 67-86.