Tópicos Selectos de Sustentabilidad: Un Reto Permanente

Volumen III

Coordinadores:

Alejandro Moreno Reséndez
José Luis Reyes Carrillo
Cándido Márquez Hernández

UJED
Universidad Juárez del Estado de Durango

editorialujed@ujed.mx

UJED

Universidad Juárez del Estado de Durango

ADMINISTRACIÓN CENTRAL DE LA UJED

C. C. P. y M. I. Oscar Erasmo Návar García
RECTOR DE LA UJED

M. I. José Vicente Reyes Espino
SECRETARIO GENERAL DE LA UJED

C. P. Manuel Gutiérrez Corral
ADMINISTRADOR GENERAL DE LA UJED

L. A. Jesús Job Reza Luna
TESORERO GENERAL

Dr. Alfonso Gutiérrez Rocha
DIRECTOR DE SERVICIOS ESCOLARES

Lic. Jacinto Toca Ramírez
DIRECTOR DE PLANEACIÓN Y DESARROLLO ACADÉMICO

Lic. Pedro De La Cruz Álvarez
DIRECTOR DE VINCULACIÓN Y DESARROLLO EMPRESARIAL

C.P. Manuel De Jesús Martínez Aguilar
DIRECTOR DE DESARROLLO Y GESTIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Lic. Alma Patricia Piña Grissman
DIRECTORA DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

Ing. Corín Martínez
DIRECTORA DE DIFUSIÓN CULTURAL

C.P. Y Lic. Eleazar Ramos Varela
CONTRALOR GENERAL

Md. Martha Ofelia Nuñez Álvarez
ABOGADA GENERAL DE LA UJED

M. C. Ana María Álvarez Del Castillo
COORDINADOR INSTITUCIONAL DE POSGRADO DE LA UJED

L. C. Rolando Ramírez Mclean
COMUNICACIÓN SOCIAL Y TV UJED

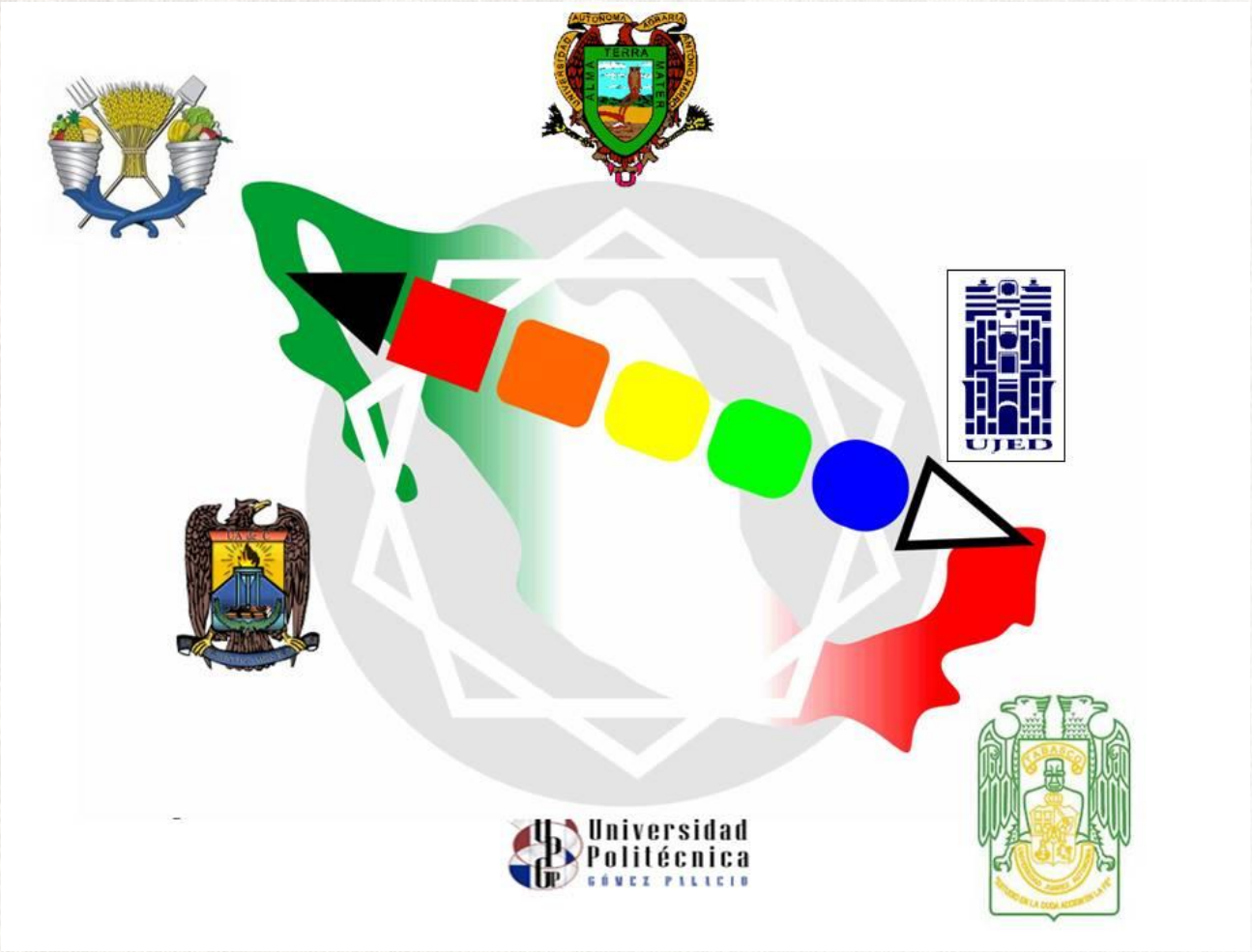
Lic. Gamaliel Ochoa Serrano
COORDINADOR DE LIBRERÍA Y EDITORIAL UJED

La elaboración del **Libro Tópicos Selectos de Sustentabilidad: Un Reto Permanente**. **Volumen III** se derivó del trabajo conjunto y de la colaboración del grupo de Profesores – Investigadores de las diversas instituciones a las que pertenecen los Cuerpos Académicos que forman parte de la Red Académica de Innovación en Alimentos y Agricultura Sustentable (RAIAAS), los cuales se enlistan a continuación, conjuntamente con las Instituciones de Educación Superior (IES) a las que pertenecen dichos cuerpos colegiados:

- Cuerpo Académico Ecología, Biodiversidad y Manejo de Recursos Bióticos, Clave: UJED-CA87, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango
- Cuerpo Académico Ingeniería en Biotecnología y Administración de Negocios Internacionales, Clave: UPGOP-CA-1, Universidad Politécnica de Gómez Palacio
- Cuerpo Académico Sistemas Sustentables para la Producción Agropecuaria de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Unidad Laguna. Clave: UAAAN-CA-14
- Cuerpo Académico Ciencias Biológicas Aplicadas de la Escuela de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Coahuila
- Cuerpo Académico Producción Agropecuaria en el Trópico Húmedo, Clave: UJAT-CA-209. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
- Cuerpo Académico Ciencia y Tecnología de los Alimentos de la Facultad de Ciencias Químicas, Clave: UJED-CA-103. Universidad Juárez del Estado de Durango
- Grupo Interdisciplinario de Vinculación (GRINVIN) de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo
- Cuerpo Académico Construcción Eco-eficiente[1] de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Coahuila

[1] Los Profesores Investigadores de la Facultad de Ingeniería Civil, coordinados por la Dra. Elva Patricia Reyes Díaz, se encuentran trabajando para acreditarse como Cuerpo Académico ante las instancias correspondientes, y recientemente solicitaron su incorporación a la RAIAAS, misma que fue aceptada por los integrantes de esta red académica.

Instituciones participantes en la Red Académica de Innovación en Alimentos y Agricultura Sustentable (RAIAAS)



Proceso de Revisión de los Capítulos del Libro

Como parte del trabajo académico de los Profesores – Investigadores, integrantes de la RAIAAS así como de otros docentes de diversas IES de la Comarca Lagunera, se realizó el proceso de arbitraje, aplicando el sistema doble ciego, por lo cual es necesario otorgar un amplio Reconocimiento a todos aquéllos que colaboraron en este proceso, pues sus críticas, comentarios, observaciones y sugerencias permitieron que los autores y colaboradores, responsables de los capítulos que se incluyen en este III Volumen del libro Tópicos Selectos de Sustentabilidad: Un Reto Permanente, hayan fortalecido los capítulos correspondientes. Los participantes en este proceso fueron:

- MC Lilibet Mendoza Wong[2]
- MC Armando Luévano González[3]
- MC Eduardo Blanco Contreras[3]
- ME Víctor Martínez Cueto[3]
- Dra. Norma Rodríguez Dimas[3]
- Dr. José Luis Reyes Carrillo[3]
- Dr. Héctor Madinaveitia Ríos[3]
- Dr. Jesús Vásquez Arroyo[3]
- Dr. Ricardo Trejo Calzada[4]
- Dr. Aurelio Pedroza Sandoval[4]
- Dr. Cándido Márquez Hernández[5]
- Dr. César Márquez Quiroz[6]

[2] Facultad de Administración Fiscal y Financiera, Universidad Autónoma de Coahuila
[3] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - UL
[4] Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo
[5] Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango
[6] División Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

La información y datos contenidos en los capítulos son responsabilidad exclusiva de los autores correspondientes.

Reuniones de trabajo de los Integrantes de la Red Académica de Innovación en Alimentos y Agricultura Sustentable (RAIAAS)

Tópicos Selectos de Sustentabilidad: Un Reto Permanente

Volumen III

Coordinadores:

ALEJANDRO MORENO RESÉNDEZ

JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

CÁNDIDO MÁRQUEZ HERNÁNDEZ

EDITORIAL DE LA UNIVERSIDAD JUÁREZ DEL ESTADO DE DURANGO

Título: **Tópicos selectos de Sustentabilidad: Un Reto Permanente.**
Volumen III

Primera Edición**: Septiembre 2015.**

Diseño de Libro Digital: **Carlos Martínez Torres.**
Diseño de Interiores: **Carlos Martínez Torres.**
Diseño de Portada: **Carlos Martínez Torres.**
Foto de Portada: **Alejandro Moreno Reséndez**

© D.R.: De los Autores
© D.R.: Facultad de Ciencias Biológicas UJED

© D.R.: De esta edición, Editorial de la Universidad
Juárez del Estado de Durango.
Constitución 404 sur. Zona Centro.
C.P. 34000
Durango, Dgo. 2015

ISBN: 978-607-503-186-6

editorialujed@ujed.mx

Reservados todos los derechos. El contenido de este libro no podrá ser reproducido total ni parcialmente, ni almacenarse en sistemas de reproducción, ni transmitirse por medio alguno sin el permiso previo, por escrito de los autores.

Índice de Contenido

Prólogo----------12

LA BIOFORTIFICACIÓN DE CULTIVOS: UNA ALTERNATIVA QUE CONTRIBUYE A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y NUTRICIONAL 14

César Márquez-Quiroz, Moisés Guillén-Molina, Efraín De la Cruz-Lázaro, Guillermo Castañón-Nájera, Esteban Sánchez-Chávez, Alejandro Moreno-Reséndez, Luís Latournerie-Moreno y Sayani Teresa López-Espinosa 14

AGRICULTURA FAMILIAR: UNA ALTERNATIVA AGROALIMENTARIA EN COMUNIDADES MARGINADAS EN ZONAS ÁRIDAS 24

Aurelio Pedroza-Sandoval, Ricardo Trejo-Calzada, Ignacio Sánchez-Cohen y José Ruiz-Torres 24

ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS, CAMBIO CLIMÁTICO, DEGRADACIÓN DEL SUELO, DESERTIFICACIÓN Y ENFOQUE DE LA AGRICULTURA SUSTENTABLE 53

Alejandro Moreno-Reséndez, José Luis Reyes-Carrillo, César Márquez-Quiroz, Cándido Márquez-Hernández, Rosario Moncayo-Luján 53

INVENTARIO DE VEGETACIÓN Y LA SUSTENTABILIDAD. CASO ÁREA NATURAL PROTEGIDA "SIERRA DE LOBOS" 73

Luis M. Valenzuela-Núñez, Julio César Ríos-Saucedo, Verónica Ávila-Rodríguez, Cándido Márquez-Hernández 73

ESPECIES VEGETALES DE ZONAS ÁRIDAS PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS 87

Ricardo Trejo-Calzada, Aurelio Pedroza-Sandoval, Manuel Reveles-Hernández, José Ruíz-Torres, Jesús G. Arreola-Avila 87

COMPROMISO DE LA INDUSTRIA DEL EMPAQUE EN LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL 105

Rebeca Sandoval-Chávez, Sergio Sandoval-Padilla, Ángel Iván Becerra-Parra 105

PRÓLOGO

En su 23º período de sesiones, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó la resolución 2398 (XXIII), del 3 de diciembre de 1968, y decidió convocar una Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano advirtiendo la "deterioración constante y acelerada de la calidad del medio humano" y "los efectos consiguientes en la condición del hombre, su bienestar físico, mental y social, su dignidad y su disfrute de los derechos humanos básicos, tanto en los países en desarrollo como en los desarrollados" y con ello poner en la mesa los problemas ambientales emergentes que involucran el desarrollo sustentable.

Los elementos esenciales de preocupación como el cambio climático mundial, la explosión demográfica, el creciente consumo de energía, la carencia o desigual acceso al agua, la generación y el manejo de residuos, desechos contaminantes y otros no menos importantes dependiendo de la región, han motivado a investigadores y personas interesadas a realizar acciones que mitiguen el desequilibrio en ese desarrollo. Una importante contribución, es el aporte de información vigente, pertinente y actual a la que puedan tener acceso aquellos preocupados por el tema.

Esta nueva obra, continuación de los dos volúmenes anteriores "*Tópicos selectos de sustentabilidad: un reto permanente Volumen III*", dará continuidad a la aportación de ese conocimiento para aquellas entidades preocupadas por el crecimiento sostenible para las siguientes generaciones.

Dr. José Luis Reyes Carrillo

LA BIOFORTIFICACIÓN DE CULTIVOS: UNA ALTERNATIVA QUE CONTRIBUYE A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y NUTRICIONAL

César Márquez-Quiroz[1*♠], Moisés Guillén-Molina[2], Efraín De la Cruz-Lázaro[1], Guillermo Castañón-Nájera[3], Esteban Sánchez-Chávez[4], Alejandro Moreno-Reséndez[5♠], Luís Latournerie-Moreno[6] y Sayani Teresa López-Espinosa[7]

[1]Integrantes del Cuerpo Académico Producción Agropecuaria en el Trópico Húmedo, Clave: UJAT-CA-209.
[2]Alumno de la Maestría en Ciencias Agroalimentarias, División Académica de Ciencias Agropecuarias.
[3]Integrante del Cuerpo Académico Biología Genómica, Clave: UJAT-CA-219. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa Km. 25, Ranchería La Huasteca 2da Sección. Villahermosa, Centro. Tabasco. Teléfono +52 (993) 358-15-00 Ext. 6604.
[4]Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. Unidad Delicias, Delicias, Chihuahua.
[5]Integrante del Cuerpo Académico Sistemas Sustentables para la Producción Agropecuaria, Clave: UAAAN-CA-14. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Unidad Laguna, Torreón, Coahuila.
[6]Integrante del Cuerpo Académico Manejo de Recursos Genéticos Hortícolas Tropicales, Clave: ITCON-CA-4.
[7]Alumna del Doctorado en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable. Instituto Tecnológico de Conkal, Conkal, Yucatán.
♠ Integrantes de la Red Académica de Innovación en Alimentos y Agricultura Sustentable (RAIAAS) – CIESLAG-COECYT
*Autor para correspondencia: correo electrónico: cesar.marquez@ujat.mx y cesar_quiroz23@hotmail.com

RESUMEN

En la actualidad, la deficiencia de hierro y de zinc en la dieta humana genera problemas de salud en la población, especialmente en los países de menor desarrollo económico. El contenido mineral de los cultivos se ha incrementado mediante el uso de técnicas para proporcionar una solución sostenible y rentable, en este sentido, la biofortificación representa una estrategia potencial para incrementar el contenido de microelementos esenciales. Las investigaciones realizadas acerca de la biofortificación se han enfocado principalmente en cultivos que son de consumo básico para la población humana, el resultado de la aplicación de esta técnica ha permitido incrementar el contenido de microelementos esenciales en la parte comestible y mejorar las características agronómicas. En atención a la temática del presente capítulo, se documentó parte de las investigaciones realizadas en los últimos años acerca de la biofortificación de los cultivos, como una estrategia para reducir la desnutrición y mejorar la seguridad alimentaria nutricional. Lo anterior como parte de la línea de trabajo del Cuerpo Académico Producción Agropecuaria en el Trópico Húmedo, Clave: UJAT-CA-209, desarrollada en el último año, en conjunto con el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C – Unidad Delicias y la Red Académica de Innovación de Alimentos y Agricultura Sustentable (RAIAAS) – CIESLAG-COECYT.

Palabras clave: Agricultura, deficiencia, desnutrición, hierro, malnutrición, zinc.

INTRODUCCIÓN

Las estimaciones más recientes de la FAO indican que el número de habitantes incapaces de satisfacer sus necesidades de energía alimentaria en todo el mundo se redujo hasta 805 millones. Por lo tanto, es probable que alrededor de uno de cada nueve habitantes en el mundo haya padecido hambre crónica, es decir, que carecía de comida suficiente para llevar una vida activa y sana. La gran mayoría, 791 millones de habitantes que padecen hambre, vive en regiones en desarrollo, donde la prevalencia de la subalimentación en 2012-2014 se estima actualmente en el 13.5 % de la población. Por otro lado, en América Latina la prevalencia de la subalimentación en 2012-2014 se estima actualmente en el 5.1 % de la población, lo que equivale a 29.5 millones de habitantes que padecen hambre (FAO *et al.*, 2014), estas cifras colocan a la desnutrición como un importante problema de salud pública.

A pesar que el número de habitantes subalimentados ha seguido disminuyendo, el ritmo de los progresos parece insuficiente para alcanzar las metas internacionales de reducción del hambre; la primera meta consiste en reducir a la mitad el número de habitantes hambrientos, en tanto que la segunda meta, consiste en reducir a la mitad la proporción de habitantes que padecen hambre en el total de la población. En ambos casos se tomó el año 1990 como el inicio y el año 2015 como final del plazo. Derivado del incremento en la tasa de crecimiento demográfico en diversos países afectados por el hambre, el objetivo planteado en la Cumbre Mundial sobre la Alimentación (CMA) en 1996 es el más ambicioso, en comparación con la del Objetivo de Desarrollo del Milenio (ODM) del año 2001.

Aunado a lo anterior, el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), en el año 2002, notificó que la prevalencia de desnutrición crónica en menores de 5 años oscilaba entre 2 % en chile y 49 % en Guatemala, con valores intermedios tales como 14 % en Colombia, 18 % en México y 26 % en Bolivia, estos valores se obtuvieron con base en estadísticas nacionales de 22 países de la Región (UNICEF, 2002). Latham (1997) menciona que las deficiencias nutrimentales están relacionadas con la calidad de la dieta y con la falta de alimentos, por lo que, los trastornos nutricionales con mayor prevalencia incluyen: a) la malnutrición proteico-energética, b) la carencia de vitamina A, c) las anemias nutricionales por deficiencia de hierro, y d) las alteraciones del crecimiento y la respuesta inmune por deficiencia de zinc.

En la actualidad existen cuatro programas para combatir las deficiencias de hierro, deficiencias de zinc, deficiencias de vitamina A y deficiencias de proteína, al respecto, Monserrate-Rojas *et al.* (2009), mencionan que se requiere distribuir suplementos dietéticos a la población, diversificar la dieta mediante el aumento del consumo de carnes, frutas y verduras, fortificar de manera industrial los alimentos básicos y establecer programas de

biofortificación de cultivos, todos ellos con el objetivo de aumentar los niveles de microelementos en la población.

En atención a la temática del presente capítulo, se documentó parte de las investigaciones realizadas en los últimos años acerca de la biofortificación de los cultivos, como una estrategia para reducir la desnutrición y mejorar la seguridad alimentaria nutricional. Lo anterior como parte de la línea de trabajo del Cuerpo Académico Producción Agropecuaria en el Trópico Húmedo, Clave: UJAT-CA-209, desarrollada en el último año, en conjunto con el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C – Unidad Delicias y la Red Académica de Innovación de Alimentos y Agricultura Sustentable (RAIAAS) – CIESLAG-COECYT.

Inseguridad alimentaria

La *inseguridad alimentaria* (IA) identifica la percepción de insuficiencia alimentaria y experiencias de hambre de los hogares, está medición se realiza a través de la Escala Latinoamericana y Caribeña de Seguridad Alimentaria (ELCSA) mediante la construcción de un índice de rezago social definido por las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB). La ELCSA es utilizada en México como un indicador de carencia por acceso a la alimentación de los hogares, que es una de las dimensiones de la pobreza multidimensional que utiliza el Consejo Nacional de Evaluaciones de la Política de Desarrollo Social (Coneval).

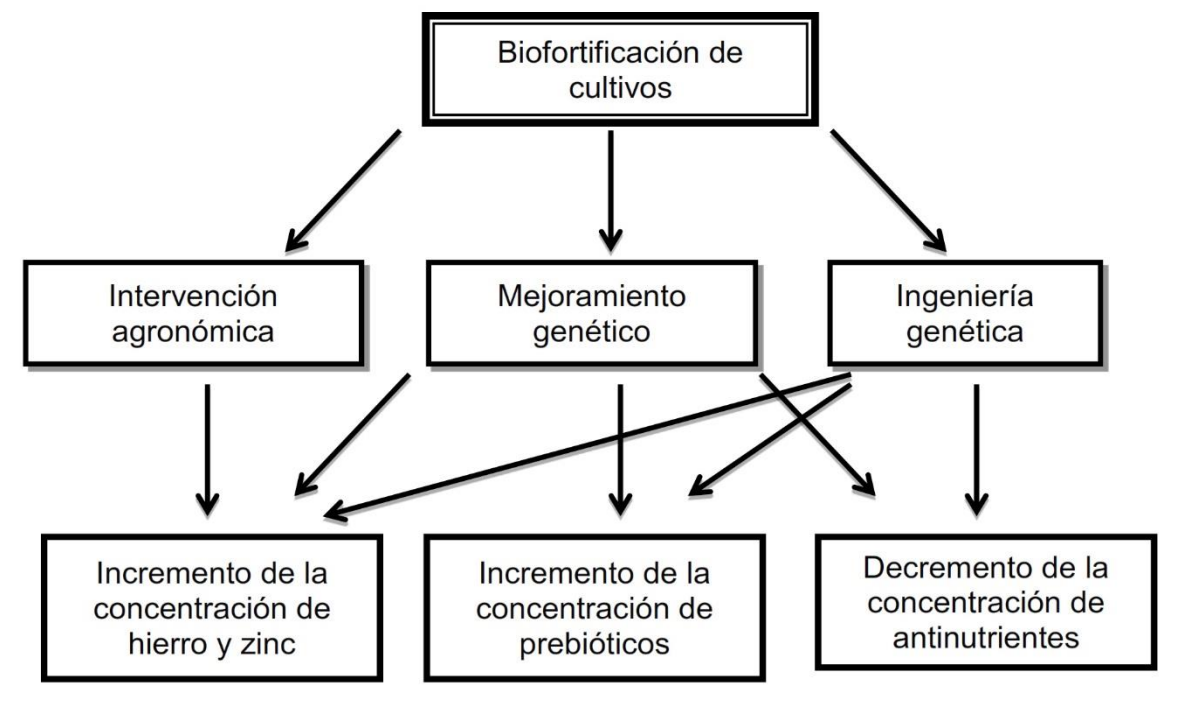
La IA se asocia con frecuencia con la desnutrición, ya que resulta del acceso limitado a una dieta adecuada lo que ocasiona efectos adversos en la salud y desarrollo de la población, en especial de los niños menores de cinco años de edad. A pesar de que se ha documentado una leve disminución en la prevalencia de los diversos tipos de desnutrición infantil a lo largo de 24 años en los que se han aplicado las Encuestas Nacionales de Nutrición, la prevalencia de desnutrición crónica, es decir baja talla para la edad, persiste en 13.6 % de los prescolares, lo que representa casi 1.5 millones de menores de cinco años para el año 2012 (ENSANUT, 2012). Más aún, la prevalencia es sumamente elevada en los grupos sociales con mayores desventajas.

La biofortificación de cultivos

La *biofortificación* es un proceso mediante el cual se incrementa la concentración de elementos esenciales en la parte comestible en los productos cosechados mediante la intervención agronómica, mejoramiento genético (fitomejoramiento) o ingeniería genética (Figura 1) (White y Broadley, 2005; Hotz, 2013). Pachón (2010) la define como el proceso mediante el cual los cultivos mejoran sus características agronómicas y su nivel nutricional. Por otra parte, Yin *et al.* (2012), indican que es una estrategia biológica, cuyo objetivo es el incremento de los micronutrientes contenidos en las partes comestibles de las plantas, animales o microorganismos a través del cultivo o el uso de la biotecnología, además se considera que es una manera segura y eficaz para aliviar la malnutrición en áreas deficientes.

La biofortificación, como una nueva estrategia en la producción agrícola moderna, presenta tres enfoques principales (Figura 1) que abarcan: 1) la reducción en la concentración de los antinutrientes (metabolitos vegetales, tales como el ácido fítico y polifenoles), que inhiben la absorción de Fe y Zn, 2) el aumento en las concentraciones de otros compuestos, tales como la inulina y fructanos que favorecen la absorción del Fe y Zn, y 3) el incremento directo de la concentración de Fe y Zn en la parte comestible del vegetal (Huang *et al.*, 2012).

Figura 1. Enfoques de la biofortificación de cultivos (Huang *et al.*, 2012).



Investigaciones de biofortificación en cultivos

AgroSalud y HarvestPlus son dos consorcios internacionales que trabajan con la biofortificación de cultivos, el objetivo de ambos consorcios es aumentar el contenido de: a) hierro y zinc, b) beta-carotenos, c) lisina, y d) triptófano en los cultivos de frijol [*Phaseolus vulgaris* (L.)], maíz [*Zea mays* (L.)], trigo [*Triticum aestivum* (L.)], cebada [*Hordeum vulgare* (L.)], camote [*Ipomoea batatas* (L.)], papa [*Solanun tuberosum* (L.)], arroz [*Oryza sativa* (L.)] y yuca [*Manihot esculenta* (Crantz.)]. Al respecto, el consorcio AgroSalud enfoca sus esfuerzos en 14 países de América Latina y el Caribe (AgroSalud, 2014), mientras que el segundo consorcio lo hace en países de África y Asia (HarvestPlus, 2014).

Para ser efectivas las intervenciones contra la desnutrición, estas organizaciones deben enfocar sus esfuerzos en zonas geográficas donde hay mayor impacto integrando, entre otros, datos sobre aspectos agronómicos, nutricionales, sociales y demográficos (Monserrate-Rojas *et al.*, 2009).

Las primeras investigaciones sobre biofortificación con hierro y zinc se realizaron en el cultivo de maíz, donde se observó un aumento considerable en las concentraciones de estos microelementos en el grano de distintas variedades (Oikeh *et al.*, 2003). De igual manera, en el cultivo de arroz y frijol se ha incrementado en 500 y 100 % el contenido de hierro, en el primer caso, y, hierro y zinc, en el segundo caso, en comparación con el cultivo producido de forma convencional (Chaveco *et al.*, 2006; Haas *et al.*, 2005). En este sentido, se han documentado diversos trabajos de investigación acerca de la biofortificación de los cultivos a través de la intervención agronómica como los reportados por Cakmak (2008), quien trabajó con el enriquecimiento del trigo con zinc, mientras que, Shivay y Prasad (2012) trabajaron con el enriquecimiento del arroz con zinc. En el Cuadro 1, se presentan algunos resultados de trabajos realizados acerca de la biofortificación de cultivos con hierro y zinc.

La biofortificación de hierro y zinc en los cultivos, se puede efectuar de manera foliar o edáfica. Al respecto, destacan los resultados obtenidos por Shivay y Prasad (2012) al biofortificar arroz con aplicaciones de sulfato de zinc en forma edáfica y foliar, y de esta manera incrementar el contenido de este microelemento en el grano hasta en 2.13 y 72.7 % bajo la aplicación edáfica y foliar, respectivamente, en comparación con el tratamiento sin aplicación de zinc. Aunado a lo anterior, Prasad *et al.* (2014), concluyeron que la aplicación foliar, dentro de la biofortificación de los cultivos, es más factible, debido a que se requiere de una menor cantidad de hierro y zinc en comparación con la aplicación edáfica.

Cuadro 1. Contenido de hierro y zinc en cultivos biofortificados.

Cultivo	Contenido de Fe	Contenido de Zn	Referencia
	(mg kg^{-1}, MS)		
Cacahuate [*Arachis hypogaea* (L)]	205.8	43.6	Zou y Zhang (2009)
Cacahuate/Maíz	302.6	544.8	Zou y Zhang (2009)
Trigo	39.0	ND	Aciksoz *et al.* (2011)
Maíz	1630	ND	Rahman *et al.* (2013)
Frijol	75.5	29.9	Blair *et al.* (2009)
Arroz	ND	53.0	Sivay y Prasad (2012)

Fe = hierro; Zn = zinc; **MS** = materia seca; **ND** = dato no disponible.

Los cultivos biofortificados en la seguridad alimentaria y nutricional

Los cultivos biofortificados pueden mejorar la seguridad alimentaria y nutricional de individuos, familias y comunidades, de dos maneras: 1) a través de sus mejores cualidades agronómicas, como mejor rendimiento, las familias aumentan su producción de alimentos y como consecuencia, su energía (kilocalorías) disponible para su consumo, y 2) debido a su mayor contenido de minerales carentes en la dieta latinoamericana, como el hierro y el zinc, en este sentido la gente consumiría una cantidad mayor de estos minerales esenciales. De esta manera, los cultivos biofortificados tienen varias ventajas y se convierten en una estrategia para abordar la inseguridad alimentaria y nutricional: a) mejoran simultáneamente la seguridad alimentaria (cantidad) y nutricional (calidad), b) la mejora se provee a través del

consumo de cultivos básicos que forman parte integral de la dieta regional, y c) la integración de más cultivos biofortificados, aportará una mayor ingesta de elementos minerales esenciales (Pachón, 2010).

Función del hierro y el zinc en el ser humano

El hierro

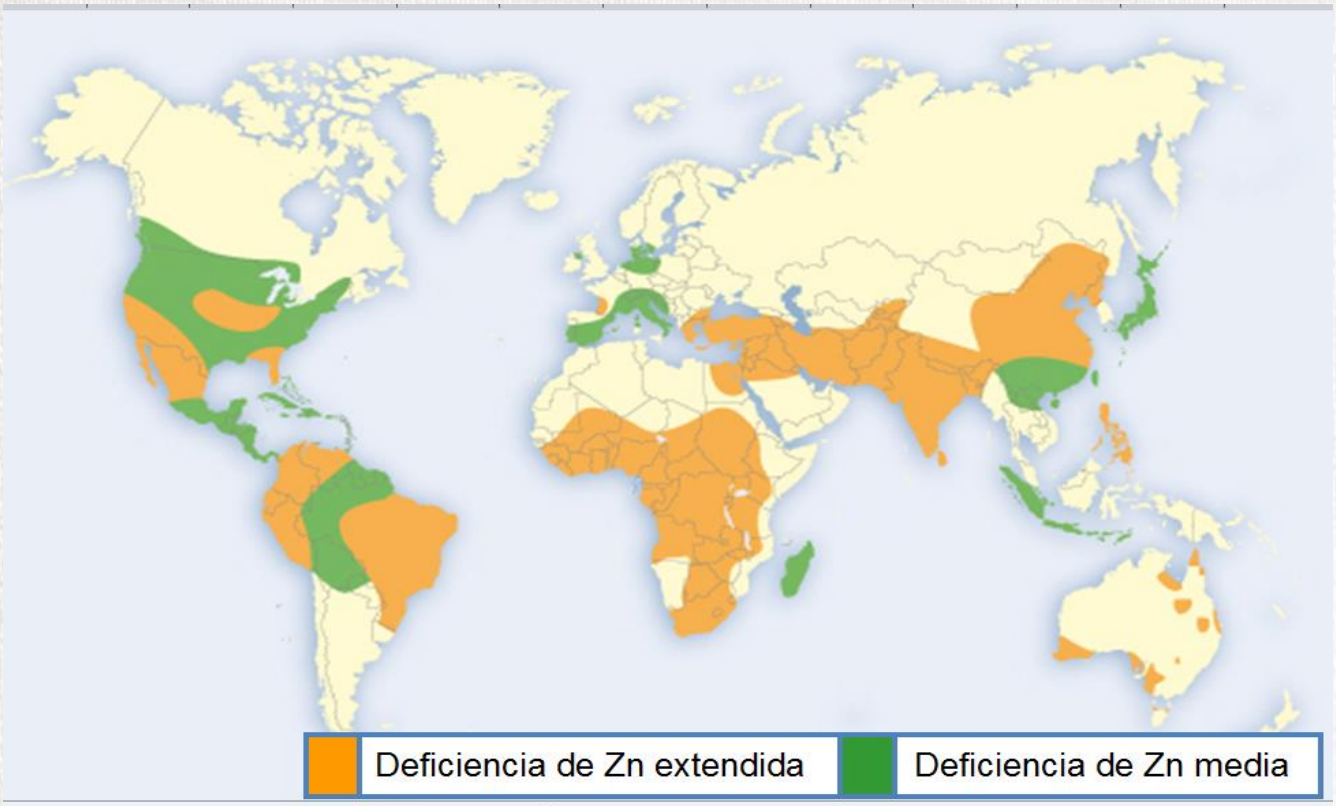
El hierro (Fe), es un elemento esencial para la vida humana, participa en los procesos de oxidación-reducción, interviene en el crecimiento, desarrollo y mantenimiento del organismo humano (Gómez-Galera *et al.*, 2010), transporta el oxígeno (en la hemoglobina y mioglobina), participa en reacciones enzimáticas como parte de grupos prostéticos de enzimas vinculadas a la respiración intracelular y al transporte de electrones (catalasas, peroxidasa, citocromo) (Chùa, 2013), participa en el proceso de intercambio y la respiración del cuerpo de nitrógeno, cataliza el β-caroteno en vitamina A, e induce la síntesis de anticuerpos y mejora la inmunidad (Yin *et al.*, 2012). Aunque el Fe es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre (41 000 $mg \bullet kg^{-1}$), es poco biodisponible en el suelo, ya que se une rápidamente a las partículas del suelo y forma complejos insolubles en condiciones aeróbicas a pH neutro o alcalino. Por otra parte, la biodisponibilidad del Fe, en una dieta a base de vegetales y poca ingesta de carne, es baja (Zimmermann *et al.*, 2005), ya que la absorción de Fe es inhibida por la presencia de fitatos y polifenoles (Hurrell, 2002). Por lo tanto, en dietas a base de vegetales, la absorción de Fe es a menudo menor del 10 % (Hurrell, 2002; Zimmermann *et al.*, 2005). Por consiguiente, la deficiencia de Fe es la deficiencia de microelementos más común en el mundo, está presente en el 20 % de la población, y no sólo afecta a la salud y el desarrollo de la gente, sino que también obstaculiza el desarrollo social y económico de los países, debido a la decadencia física de los adultos (WHO, 2001).

El zinc

El contenido de zinc (Zn) en la corteza terrestre es de aproximadamente 75 mg kg^{1} y cerca del 30 % de los suelos del mundo tienen deficiencias de este microelemento (Figura 2). El Zn es uno de los elementos traza esenciales, forma parte de unos de los principales subgrupos de los microelementos, y ha alcanzado gran importancia en la salud y nutrición del humano, ya que participa en el metabolismo celular y subcelular (Hambidge, 2000). Además, interviene en los procesos bioquímicos necesarios para el desarrollo de la vida, tales como la respiración celular, la utilización del oxígeno por parte de la célula, la reproducción del ADN y ARN, el mantenimiento de la membrana celular, la eliminación de radicales libres (Rubio *et al.*, 2007), en el sistema inmunológico, en el mantenimiento de las estructuras de las apoenzimas, en funciones bioquímicas y hormonales de varios sistemas endócrinos, está involucrado en la modulación de la secreción de prolactina, en la secreción y acción de la insulina (Torres y Bahr, 2004), en la síntesis y degradación de los hidratos de carbono, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, promueve el desarrollo intelectual de los

niños, acelera el crecimiento de los adolescentes, afecta el paladar, el apetito, y la fertilidad masculina (Yin *et al.*, 2012).

Figura 2. Suelos que son deficientes en zinc (Alloway, 2008).



CONCLUSIÓN

En términos generales, se puede concluir que la biofortificación es una estrategia eficaz para incrementar el contenido de hierro y zinc en la parte comestible de los cultivos, y que de igual manera contribuiría a la mejora en la seguridad alimentaria y nutricional de la población humana.

LITERATURA CITADA

Aciksoz SB, Yazici A, Ozturk L, Cakmak I. 2011. Biofortification of wheat with iron through soil and foliar application of nitrogen and iron fertilizers. Plant Soil. 349**:** 215-225.

AgroSalud. 2014. Consorcio AgroSalud. *Fecha de consulta: 10/06/2014*. Disponible en *http://www.agrosalud.org/index.php?option=com_content&task=view&id=5&Itemid=4*

Alloway BJ. 2008. Zinc in soils and crop nutrition. International Zinc Association Brussels, Belgium. 135 p. Disponible en: http://www.zinc.org/general/Zinc_in_Soils_and_Crop_Nutrition_ALLOWAY.pdf

Blair MW, Astudillo C, Grusak MA, Graham R, Beebe SE. 2009. Inheritance of seed iron and zinc concentrations in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Mol Breeding. 23**:** 197-207.

Cakmak I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification?. Plant Soil. 302**:** 1-17.

Chaveco O, Padrón M, Permuy N, Ruiz V, Pachón H, Beebe S, Selva L. 2006. Biofortificación del fríjol común con hierro y zinc una alternativa en la estrategia de diversificación alimentaria en Cuba. Fecha de consulta: 20/06/2014. Disponible en: http://www.agrosalud.org/descargas/poster_chaveco_congreso_cuba.pdf

Chùa C. 2013. El hierro en la nutricion humana. Programa de conferencias medicas.

ENSANUT (Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. 2012. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. Resultados nacionales 2012. Fecha de consulta: 26/06/2014. Disponible en: http://ensanut.insp.mx/doctos/ENSANUT2012_Sint_Ejec-24oct.pdf

FAO, IFAD, WFP (Food and Agriculture Organization of the United Nations-International Fund for Agricultural Development-World Food Programme). 2014. The state of Food Insecurity in the World 2014. Strengthening the enabiling environment for food security and nutrition. Rome, FAO. 54 p. Disponible en: http://www.fao.org/3/a-i4030e.pdf

Gómez-Galera S, Rojas E, Sudhakar D, Zhu C, Pelacho A, Capell T, Christou P. 2010. Critical evaluation of strategies for mineral fortification of staple food crops. Transgenic Res. 19**:** 165-180.

Haas JD, Beard JL, Murray-Kolb LE, Del Mundo AM, Felix A, Gregorio GB. 2005. Iron-Biofortified Rice Improves the Iron Stores of Nonanemic Filipino Women. J Nutr. 135**:** 2823-2830.

Hambidge M. 2000. Human Zinc Deficiency. J Nutr. 130: 1344S-1349S.

HarvestPlus. 2014. *Consorcio HarvestPlus. Fecha de consulta: 10/06/2014. Disponible en: http://www.harvestplus.org/content/about-harvestplus*

Hotz C. 2013. Biofortification. *In:* Benjamin, C. (ed.) Encyclopedia of Human Nutrition (Third Edition). Waltham. Academic Press. P 175-181.

Huang Y, Yuan L, Yin X. 2012. Biofortification to Struggle Against Iron Deficiency. *In:* Yin X, Yuan L. (eds.). Phytoremediation and Biofortification. Springer Netherlands. 59-74 p.

Hurrell R. 2002. How to Ensure Adequate Iron Absorption from Iron-fortified Food. Nutr Rev. 60**:** S7-S15.

Latham MC. 1997. Human nutrition in the developing world. *Food and Nutrition Series No. 29*. Roma: FAO. 510 p.

Monserrate-Rojas FA, Pachón H, Hyman GG, Vesga VAL. 2009. Metodologías para seleccionar zonas de intervención con cultivos biofortificados. Pan Am J Public Health. 26**:** 419-428.

Oikeh SO, Menkir A, Maziya-Dixon B, Welch R, Glahn RP. 2003. Assessment of Concentrations of Iron and Zinc and Bioavailable Iron in Grains of Early-Maturing Tropical Maize Varieties. J Agr Food Chem. 51**:** 3688-3694.

Pachón H. 2010. El impacto nutricional de cultivos biofortificados. AgroSalud, CIAT, CIMMYT, CIP, CLAYUCA. Fecha de consulta: 26/06/2014. Disponible en: http://www.agrosalud.org/index.php?option=com_docman&task=doc_download&Itemid=99999999&gid=295

Prasad R, Shivay YS, Kumar D. 2014. Chapter Two - Agronomic Biofortification of Cereal Grains with Iron and Zinc. *In:* Donald LS. (ed.) Advances in Agronomy. Academic Press. P 55-91.

Rahman MM, Soaug A, Darwish F, Golam F, Sofian-Azirun M. 2013. Growth and nutrient uptake of maize plants as affected by elemental sulfur and nitrogen fertilizer in sandy calcareous soil. Afr J Biotechnol. 10**:** 12882-12889.

Rubio C, González WD, Martín-Izquierdo R, Revert C, Rodríguez I, Hardisson A. 2007. El zinc: oligoelemento esencial. *Nutr Hosp.* 22**:** 101-7.

Shivay YS, Prasad R. 2012. Zinc-coated urea improves productivity and quality of basmati rice (*Oryza sativa* L.) under zinc stress condition. J Plant Nutr. 35**:** 928-951.

Torres AR, Bahr VP. 2004. El zinc: la chispa de la vida. Rev Cubana Pediatr. 76: Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75312004000400008&lng=es&nrm=iso&tlng=es

UNICEF (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia). 2002. Tabla de prevalencia de la desnutrición crónica. Disponible en: http://www.unicef.org/lac/link_aa(1).pdf (Fecha de consulta: 10/05/2014).

White PJ, Broadley MR. 2005. Biofortifying crops with essential mineral elements. Trends Plant Sci. 10**:** 586-593.

WHO (World Health Organization). 2001. *Iron deficiency anaemia: assessment, prevention, and control: a guide for programme managers. 114 p.* UNICEF-UNU-WHO.

Yin X, YUAN L, LIU Y, LIN Z. 2012. Phytoremediation and Biofortification: Two Sides of One Coin. P 1-6. *In:* Yin X, Yuan L. (eds.) Phytoremediation and Biofortification. Springer.

Zimmermann MB, Chaouki N, Hurrell RF. 2005. Iron deficiency due to consumption of a habitual diet low in bioavailable iron: a longitudinal cohort study in Moroccan children. Am J Clin Nutr. 81**:** 115-121.

Zuo Y, Zhang F. 2009. Iron and Zinc Biofortification Strategies in Dicot Plants by Intercropping with Gramineous Species: A Review. *In:* Lichtfouse E, Navarrete M, Debaeke P, Véronique S, Alberola C. (eds.) Sustainable Agriculture. Springer Netherlands. P 571-582.

Reuniones de trabajo de los Integrantes de la Red Académica de Innovación en Alimentos y Agricultura Sustentable (RAIAAS).

AGRICULTURA FAMILIAR: UNA ALTERNATIVA AGROALIMENTARIA EN COMUNIDADES MARGINADAS EN ZONAS ÁRIDAS

Aurelio Pedroza-Sandoval[1], Ricardo Trejo-Calzada[1], Ignacio Sánchez-Cohen[2] y José Ruiz-Torres[1]

[1]Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas-Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Dgo. Km 38.5 Carretera Gómez Palacio - Cd. Juárez, Chih. CP. 35230. [2]Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua Suelo Planta Atmósfera. Gómez Palacio, Dgo. Para correspondencia e-mail: apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

RESUMEN

El sistema agroalimentario suficiente es uno de los principales retos de la sociedad moderna, ante la grave crisis alimentaria que enfrenta la población mundial. La inseguridad alimentaria es de carácter multicausal, entre las que destaca el acelerado crecimiento de la población, la falta de capacidad de producción y/o acceso a los alimentos; los impactos del cambio climático y la incapacidad de generar y aplicar nuevas tecnologías que optimicen los sistemas de producción. El objetivo del presente capítulo, es mostrar una experiencia metodológica y de experiencias y lecciones aprendidas, respecto a la generación de capacidades productivas en condiciones de traspatio en comunidades marginadas de zonas áridas, lo que actualmente se denomina como "Agricultura Familiar" que, por el carácter donde fue desarrollada durante el período de 1997 a la fecha (2014), se enfoca a su aplicación y desarrollo en regiones donde el principal limitante es el recurso hídrico, aunado a las condiciones de marginación social, económica y tecnológica en que viven las comunidades enclavadas en pleno semidesierto, como lo es la región del Bolsón de Mapimí en el Estado de Durango y la región del Municipio de Mazapil del Estado de Zacatecas. Ambas regiones son de las áreas más representativas del semidesierto mexicano Clase B, donde se asienta aproximadamente el 18 % de la población. La metodología concreta en un modelo integral flexible para adaptarse a cada situación, con acciones estratégicas donde las actividades productivas de traspatio se enmarcan en el contexto de otras actividades económicas y sociales, pero siempre teniendo como denominador común al factor agua, con una visión integral y sustentable. Al final se presentan las experiencias y lecciones aprendidas con proyectos de caso, así como la síntesis de una evaluación de impacto del proyecto practicada en el 2001 por un grupo de expertos externo a la Institución.

Palabras clave: Alimentación, Desarrollo comunitario, Nutrición humana, Producción agroalimentaria, Sustentabilidad, Zonas áridas.

INTRODUCCIÓN

Una de las grandes paradojas del siglo XXI es que, no obstante el vertiginoso avance tecnológico y generación de conocimiento logrado en las últimas décadas, el hambre y la desnutrición como rezagos sociales de la humanidad, siguen incrementándose, en un planeta que además se debate en medio de la contaminación ambiental y la depredación de los recursos naturales. Pobreza, contaminación ambiental y depredación de los recursos naturales, es la gran paradoja que acompaña a la era de la posmodernidad (Pedroza, 2010). El problema agroalimentario es uno de los mayores retos que enfrenta actualmente la sociedad, ante una crisis alimentaria que ya se anuncia mediante una escalada de precios de los alimentos en el mercado, dejando a la mayoría de la población, sobre todo a la más vulnerable, sin el acceso a dichos productos.

De acuerdo a la FAO (2008), la inseguridad alimentaria es de carácter multicausal, entre ellas destacan las de tipo histórico, como el acelerado ritmo de la tasa de crecimiento de la población, principalmente en los países en desarrollo; la inequidad en la capacidad económica para el acceso a la compra de los alimentos, donde un 10 % de la población acapara el 60 % de los alimentos disponibles en el mercado, en tanto que el 90 % de la población restante, sólo dispone del 40 % para subalimentarse y; la insuficiencia de políticas de planeación y tecnológicas para optimizar los procesos productivos; entre otras causas. A esta gama de causalidad histórica, debe añadirse las originadas por la modernidad, dentro de las cuales destacan: el cambio climático, la producción de biocombustibles, la especulación en el mercado de los combustibles fósiles y, la emergencia de potencias económicas (FAO, 2008). Indudablemente, el cambio climático en particular, es un tema de actualidad y atribuido a diferentes causas, desde las naturales y de carácter cíclico, hasta las propiciadas por la era industrial y generadora de grandes emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera, produciendo el denominado calentamiento global del planeta (Tahoria, 2006).

Independientemente de la naturaleza del problema, el factor ambiental está siendo catalogado de alto impacto negativo sobre los recursos naturales más directamente relacionados con la producción alimentaria. Desde un punto de vista global, es inminente la necesidad de una mejor gestión en los recursos agua y suelo, como los principalmente involucrados en la producción de alimentos; así como la conservación de la biodiversidad y la restauración de los ecosistemas frágiles como las zonas áridas, en un entorno de recursos naturales con alto grado de depredación de tipo antropogénica, pero además fuertemente acelerada por el impacto ambiental, asociado éste por los efectos del cambio climático, mediante la influencia de eventos extremos (OECD/FAO, 2012; G20, 2012; World Bank, 2008). Esta situación ha impulsado la emigración forzada por situaciones climáticas en diversas partes del mundo, (Sánchez *et al*., 2012). Elliot (2013), señala que por esta misma razón -cambio climático- se reducirá directamente la producción de alimentos en cultivos

como el maíz, soya, trigo y arroz hasta en un 43 % a finales del siglo XXI. En este escenario, México será de los países más afectados: la producción de maíz de temporal se reducirá en 17 % en 2050 y la de riego en 8 %; la de trigo de temporal en 19 % y la de riego en 8 % (IFPRI, 2013).

Adicionalmente, la producción de biocombustibles es otro factor de causalidad asociado a la modernidad, en relación a la crisis agroalimentaria, dado que ahora gran parte de los productos agropecuarios que los países desarrollados históricamente se destinaban a la exportación hacia países demandantes, ahora estos productos son destinados a alimentar máquinas, en sustitución de los combustibles fósiles, los cuales posiblemente aún no compiten en precios, pero son de menor impacto ambiental. Se podría decir que el cambio es prudente, desde el punto de vista ecológico, pero posiblemente sea cuestionable desde el punto de vista ético, al dejar de alimentar a una persona, por alimentar un vehículo. Se tiene por ejemplo que gran parte de la producción de caña de azúcar en Latinoamérica y más recientemente del maíz en Estados Unidos de América, Canadá y Europa, estos cultivos son destinados a la producción de biocombustibles, dejando de lado a toda una población que requiere de estos productos agroalimentarios. Estados Unidos destina una cantidad de maíz a vehículos, equivalente a la importación de los 82 países más pobres del planeta (Lynas, 2008).

Respecto a la especulación en el mercado de los combustibles fósiles, es la otra vertiente en el encarecimiento de los procesos de producción y consecuentemente en los precios de los productos agroalimentarios al consumidor, en quien finalmente recae todo el peso de los vicios que se producen a través de la cadena productiva. Para nadie es desconocido que a los precios de diesel y la gasolina, principales insumos energéticos en todos los procesos productivos y en el caso de la agricultura, se adiciona el de los fertilizantes. Se estima que el 80 % de los costos de producción del maíz, se asocia a los costos del gas y del petróleo (Pedroza, 2010). La crisis energética es una realidad que hace vulnerable los procesos de producción y que finalmente se reflejan en costos que el consumidor tiene que absorber, lo cual no debiera ser ningún problema, si el sector social tuviera las mismas oportunidades de acceso desde el punto de vista económico, cuando en realidad es todo lo contrario, al no existir una equidad de oportunidades.

Finalmente la emergencia de potencias económicas y la especulación de los precios de los alimentos en el mercado, es otro de los factores que abonan a la crisis agroalimentaria. La primera en referencia a los países que antes tenían un bajo ingreso per cápita pero que, gracias a su relativamente reciente desarrollo económico, como China e India, ahora su capacidad adquisitiva se ha incrementado, de manera que ante un mercado globalizado, estos países demandan y adquieren alimentos que antes eran destinados a otros países de menor capacidad adquisitiva.

Sistemas sociecológicos en las zonas áridas

Las Zonas Áridas son un tema de actualidad por su extensión territorial y la abundancia y diversidad de sus recursos naturales, ante el incremento de la población mundial y la creciente demanda de alimentos y otros satisfactores. De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas, al 1 de enero de 2014, la población mundial era de 7,200 millones de personas en el planeta y se prevé llegue a 9,600 para el 2050 (ONU, 2014b). Este acelerado crecimiento de la población, con mayor énfasis en los países en desarrollo, aumentará la presión en el uso de los recursos naturales, en respuesta a la demanda consecuente de satisfactores, principalmente los de tipo agroalimentario. Con todas las restricciones que la naturaleza y los modelos económicos-sociales imponen, las zonas áridas representan una de las opciones de mayor viabilidad para responder en gran medida a los retos del siglo XXI, en términos sociales, ambientales y económicos. Para ello, se requiere una visión sistémica e integral del potencial y limitantes que prevalece en estas regiones, en relación a sus recursos naturales y las condiciones actuales y futuras que los determinan, como base para el diseño e implementación de planes de desarrollo en lo global y local, acorde a las condiciones de cada región, en un marco de sustentabilidad.

Los sistemas socio-ecológicos (SSE) de las zonas áridas, categorías climáticas B y C, ocupan aproximadamente el 45 % de la superficie del planeta, donde habitan alrededor de 2 mil millones de personas, representando el 33.8 % de la población mundial (Cruse, 2012; Al-Kaisi *et al*., 2012; UNCCD, 2013). En dichas regiones, el impacto de la sequía es evidente sobre los recursos naturales, primordialmente agua, suelo, flora y fauna, expresada en procesos de desertificación en la mayoría de los casos. México no escapa a este problema, sobre todo en la parte Norte del país (UACh-CONAZA-SEDESOL-SAGARPA, 2004; IPCC, 2012).

El recurso agua en el contexto global

La mayor parte del agua del planeta se encuentra bajo la forma de agua salada en los océanos, solo 3 % de los recursos hídricos globales son aguas dulces, 2/3 de los cuales provienen de la nieve y de los hielos polares y de las regiones montañosas; por lo tanto, el agua dulce constituye solo cerca del 1 % de los recursos hídricos totales, donde la mayor parte de ésta se encuentra como agua subterránea, mientras que menos del 2 % se encuentra en ríos y lagos. En los climas húmedos y templados, cerca del 40 % de la precipitación termina en agua subterránea y en los climas mediterráneos esta cifra se reduce a 10-20 %; en tanto que en los climas muy áridos se puede reducir virtualmente a cero. No toda el agua que se encuentra en los ríos y lagos y sitios subterráneos es accesible para ser usada, ya que parte de ella fluye en ríos remotos o durante inundaciones estacionales que no permiten su captación antes de llegar a los océanos. Se estima que toda el agua que está

económicamente disponible en el mundo cada año para el consumo humano es de 9,000-14,000 km^3. Esto representa solo el 0.001 % de la estimación del agua total del planeta.

En la actualidad el consumo humano de agua, a través de las diferentes actividades productivas y de consumo, se estima en cerca de 3,600 km^3 lo cual podría dar la impresión de que hay abundancia de agua disponible para ser usada por la población. Sin embargo, parte del agua superficial disponible debe permanecer en los ríos y otras corrientes para asegurar la dilución de las aguas residuales y salvaguardar la integridad del ecosistema acuático. La proporción en que esto debería ocurrir es aún un hecho mal comprendido; se tiene variaciones anuales y cada río o cuenca tiene su límite ecológico específico por debajo del cual es posible esperar que el sistema se degrade. Una estimación de esta demanda global es de 2,350 $km^3 \bullet año^{-1}$ que, si se agrega a esto la cantidad de agua consumida por el hombre, se llega a cerca de 6,000 km^3 de agua económicamente accesible que ya está comprometida (FAO, 2002). Esto ciertamente indica que a nivel global es muy limitada.

Dado que el agua y la población están mal distribuidas en el planeta, la situación del agua ya es crítica en varios países y regiones y es probable que este problema se intensifique en el futuro. La agricultura es el mayor consumidor de agua en el mundo con el 70 % del consumo mundial; el uso doméstico un 10 % y los usos industriales un 21 %. De esta manera, el problema de la sobreexplotación del recurso agua y la necesidad de proteger el ambiente del incremento de los niveles de contaminación, ha adquirido relevancia internacional. La disponibilidad efectiva del agua se ha reducido por los desequilibrios que ocasiona el crecimiento de la demanda, uso ineficiente y el aumento de los niveles de contaminación (IMTA, 2003).

De acuerdo a la FAO (IMTA, 2012), es necesario un nuevo marco para la gestión del agua en la agricultura y afrontar la escasez de agua en un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria, con políticas orientadas a: la modernización del riego; mejorar los sistemas de captación y almacenamiento del agua de lluvia; promover el reciclaje de aguas residuales y su reutilización en actividades productivas; así como el control sobre la calidad del agua; promover especies de cultivos con menos requerimientos hídricos; buena bioproducción; entre otras acciones.

El factor agua como recurso crítico en zonas áridas en México

Por su posición latitudinal y otros efectos asociados, las zonas áridas son regiones con graves problemas de recursos hídricos, lo cual se ha agudizado al incrementarse las sequías en frecuencia e intensidad en estas regiones. Lo anterior está siendo objeto de concientización y actuación para enfrentar de una mejor manera el problema, que permita una perspectiva más promisoria para las poblaciones ubicadas en estas regiones, en lo ambiental, social y económico, éste último en términos de producción agroalimentaria.

La superficie total de México, es de 1.964 millones de km^2, ocupando con ello el décimo cuarto lugar en extensión territorial a nivel mundial y el quinto en el continente americano, después de Canadá, Estados Unidos, Brasil y Argentina (SEMARNAT-INECC,

2012). Aunque hay diferentes criterios a partir de los cuales se delimitan las zonas áridas, en general es aceptado que el territorio mexicano de ambientes áridos, Clase B, ocupa poco más del 50 % de la superficie total, con diversos grados de aridez tipificada por las características de la precipitación pluvial (Velásquez *et al*., 2013), donde se asienta alrededor del 18 % de la población nacional (González, 2012).

Adicionalmente, México, tiene una población de 112 millones 336 mil 538 habitantes, de los cuales 15 millones 175 mil 862 se concentran en la zona metropolitana de la Ciudad de México (INEGI, 2010). Los grandes demandantes de agua se encuentran ubicados en el norte y centro del país, lo cual se vuelve un problema, puesto que México presenta un marcado contraste territorial de escasez y abundancia de agua, ya que más de 2/3 partes de su territorio son áridas o semiáridas, principalmente en el norte y el centro (CNA, 2001); en tanto que el sur ocurren frecuentes inundaciones durante la época de temporal. Por lo anterior, el país se divide en dos grandes zonas: (1) la zona norte, centro y noreste donde se concentra el 77 % de la población, se genera el 80 % del PIB, pero únicamente ocurre el 31 % del agua renovable y; (2) la zona sur y sureste, donde habita el 23 % de la población, se genera el 20 % del PIB y ocurre el 69 % del agua renovable (CNA, 2010).

Con base en lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente capítulo, es mostrar una experiencia metodológica y de experiencias y lecciones aprendidas, respecto a la generación de capacidades productivas en condiciones de traspatio en comunidades marginadas de zonas áridas, lo que actualmente se denomina como "Agricultura Familiar" qué, por el carácter donde fue desarrollada durante el período de 1997 a la fecha (2014), se enfoca a su aplicación y desarrollo en regiones donde el principal limitante es el recurso hídrico, aunado a las condiciones de marginación social, económica y tecnológica en que viven las comunidades enclavadas en pleno semidesierto, como lo es la región del Bolsón de Mapimí en el Estado de Durango y la región del Municipio de Mazapil del Estado de Zacatecas.

Agricultura familiar: un modelo de producción viable para la seguridad alimentaria en zonas áridas

La Agricultura Familiar es una de las opciones de mayor viabilidad para enfrentar la crisis agroalimentaria que viene, sobre todo para el caso de los sectores sociales más vulnerables en zonas áridas, donde el agua es el factor clave. Este tipo de población tienen serios problemas de acceso a los alimentos básicos, ya sea por la falta de capacidades para producirlos y/ o por la incapacidad de acceder a ellos en el mercado; el primero por la carencia de una cultura y técnica y el segundo por la insuficiencia económica ante la falta de ingresos familiares por cuestiones de desempleo rural.

Desde el punto de vista epistemológico y de acuerdo a la FAO (SAGARPA, 2012), agricultura familiar es aquél sistema de producción agrícola, pecuaria, forestal, pesquera y acuícola que tiene por lo menos las siguientes características: (a) acceso limitado a recursos de tierra y capital económico, (b) uso preponderante de fuerza de trabajo familiar, siendo el

jefe(a) de familia quien participa de manera directa del proceso productivo y, (c) la actividad agropecuaria/silvícola/pesquera/acuícola, es la principal fuente de ingresos del núcleo familiar, que pueden ser complementada con otras actividades no propiamente agrícolas. Esta modalidad de producción, más de características de traspatio, ha tenido que ser revalorada, ante la urgencia de alimentar y reducir en lo posible la subalimentación y la desnutrición humana en el contexto global, ante lo cual, la ONU (2014a) ha declarado al presente 2014, como el año Internacional de la Agricultura Familiar, en un esfuerzo por colocar en el escenario internacional la relevancia del tema y que los organismos, instituciones y población en general, revaloren la importancia y trascendencia de este enfoque de producción desde el punto de vista agroalimentario, sobre todo en término de políticas públicas en países en desarrollo.

Por ello y en concordancia con la FAO, la ONU identifica a la agricultura familiar, como aquélla forma de producción que incluye el cultivo y protección de los bosques, la acuicultura y la producción agrícola, generalmente liderada por hombres, pero en la cual también sobresale el trabajo de mujeres como cabeza de hogar (ONU, 2014a). Finalmente y en relación al concepto y enfoque de la seguridad alimentaria, al cual aporta la agricultura familiar, aquélla se entiende como la condición en que todas las personas tienen acceso permanente a alimentos inocuos y nutritivos, en cantidad suficiente para mantener una vida activa y saludable (Cumbre mundial de alimentación, 1996). Oportunidad de acceso a los alimentos, no solamente en términos de capacidad económica para adquirirlos, en función de un ingreso, sino también de capacidad de producir la mayoría o algunos de ellos; éste último aspecto, es la parte central de abordaje de este capítulo.

Desde este breve marco de referencia y para el caso específico de México, oficialmente se ha reconocido que más del 50 % de la población mexicana se encuentra en condiciones de pobreza y marginación, de la cual el 10 % vive prácticamente en la indigencia (Pedroza *et al*., 1978). Una de las opciones alternativas al esfuerzo por promover un desarrollo social con mayor equidad y compatibilidad en lo social, económico y ambiental, es el denominado desarrollo sustentable, en este caso con énfasis especial en el componente productivo de agricultura familiar, tanto para zonas rurales, como periurbanas.

Planteamiento del modelo

El Grupo Interdisciplinario de Vinculación de la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo (GRINVIN-URUZA-UACh), diseñó e implementó un modelo de desarrollo integral comunitario en comunidades marginadas de zonas áridas en el área de influencia del Bolsón de Mapimí, en el Estado de Durango, México (Figura 1) (Pedroza, 2010). El modelo tiene como objetivo central, promover el bienestar familiar hacia un nivel digno de vida, basado en un diagnóstico participativo desde el nivel regional, hasta el comunitario y familiar. El primero referido a un análisis del potencial agroclimático del área de influencia clasificando en microrregiones el área, en función al tipo de suelo, tipo de vegetación, frecuencia de sequías y condición de aridez

(Pedroza *et al*., 2014), mediante técnicas de cartografía digitalizada y el uso de Sistema de Información Geográfica, así como de Ecuaciones de aridez planteadas por Emberger y adecuadas para México por Stretta y Mosiño (1963).

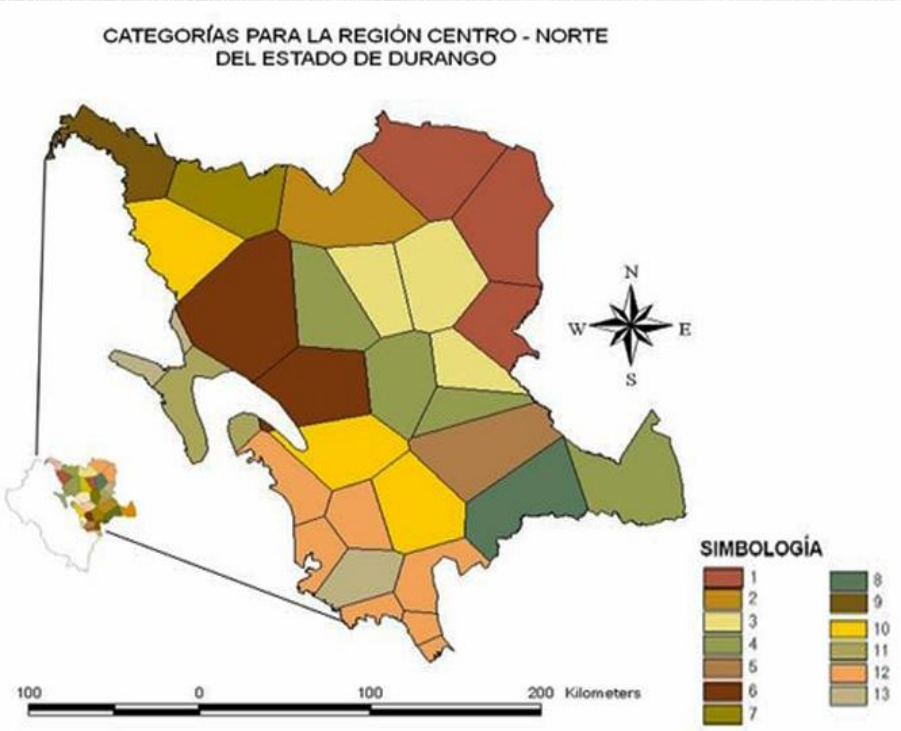
Una vez identificadas las microrregiones (Figura 1) se procede a diseñar estrategias de desarrollo más dirigidas y específicas, dependiendo de cada subregión y complementadas con el diagnóstico de las condiciones sociales, económicas, productivas, alimentarias y de salud prevalentes en cada comunidad, mediante un muestreo sistemático y un tamaño de muestra predeterminado y representativo de cada comunidad, de acuerdo a la metodología de Línea Base de PESA-FAO-SAGARPA (SAGARPA, 2012), ajustado a las condiciones y objetivos del propio proyecto. Una vez construidas la visión regional y comunitaria-familiar, se procede a hacer una planeación estratégica de las principales acciones a realizar, desde las de tipo organizacional y de desarrollo humano, hasta las productivas, educativas, de salud y económicas, siempre teniendo como eje de acción inicial, la resolución del factor agua, como problema toral de la mayoría de las comunidades rurales en zonas áridas, objeto de este proyecto, de acuerdo a la siguiente ecuación, denominado Modelo Mapimí:

$$Bienestar\ fam. = \int_{Visión\ comunitaria}^{Visión\ regional} Dig.Participativo \frac{(O, PFA, Ec, S, Ed)}{\text{Agua}}$$

Dónde: **O =** Organización; **PFA =** Producción familiar de alimentos; **Ec =** Economía; **S =** Salud; **E =** Educación.

La región se caracteriza por tener tres tipos de relieve: elevado o montañoso, como la Sierra Madre Occidental; bajo o quebrado, con barrancas profundas, como la región de las quebradas y; plano, que abarca la región de los Valles y el semidesierto (Ramírez *et al*., 2005). Geográficamente se encuentra a 25º 50´ de latitud norte y 103º 51´ de longitud oeste, a una altura de 1,300 msnm. El clima es semidesértico, con lluvias en verano. La temperatura promedio anual es de 20.3 ºC con una máxima de 36.6 ºC y una mínima de 5.7 º C. La precipitación promedio es de 240 mm con una máxima de 460 y una mínima de 160 mm, por lo que se considera una región de las más desérticas de la zonas áridas (García, 1973).

Figura 1. Micro-regionalización de la zona centro-norte de Durango de acuerdo a tipo de vegetación, grado de aridez e intensidad de la sequía durante el período de temporal (13 micro-regiones). **Fuente:** Pedroza, *et al.* (2014).



Seguridad alimentaria, como objetivo central del modelo

De acuerdo a la Cumbre Mundial para la Alimentación (FAO, 1996), la seguridad alimentaria se refiere a la "*condición en que todas las personas tienen acceso permanente a alimentos inocuos y nutritivos, en cantidad suficiente para mantener una vida activa y saludable*". Lo anterior, específicamente en referencia al acceso físico a los alimentos en cantidad y calidad necesarias, así como capacidad económica para producirlos y/o adquirirlos. Significa entonces que para una seguridad alimentaria en las familias, se requiere tanto una capacidad de la propia familia para producirlos, así como capacidad económica para comprar lo que no pueda producir.

En el caso de las familias rurales, está más referido a la capacidad de producirlos, por lo menos a nivel de traspatio, ante la carencia de empleos para tener una capacidad económica para comprarlos. Efectivamente, uno de los problemas de mayor impacto en las comunidades es la carencia de fuentes de empleo o de otras actividades productivas que les permita un ingreso permanente a los integrantes de la familia, principalmente a los padres.

Derivado de lo anterior, una de las mayores perspectivas para la seguridad alimentaria es la producción de alimentos por la propia familia, es la de traspatio que es la de mayor viabilidad en zonas áridas, ante el fenómeno de las sequías recurrentes y el consecuente déficit de recursos hídricos en que se encuentran la mayoría de las poblaciones en estas regiones.

Otros componentes básicos del Modelo

De acuerdo a la figura 1, el diagnóstico participativo, la organización comunitaria y el desarrollo humano, la educación y la salud, así como la economía, son parte fundamental en el desarrollo comunitario en un marco de sustentabilidad. Todos estos componentes han sido abordados en la praxis y se ha demostrado que de esta manera es posible apuntalar el desarrollo social con bases sustentables. Estas experiencias son ampliamente expuestas en sus aspectos metodológicos, de análisis reflexivo en forma sistematizada y de evaluación de impacto, en el libro denominado DESARROLLO COMUNITARIO SUSTENTABLE (Pedroza, 2010), aunque en el presente capítulo, sólo se hace énfasis en los sistemas de almacenamiento y captación de agua y la producción agroalimentaria de traspatio.

Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL)

Existen diferentes técnicas para la captación de agua de lluvia, desde los sistemas extensivos, hasta los referidos a pequeña escala; ambos sistemas más comúnmente utilizados en las zonas de escasa precipitación como las zonas áridas, donde el vital líquido es el punto crítico. Los sistemas extensivos son los que se establecen en las grandes cuencas hidrológicas para captaciones en presas de alto volumen y dan origen a los distritos de riego, que aunque ecológicamente han sido objeto de crítica desde el punto de vista socio-ambiental (Cháirez *et al*., 2006; Postel & Richter, 2010), lo cierto es que han representado ser los graneros del país, donde se produce gran parte de los cultivos agrícolas, ya sea para fines alimentarios o de otra índole, como el industrial. En este caso se hará énfasis en los sistemas de captación y/o almacenamiento de agua a pequeñas escala.

A. Sistemas de microcuencas

Los sistemas de microcaptación o microcuencas consisten en una serie de unidades en conjunto, aunque cada microcaptación está separada de la otra (FAO, 2000). Generalmente se utilizan las microcaptaciones conjuntamente con técnicas auxiliares como labranza y prácticas de conservación del agua en el suelo. La gran ventaja de las técnicas de microcaptación es que es posible combinarlas con las de conservación del agua y las de control de erosión; además de ser relativamente sencillas, económicas y de alta efectividad. Las microcuencas son unidades geográficas que se apoyan principalmente en el concepto hidrológico de división del suelo. Los procesos asociados al agua, tales como escorrentía, calidad, erosión hídrica, producción de sedimentos, entre otros, normalmente se analizan sobre esas unidades geográficas. En algunas regiones áridas con suelos degradados, estos sistemas permiten su rehabilitación mediante el establecimiento de vegetación nativa, tales como pastos, los cuales cumplen un doble propósito: conservación de suelos degradados por efectos de erosión hídrica y/o eólica y la posibilidad de alimentar ganado, tanto bovino como caprino, con las debidas reservas de carga animal que no propicie el sobrepastoreo y el consecuente efecto de degradación de los suelos.

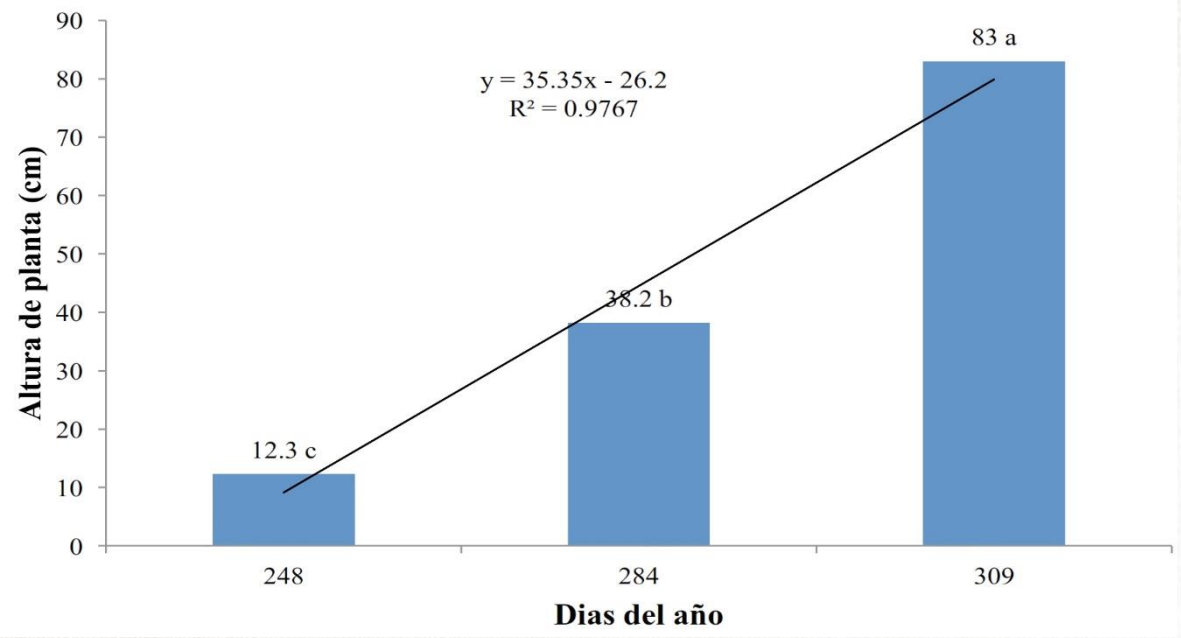
La captación de agua de lluvia en microcuencas, en combinación con algunas otras prácticas de retención de humedad, están probando ser una alternativa eficiente para la recuperación de suelos degradados en zonas áridas y posibilitar el pastoreo de animales de corral como las cabras, donde mediante la microcaptación de agua de lluvia y la retención de humedad, se registra un crecimiento sostenido de pastos nativos a través del tiempo (Figuras 2a, 2b y 3) (Cruz, 2014).

Las principales características de un sistema de microcuencas, son:

- Se colecta agua de escurrimiento superficial del suelo en áreas de captación de corta longitud
- La longitud del área de captación suele ser de 1 a 30 m
- La escorrentía se almacena en el perfil del suelo
- La relación entre el área de escorrentía y el área de almacén (AE:AA) va generalmente de 1:1 a 3:1

Figura 2. Microcuencas en suelos degradados de zonas áridas: a) al inicio del experimento (Mayo, 2011); b) al final del experimento. **Fuente:** Cruz (2014).

Figura 3. Crecimiento de la planta de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en diferentes fechas de evaluación en microcuencas captadoras de agua de lluvia. Roma Texas, Mapimí, Dgo. **Fuente:** Cruz (2014).



B. Sistema de captación de agua en aljibes o sistema de terrazas

Otro sistema típico de captación de agua de lluvia, sobre todo para fines productivos a pequeña escala, es a través del aprovechamiento de escurrimientos superficiales a partir de cuencas a pequeña escala y el agua se puede almacenar en pequeños aljibes o mediante inundación de terrenos agrícolas en un sistema de terrazas. El primero, generalmente utilizado como abrevadero para los animales y los segundos para el establecimiento de cultivos agrícolas. Estos últimos generalmente son establecidos en las partes bajas de pequeñas laderas de cerros de mediana altitud, los cuales en épocas de lluvia producen escurrimientos hídricos. Para que este sistema sea efectivo, se requiere que donde se construyan las terrazas, corresponda a suelos profundos y de buen drenaje, de tal manera que una vez que se inunden por el tiempo de retención del agua mediante la construcción de bordos a curvas de nivel, dichos suelos tengan la capacidad de mantener la humedad por tiempo suficiente para períodos relativamente largos (hasta dos meses) sin lluvia y el cultivo no esté sujeto a estrés hídrico severo.

Las principales características de un sistema de captación de agua de lluvia a pequeña escala son:

- Se cosecha el agua que fluye por la superficie del suelo
- La escorrentía se almacena en el perfil del suelo o bien, puede almacenarse en depósitos de agua como bordos, aljibes, presas medianas, o bien se inundan áreas en melgas en curvas a nivel, en un sistema parecido al sistema de terrazas
- El área de captación tiene una longitud de 30 a 200 m o bien en otros casos el área de captación puede referirse a grandes distancia (km) y proviene del flujo de un arroyo que colecta aguas torrenciales y el agua se desvía a través de derivadores hacia los terrenos agrícolas
- La relación área de captación/área de recepción es normalmente de 2:1 a 10:1

C. Sistema de captación de agua pluvial en techos (SCAPT)

El sistema de captación de agua pluvia en techos, es el más sobresaliente para captar o almacenar agua con fines de uso doméstico y/o producción en traspatio. Este sistema se refiere a que el agua de lluvia es interceptada, colectada y almacenada en depósitos para su posterior uso.

Una vez identificada la situación comunitaria y teniendo una visión regional del estado en que se encuentran sus recursos naturales, se procede a diseñar diferentes obras captadoras de agua y reservorios almacenadores del vital líquido, siendo el más popular las cisternas de ferrocemento. Estas estructuras, son las de mayor impulso e impacto, por su sencillez de construcción, economía y durabilidad, como obras captadoras de agua de lluvia a partir de techos, pero también almacenadoras de agua, en caso de traslado y abasto de agua por medio de pipa de los programas municipales o del propio productor.

De esta manera, la importancia de captar, almacenar y utilizar el agua de lluvia para uso productivo, doméstico y consumo humano es de gran relevancia para la mayoría de las poblaciones, sobre todo de aquellas que no tienen acceso a este recurso, como son las comunidades rurales que habitan en las zonas áridas y semiáridas. Los sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) son muy variados, aunque sus principios sobre los cuales se diseñan son genéricos (Anaya, 2004).

- Localización del sitio para establecer el SCALL
- Determinación de la demanda de agua por la familia o por la comunidad
- Cálculo de la precipitación pluvial neta
- Área de captación del agua de lluvia
- Diseño del sistema de conducción del agua captada
- Diseño del volumen del sedimentador por trampa de sólidos
- Diseño del sistema de almacenamiento del agua de lluvia captada
- Diseño para el bombeo del agua almacenada al local de la planta de tratamiento
- Diseño del sistema del tratamiento y/o purificación del agua de lluvia

Criterios en el diseño y construcción del sistema SCAPT

Cálculo de la demanda de agua. La demanda o dotación por persona, es la cantidad de agua que necesita una persona diariamente para cumplir con las funciones físicas y biológicas del organismo. Además, considera el número de habitantes a beneficiar. La ecuación para calcular la demanda de agua es la siguiente:

$$Dj = \frac{\mathrm{Nu} * \mathrm{Dot} * \mathrm{Ndj}}{1000}$$

$$Danual = \sum_{J=1}^{12} Dj$$

Donde:

Dj = demanda de agua en el mes j, m^{-3} mes^{-1} $población^{-1}$
Nu = número de beneficiarios del sistema

Dot = dotación, en L $persona^{-1}$ $día^{-1}$

Nd j = número de días del mes j

Danual = demanda de agua para la población

j = número del mes (j = 1, 2, 3,..., 12)

1000 = factor de conversión de litros a m^3.

Cálculo de la precipitación pluvial. La eficiencia de la captación del agua de lluvia depende del coeficiente de escurrimiento de los materiales del área de captación, el cual varía de 0. 0. a 0.9

Tipo de Captación: Coeficiente de escurrimiento

Cubiertas superficiales

- Concreto: 0.6 - 0.8
- Pavimento: 0.5 - 0.6
- Geomembrana de PVC: 0.85 - 0.90

Azotea

- Azulejos, teja: 0.8-0.9
- Hojas de metal acanaladas: 0.7-0.9
- Orgánicos (hojas con barro): < 0.2

Captación en tierra

- Suelo con pendientes menores al 10%: 0.0-0.3
- Superficies naturales rocosas: 0.2-0.5

En base a lo anterior se calcula la captación neta de agua de lluvia, mediante la ecuación:

$$PNijk = Pijk * \eta captación$$

Donde:

PNijk = precipitación neta del día i, mes j y año k en mm

Pijk = precipitación total del día i, mes j y año k en mm

ηcaptación = eficiencia de captación del agua de lluvia

El método es directo y preciso, solo habría que considerar algunos ajustes porque en realidad disminuye el valor neto captado, por el salpique de agua, infiltración y evaporación, entre otros factores, que ocurran antes de almacenarse el agua en los depósitos. Para ello ya hay factores de corrección y se cuenta con tablas numéricas o métodos gráficos que identifican dicho ajuste, aunque esto debe adecuarse de acuerdo a la región.

Cálculo del área de captación de acuerdo al agua requerida y la precipitación media. El área de captación se diseñará en función de la demanda anual de los habitantes a beneficiar y de la precipitación pluvial neta anual.

$$Aec = Danual / \sum_{J=1}^{12} PNj$$

Donde:

Aec = área de captación necesaria para abastecer la demanda de agua a una familia o comunidad en m^2

Danual = demanda de agua anual que necesita una población

$\sum_{J=1}^{12} PNj$ = suma de precipitaciones netas medias mensuales

El agua captada se canaliza, generalmente, por medio de tubos PVC al sistema de captación de agua de lluvia, la cual cuenta con un sistema previo de sedimentación y finalmente llega a la cisterna de ferrocemento que almacenará el agua captada. Los techos de la casa-habitación, escuela, iglesia, bodega, sombra (*p.e.*, estacionamiento, techumbre), y otras construcciones, deben mantenerse limpios para evitar la basura (hojas, ramas, plástico, otra), tierra o arenas que asolve el reservorio u obstruya la tubería o coladeras.

En las comunidades rurales de los Municipios de Mapimí y aledaños del Estado de Durango, así como del Municipio de Mazapil, Zacatecas, se han estado construyendo cisternas de ferrocemento de 8,000 litros de capacidad, considerando que:

- El tamaño de una familia es de 3 a 5 personas (promedio general)
- Las necesidades de agua son de entre 1000 y 2000 litros•persona^{-1}•año^{-1}
- El área de captación de los techos oscilan entre 50 y 70 m^2
- La precipitación promedio anual es de 250 mm para la región de Mapimí, Dgo. y 350 mm para la región de Mazapil, Zac
- Se construyen moldes (metálicos, de cartón, de triplay u otro material) para el repellado que serán usados en varias cisternas, reduciendo costos

El diseño de construcción de las cisternas es mediante la excavación para el caso de cisternas empotradas en el suelo y solo con 50 cm de saliente sobre la superficie del suelo, o bien superficiales construidas sobre el suelo, solo con el piso de desplante empotrado. La primera es para climas calurosos, donde se dispone de suelo blando y no implica mucho esfuerzo la excavación, permitiendo que la toma de agua sea fácil y operable manualmente, ya sea con una bomba de émbolo artesanal o de mecate, como tradicionalmente se le conoce. En las segundas, se acude a ello cuando el suelo es muy compacto tipo tepetate y hace sumamente difícil la excavación. Este segundo tipo de cisternas tiene la particularidad de que la tapa queda muy alta, pero debe cuidarse que la altura de la cisterna sea la adecuada para la descarga de la tubería hidráulica de los techos, para la captación respectiva.

Al mismo tiempo que se hace la excavación (Figura 4a), se prepara el armazón de la electromalla por ambos lados con tela gallinera, a base de pequeños amarres con trozos de alambre, de acuerdo a las dimensiones de la cisterna (Figura 4b). Por ejemplo, para una cisterna de 8 mil litros, se prepara una electromalla de 2 m de altura y 2.30 m de diámetro. Una vez que está hecha la excavación, profunda o superficial, se procede al armado del piso;

el cilindro de electromalla previamente armado en lugar anexo a la excavación, se coloca sobre la armazón del piso y ambas estructuras, piso y cilindro, se amarran con alambre, para luego proceder primero a repelleo de las paredes internas del cilindro, previa colocación de un material amarrado por fuera que puede ser cualquier lámina o un simple cartón, que soporte la mezcla que se le está aplicando por dentro (Figuras 4c y 4d).

Figura 4. Primeras fases de construcción de una cisterna de ferrocemento: **a)** Excavación **b)** armado del cilindro a base de electromalla y tela gallinera **c)** amarre del cilindro a la estructura de la base del piso **d)** colocación de láminas de cartón grueso por la cara interna del cilindro para repellar por la parte interna. Curso Internacional sobre Sistemas de Captación de Agua, impartido por el GRINVIN en la República de Haití, 2010.

Una vez que se ha repellado la pared externa se procede a vaciar el piso (Figura 5a). Toda esta práctica debe ser en el menor tiempo posible y que los materiales de ambas secciones estén frescos, para un mejor amarre de la mezcla a base de cemento y arena.

Figura 5. Fases finales en construcción de una cisterna de ferrocemento: **a)** repellado lado interno del cilindro de electromalla y vaciado del piso, **b)** repellado por la cara externa del cilindro, una vez que se quita las láminas de cartón, **c)** vaciado y acabado del techo de la cisterna dejando el espacio para una puerta metálica, **d)** acabado y pintura de la cisterna. Curso Internacional sobre Sistemas de Captación de Agua, impartido por el GRINVIN en la República de Haití, 2010.

Posteriormente se procede al repellado de la pared externa del cilindro (Figura 5b) y finalmente se hace la losa del techo de la cisterna, con un vaciado colocando primero una cimbra de madera y un polín, que permita el sostén de la losa (Figura 5c). Al final se realiza el acabado de la cisterna y pintado de la misma con pintura de alberca en la parte interna, para evitar las filtraciones (Figura 5d).

Las cisternas pueden ser construidas de manera empotrada y solo con un saliente de 50 cm sobre el suelo (Figura 6a) o bien, si el terreno es muy duro tipo tepetate, se pueden construir sobre el suelo, con ligero excavado para empotrar la base de la cisterna (Figura 6b).

Figura 6. Cisternas de ferrocemento: empotrada en suelo y con saliente de 50 cm sobre el suelo **(a)** y externas sobre la superficie del suelo **(b).** Mazapil, Zac. GRINVIN, 2013.

Programa de Agricultura Familiar (PAF)

Una vez resuelto el problema del agua mediante obras almacenadoras, como las cisternas, sea de ferrocemento o de concreto a base de molde, se procede a desarrollar actividades productivas de tipo familiar. Para ello, en una primera etapa se desarrollan actividades de motivación y capacitación sobre actividades productivas en traspatio, sobre sistemas de producción agroalimentaria (huertos familiares) y sistema de producción avícola para abasto de huevo y carne de gallina, ésta última como forma de complementar el valor nutricional de la dieta alimenticia.

Huertos familiares

Puesto que se trata de zonas con altas restricciones de agua, se establecen huertos con sistema rústico de riego por goteo, mediante conexión directa del sistema abasto de agua, o el establecimiento de un recipiente de 20 litros de agua, con sistema de filtro a base de arena, grava y carbón activado, para utilizar aguas grises producto del uso doméstico y con ello regar el huerto. El recipiente se coloca sobre un soporte a unos 2 m altura para generar presión sobre las líneas regantes o bien a base de riego con agua corriente (Figura 7).

Figura 7. Sistema de producción agroalimentaria mediante el establecimiento de huertos familiares en traspatio. Mazapil, Zac. GRINVIN, 2013.

Producción de huevo y carne de gallina

Mediante el diseño y establecimiento de gallineros rústicos a base de pequeña barda de bloque o adobe y un pequeño cercado con tela gallinera y techo de lámina y puerta movible, se colocan paquetes de 12 pollitas coloradas, las cuales son rústicas y en un término de seis meses empieza la fase de postura de huevo (Figura 8). Con ello se pretende mejorar la dieta alimenticia, mediante el enriquecimiento de los alimentos con proteína animal, la cual es básica en la población infantil y adultos mayores, que son los sectores sociales con mayor grado de desnutrición en las zonas rurales del país.

Figura 8. Sistema de producción de huevo y carne de gallina mediante el establecimiento de gallineros rústicos con uso de pollitas coloradas. Mazapil, Zac. GRINVIN, 2013.

Producción de caprinos para carne y leche

Una de las actividades más comunes y más generalizadas en las comunidades rurales de las zonas áridas fuera de las áreas de riego, es la producción de caprinos (Figura 9). Sin embargo, la caprinocultura no ha recibido la atención suficiente para promover un desarrollo sostenible en regiones de alta marginación en zonas áridas. Es necesario entonces, la aplicación de una estrategia técnico-metodológica que permita explotar las bondades de este sistema de producción, sobre todo de aquéllos a base de pastoreo extensivo, combinado con estancias de corral. Desde el punto de vista familiar, el ganado caprino es toda una alternativa alimentaria y fuente de pequeños ingresos, mediante la producción de leche y carne de cabrito; así como la venta de adultos para carne o en el caso de los machos como sementales. Aquí el reto es el diseño de un paquete tecnológico a pequeña escala, para que las familias dispongan de un pequeño hato caprino, con un buen sistema de manejo en lo que se refiere a: abasto de agua y forraje, manejo sanitario y reproductivo, nutrición y alimentación y oportunidad de mercado.

En la mayoría de estos aspectos, el caprinocultor tiene idea de cómo enfrentarlos, pero donde más se hace crítico el punto, es en la disponibilidad agua y forraje en tiempo de secas y la manera de cómo procesar y comercializar sus productos, desde los derivados de la propia leche, como los dulces y queso, hasta el propio cabrito. Lo anterior, ante el acaparamiento que hace de estos productos el intermediario. En todo ello se ha trabajado por parte del GRINVIN y se ha dispuesto de un paquete tecnológico que aborda toda esta problemática y ha culminado con la formación de una asociación de caprinocultores del Municipio de Mapimí, Dgo., lo cual ha permitido superar diversos problemas y acceder a los programas gubernamentales de apoyo a este tipo de productores.

Figura 9. Pequeñas unidades de producción caprina en la región centro-norte de México. Montes de Oca, Mapimí, Dgo. 2013.

Todos estos y otras especies vegetales y animales como los cerdos y conejos, pueden formar parte de un sistema de producción familiar, lo cual es la base de una mayor seguridad alimentaria, y que ha demostrado disminuir los grados de subalimentación y desnutrición en las familias, como se ha hecho en algunas regiones de México, centro y Sudamérica. Brasil, durante el régimen de Lula Da Silva, mediante su programa "hambre cero" donde se diseñaron y construyeron un millón de cisternas familiares en la parte nordeste de ese país, permitió la producción y seguridad alimentaria al instaurar el Programa Nacional de Agricultura Familiar (PRONAF) (Hernández *et al.*, 2001 y Pedroza *et al.*, 1978).

Lo anterior significa que, mediante el abasto mínimo de agua y el establecimiento de un sistemas básico de producción agroalimentaria, se sientan las bases para que, en una etapa posterior y de acuerdo al MODELO MAPIMÍ, se pase a etapas superiores de desarrollo, como la educación y salud y la economía familiar, ésta última mediante un sistema de fondo de ahorro y microcrédito y el impulso de la microemepresa rural (Pedroza, 2010). Con ello, se estarían sentando las bases hacia un autodesarrollo con visión sustentable en comunidades con alto grado de marginación y pobreza en zonas áridas.

Evaluación de impacto del proyecto integral bajo el Modelo Mapimí

Como parte de ver la Agricultura familiar en un contexto integral, en el 2001, se realizó por parte de un equipo de expertos del Colegio de Postgraduados una evaluación de impacto del "Proyecto de desarrollo integral en comunidades marginadas del Municipio de Mapimí del Estado de Durango". Se usó la metodología analítico-descriptiva de procesos e impacto social (Hernández *et al.*, 2001).

El tamaño de muestra para caracterizar a la población objetivo es una parte importante del proceso de evaluación de impacto. Esta debe ser en condición óptima; un tamaño de muestra demasiado grande es de alta confiabilidad pero implica demasiada inversión de tiempo, recursos y dinero; en cambio un tamaño de muestra demasiado pequeña, ahorra tiempo y recursos, pero baja considerablemente su confiabilidad. Se requiere entonces un tamaño óptimo de muestra de población a monitorear para levantar la información requerida, que asegure alta confiabilidad y el uso razonable de recursos y tiempo. Hay varios criterios para ello. El empleado en este caso fue tamaño sugerido por el Teorema del Límite Central, definido por la ecuación:

$$\mathrm{n} = \frac{NZ^2}{(\mathrm{N}-1)(d^2+Z^2)}$$

Dónde:

n= Tamaño de muestra para efectuar la estimación simultánea de los parámetros u1, u2…. con la misma precisión relativa.

d= Precisión relativa con respecto a la desviación estándar.

Z= Confiabilidad deseada (1-∞)

N= Tamaño de la población a muestrear

Sobre estas bases se realizó el impacto en cada una de las actividades incluidas en el proyecto.

Producción de alimentos y alimentación

El consumo de alimentos de alto valor nutritivo es bajo. El consumo de la carne fue el más restringido, ya que su mayor frecuencia fue una vez por semana. Por el contrario los consumos diarios de queso, leche de vaca y cabra, fueron relativamente más elevados. La mayoría de los alimentos son adquiridos fuera de la comunidad, a excepción de la leche de cabra, la cual es producida en un 62.5 % de las familias que la consumen regularmente y la carne de conejo en un 72.7 %. Para el caso de las hortalizas, el 27.7 % de las familias se autoabastecen. En alimentos básicos como maíz y frijol, solo 28.3 y 11.6 % producen lo suficiente para su consumo. Como resultado de las acciones desarrolladas por el proyecto, el 56.5 % de las familias consideraron que la alimentación es mejor en comparación a hace 5 años; 34.7 % dijo que era igual y 8.7 % que había empeorado.

Captación, uso y manejo del agua

Fue el programa eje sobre el cual se estructuró la estrategia integral de desarrollo comunitario y por ende el de mayor atención. En cada comunidad se tenía algún problema con el agua, lo cual se fue solventando, de acuerdo a su naturaleza: se confeccionaron cisternas captadoras de agua de lluvia de los techos; cisternas comunitarias para almacenar agua proporcionada por el plan acuario; construcción y rehabilitación de bordos y aljibes, así como pequeñas presas; instalación de equipos solares y eólicos de agua de noria, entre otras acciones. Aunque persisten los problemas de abasto suficiente, el 100 % de las comunidades piloto recibieron atención al respecto; de igual manera se les impartieron cursos de capacitación para una nueva cultura sobre la captación y uso del agua.

Huertos familiares

La producción de hortalizas fue la más diversificada en comparación a otros cultivos. La hortalizas más cultivadas por las familias fueron col (*Brassica eoleracea*) en un 70.9 %; cilantro (*Coriandrum sativum*) 64.5 %; zanahoria (*Daucus carota*) 54.8 %; acelga (*Beta vulgaris*) 51.6 % y; chile (*Capsicum annum*), entre otras. Únicamente la acelga, cebolla y cilantro se comercializan, pero representa un ahorro del 81.6 % del gasto familiar; el resto es para autoconsumo. La producción de hortalizas abasteció a las familias por 4 meses y medio en promedio. Así mismo, a cerca del 42 % de las familias esta producción les alcanzó por un máximo de dos meses.

Producción pecuaria de traspatio

En la región del presente estudio, la explotación pecuaria es una de las actividades económicas más importantes, por lo que el proyecto se avocó de manera especial a esta área productiva, como fue la producción de huevo de gallina y la producción caprina. La mayor parte de las familias entrevistadas dijo desarrollar alguna o ambas de estas actividades, asesoradas por los técnicos del Grupo Interdisciplinario de Vinculación (GRINVIN): 80 % cría de gallina para la producción de huevo y 28 % producción caprina. En apoyo al programa pecuario, la capacitación y asesoría técnica fueron básicas en el desarrollo de esta actividad. El 66.6 % de las familias dijo haber asistido a las jornadas de capacitación, entre jefes de familia y/o la cónyuge. Como resultado de este programa, el 48.3 % de los y las entrevistadas dijo tener una mayor disponibilidad de alimentos; 23.3. % una mejor calidad de la producción y; 15 % haber obtenido ingresos extras por la venta de sus productos. Sin embargo señalaron que aún persisten algunos problemas para eficientar su producción como la falta de recursos económicos (35 %) y agua (13.3 %), así como las falta de más capacitación y asesoría (11.6 %).

Educación

El analfabetismo y la baja escolaridad de las familias es el problema más generalizado en las comunidades que abarca el proyecto. En base al programa educativo desarrollado por el GRINVIN, en coordinación con Instituciones Gubernamentales como el Instituto Duranguense de Educación para Adultos (IDEA), fue posible por un lado erradicar el analfabetismo y la gran mayoría de las personas adultas, sobre todo las señoras, lograron terminar su educación primaria. Más del 34 % de las familias que integran el proyecto, participaron con alguno o algunos de sus miembros en algún tipo de educación, ya sea alfabetización o educación abierta escolarizada.

Salud

El acceso a la educación es un indicador del grado de desarrollo de una comunidad. En este caso el Municipio de Mapimí, ocupa el décimo lugar en cuanto a población derechohabiente de las instituciones de seguridad social en el Estado de Durango, lo cual indica que aún hay graves rezagos. Las enfermedades más comunes en la población infantil fueron las gastrointestinales y respiratorias y, en los adultos mayores, fueron las respiratorias y reumáticas. A nivel familiar el GRINVIN proporcionó capacitación en salud al 46.4 % de las familias del proyecto; con 81 % de participación de la mujer. Los temas de los cursos fueron sobre salud reproductiva, higiene personal y primeros auxilios. Más del 90 % de los y las capacitadas dijeron haber aplicado los conocimientos adquiridos en estos cursos. La construcción de consultorios médicos rurales en cada uno de las comunidades vino a fortalecer las acciones de salud comunitaria.

Fondo de ahorro y microfinanciación

Para el proyecto en referencia, el fondo de ahorro y microfinanciación, fue de las actividades más tardíamente implementada, pero nacida por una necesidad ante la falta de una certidumbre económica básica para enfrentar los problemas diarios de la familia, o bien, iniciar algún pequeño negocio. Para esta actividad se organizaron grupos de señoras de un máximo de 20 y con ello empezó a operar el fondo. También se hicieron grupos de niños ahorradores o mixtos, hombres y mujeres, pero fue un programa donde predominó la participación de la mujer. Se reglamentó la operación del fondo y la facilitación de los microcréditos. El 75 % de las familias participan en el fondo de ahorro comunitario; sin embargo solo el 63 % ha solicitado préstamo, lo que significa que el resto participa solo como ahorradores. El 95 % de las personas participantes fueron invitadas por miembros del GRINVIN. En promedio, han solicitado 1.6 préstamos por familia desde la creación del fondo de ahorro. Generalmente la naturaleza del préstamo es para atender gastos de emergencia familiar. Finalmente el 78 % de las familias dijeron que esta actividad es buena porque les permite solventar emergencias económicas y el 26 % dijo que les había permitido emprender alguna actividad productiva. El 96 % de las personas entrevistadas dijo estar dispuesta a continuar con esta actividad.

Microempresa rural

Dada la falta de oportunidades de empleo y por ende de ingresos extras familiares, se impulsó el programa de la microempresa rural. Se produce vestido, carnes frías, derivados lácteos, dulcería, cosméticos, entre otros productos. El 62 % de las familias dijeron estar participando en este tipo de microempresas. Cada microempresa está integrada por cinco a ocho miembros socios (as). El 95 % de las microempresas dijeron haber sido apoyadas por el GRINVIN, lo cual ha sido básicamente en cuestiones de capacitación, proveer parte de los insumos requeridos, orientación de la consecución de fondos para el equipamiento respectivo y la comercialización. Para el 56 % de las familias, esta actividad ha generado cambios en el nivel de vida de las personas, como una mayor capacidad de compra de alimentos y la obtención de más ingresos. Sin embargo por la reciente creación de las microempresas, persisten problemas como la falta de capital para un 28 % de las familias, en tanto que para un 11.6 % fueron problemas de organización. Otros problemas enumerados fueron la comercialización y la capacitación.

Algunas conclusiones

En opinión general del grupo evaluador del Colegio de Posgraduados (Hernández *et al.*, 2001), producto de la evaluación se derivaron algunas conclusiones generales del impacto del proyecto:

Es alto el nivel de marginación social y de pobreza en que viven las familias, reflejándose principalmente en carencias de empleo, vivienda, salud y educación. El proyecto ha marcado la pauta de cómo rebasar estos límites hacia niveles mejores de desarrollo integral.

Debido a la migración de las personas adultas mayores en busca de empleo, las comunidades son eminentemente jóvenes menores de 20 años (52 %), ello podría marcar la pauta de un programa integral de desarrollo juvenil como futuros líderes de desarrollo de su propia comunidad.

El 50.3 % de los participantes en el proyecto son hombres y 49.7 % mujeres, lo que indica una participación con equidad de género y el rompimiento de esquemas machistas que luego prevalecen en el medio rural; sin embargo es bueno decir que la toma de decisiones persiste sobre los jefes de familia varones.

El 87 % de los jefes de familia saben leer y escribir, aunque el promedio de escolaridad es bajo (4.6 años); sin embargo con un programa intensivo de alfabetización logró erradicarse el analfabetismo, en algunos casos aunque solo aprendiendo a escribir su nombre, en los casos de adultos muy mayores.

La mayor parte de los ingresos familiares llegan de fuera de la comunidad, de la prestación de servicios. Estos representan el 40 % de los ingresos totales al año.

Las principales actividades económicas son la de jornalero (24.6 %), agricultor (21.7 %) y en el sector pecuario (14.5 %).

La dieta básica de alimentación diaria es a base de frijol y maíz, esporádicamente carne de res y pollo y cada vez más frecuente el consumo de verduras, mediante la autoproducción a través de huertos familiares. Con ello hay la marcada tendencia a mejorar la calidad de la dieta alimenticia, lo cual se apoya con un programa de educación alimenticia y nutricional. Sin embargo un 47.8 % de las familias considera necesario reforzar este aspecto ya que persisten problemas de desnutrición y anemia.

El 95.6 % de las familias tienen traspatio y 54.5 % lo cultivan con la producción de hortalizas y animales domésticos como gallinas, conejos, vacas y cabras, con lo cual complementan ingresos y alimentos.

El agua es el factor preponderante en la problemática de las comunidades, por encima de los demás factores adversos que en forma aislada se enfrentan a diario las familias.

Los principales programas de trabajo en los que participan las familias son el fondo de ahorro y microcrédito (92.7 %), ganadería de traspatio (72.5 %), huertos familiares (60.8 %) y el programa de salud y nutrición (50.7 %), lo cual ha permitido una perspectiva mejor de vida, en la medida que dichos programas sean perdurables en el tiempo.

El programa pecuario destaca con la actividad caprina y participación principal de los miembros varones; en tanto que en el programa de fondo de ahorro y microcrédito destaca

la participación de la mujer (72.1 %), lo cual refleja un desarrollo potencial un tanto diferenciado por género.

Aun cuando el personal de GRINVIN ha sido factor de impulso del proyecto, gran parte de las personas (59.4 %) de las comunidades han participado en alguna forma como promotores y promotoras de desarrollo, lo cual es importante dado que es parte del empoderamiento familiar y base futura del autodesarrollo.

Es evidente que a partir de la aplicación del proyecto, se han mejorado deferentes aspectos de la comunidad como algunos servicios (energía eléctrica a partir de energía solar, agua desalinizada y ahora potable, entre otros); un 56.5 % de las familias dijeron haber mejorado su dieta y; un 46.4 % sus condiciones de salud. Lo anterior marca la tendencia de incidir en indicadores básicos para un desarrollo comunitario sustentable.

La comunidad académica de profesores y estudiantes manifiestan su disponibilidad y satisfacción en la participación en los diferentes programas del proyecto; aun cuando persisten problemas de tipo operativo y carencia de apoyos como el transporte. Sin embargo se reconoce la trascendencia del proyecto para la Institución y las propias comunidades.

Agradecimientos

Un agradecimiento a la Dra. Sara Oranday Dávila de la Universidad Autónoma de Coahuila por su colaboración con información que permitió enriquecer el presente capítulo.

LITERATURA CITADA

Al-Kaisi M, Elmore RW, Guzman JG, Hanna HM, Hart CE, Helmers MJ, Hodgson EW, Lenssen AW, Mallarino AP, Robertson AE, Sawyer JE. 2012. Drought impact on crop production and the soil environment: 2012 experiences from Iowa. Journal of Soil and Water Conservation. 68(1): 9-24.

Anaya GM**.** 2004. Sistema de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y el Caribe. IICA. Agencia de cooperación técnica IICA-México.

Comisión Nacional del Agua (CNA). 2001. Programa Hidráulico de Gran Visión 2001-2025. Gerencia Regional de las Cuencas Centrales del Norte. Torreón, Coahuila.

Comisión Nacional del Agua (CNA). 2010. Contraste regional entre el desarrollo y la disponibilidad del agua, 2008. Atlas Digital del Agua 2010. Disponible en: http://www.conagua.gob.mx/atlas/atlas.html?seccion=0&mapa=8 [Accesado el 15 de abril de 2014]

Cháirez AC, Palerm JL, Tijerina LC, Jiménez LS, Martínez-Saldaña T. 2006. La regulación del río Nazas ¿acierto o desacierto? AgroNuevo 2(11): 33-60.

Cruse MR. 2012. Agriculture: is climate change a serious issue?" Revista Agrociencia Uruguay, Special issue Sep: pp. 9-19

Cruz MA. 2014. Evaluación de prácticas de retención de humedad para el establecimiento de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en zonas áridas. Tesis de Maestría en Ciencias. México, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.

Elliott J. 2013. Constrains and potentials of future irrigation water availability on agriculture productive under climate change. Disponible en: http/www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1222474110 (Accesado el 30 de mayo de 2014).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 1996. Cumbre mundial sobre alimentación. Roma Italia. Disponible en: www.fao.org/wfs/index_es.htm [Accesado el 12 de mayo de 2014]

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2002. Agua y cultivos. Disponible en: www.fao.org/docrep/006/y4525s/y4525s05.htm [Accesado el 24 de marzo de 2014]

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2008. Key Statistics of Food and Agriculture. External Tade.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2000. Manual de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, experiencias en América Latina. Serie zonas áridas y semiáridas. No. 13. Santiago de Chile.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (FAO-SAGARPA). 2012. Evaluación y Análisis de Políticas Públicas. Disponible en: http://www.fao-evaluacion.org.mx/pagina/informe-evaluacion-programas [Accesado el 17 de Agosto de 2014]

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2014. Agricultura Familiar. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Recuperado de: www.rlc.fao.org/es/conozca-fao/prioridades/agricultura-familiar/ [Accesado el 25 de septiembre de 2014]

García E. 1973. Apuntes de Climatología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.

G20. 2012. Sustainable agricultural productivity growth and bridging the gap for small-family farms. Interagency Report to the Mexican G20 Presidency, with contributions by BIOVERSITY, CGIAR Consortium, FAO, IFAD, IFPRI, IICA, OECD, UNCTA, WFP, WORLD BANK, AND WTO.

González MG. 2012. Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación. Primera ed. Ed. SEMARNAT-INECC. Impreso en México.

GRINVIN. 2013. Informe final del Proyecto de desarrollo integral en comunidades y cosecha de agua del Municipio de Mazapil, Zac. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, UACH. Bermejillo, Dgo.

Hernández JM, Figueroa ROL, Núñez EJF, Jiménez SL. 2001. Proyectos de la Iniciativa de Nutrición Humana apoyados por la Fundación W.K. Kellogg. Evaluación de impacto socioeconómico del proyecto: Alternativas de desarrollo social en comunidades marginadas del Municipio de Mapimí, Dgo. México. Colegio de Posgraduados, Montecillo, Edo. De México.

Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI). 2013. Informe de Políticas Alimentarias Mundiales 2011. Washington, D.C.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2003. Aspectos relevantes de la política del agua en México, en el marco de desarrollo sustentable. México, D. F.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2012. FAO: Sequías recurrentes obligan a una mejor gestión de los recursos hídricos. Disponible en: www.imta.gob.mx › Inicio › Noticias / Eventos › Internacionales [Accesado el 15 de Agosto de 2014]

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Censo de Población y vivienda 2010. Recuperado de: http://www.inegi.org.mx/sistemas/comunicados/default.aspx?c=17181&s=est

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Shaftesbury Road, Cambridge CB2 8RU ENGLAND.

Lynas M. 2008. How the rich starved the world. New Statesman, April 17, 2008. OECD/FAO. 2012. OECD-FAO Agricultural Outlook 2012-2021. OECD Publishing and FAO.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2014a. Año Internacional de la Agricultura Familiar. Disponible en: http://www.ecoticias.com/alimentos/88535/2014-ano-de-la-agricultura-familiar-(onu) [Accesado el 23 de Julio de 2014]

Organización de las Naciones Unidas (ONU). 2014b. La población mundial alcanzará los 9.6 mil millones en 40 años. Recuperado de: http://actualidad.rt.com/actualidad/view/97314-poblacion-mundial-crecimiento-onu [Accesado el 19 de septiembre de 2014]

Pedroza-Sandoval A. 2010. Desarrollo Comunitario Sustentable. Una alternativa a la crisis agroalimentaria en países en desarrollo. DR © Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Publicaciones de la Dirección General de Difusión Cultural y Servicio.

Pedroza-Sandoval A, Sánchez-Cohen I, Becerra-López JL, Ramos-Cortez E, Reyes-Bernabé C, Rosales-Palacios LV, Vargas-Piedra. 2014. Regionalización de zonas con escaso régimen pluvial: Estudio de caso zona Centro-Norte del Estado de Durango, México. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Bermejillo, Dgo.

Pedroza SA, Ruíz TJ, Alaniz Fl. (Eds.) 1978. Desarrollo Rural Sustentable. Experiencias, Enfoques y Perspectivas. Editorial Hería Impresores, S.A. de C.V. Gómez Palacio, Dgo.

Postel S, Richter B. 2010. Ríos para toda la vida. La gestión del agua para las personas y la naturaleza. Traducido de: Rivers for Life. Managing Water for People and Nature. SEMARNAT-INE.

Ramírez CH, García GI Martínez JG. 2005. Caracterización participativa de agostaderos degradados en un predio de la Reserva de La Biosfera Mapimí. Memorias del II Simposio Internacional de Manejo de Pastizales. INIFAP-Gobierno del Estado de Zacatecas.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2012. Agricultura familiar con potencial productivo en México. GOB. FEDERAL-SAGARPA-FAO. México, D.F.

Sánchez-Cohen I, Oswald-Spring G, Díaz-Padilla J, Cerano-Paredes M, Inzunza IR, López L, Villanueva DJ. 2012. Forced Migration, Climate Change, Mitigation and Adaptative Policies in Mexico: Some Functional Relationships. International Migration Journal. 4, 53-72

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (SEMARNAT-INECC). 2012. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Disponible en: http:// www.ine.gob.mx

Stretta EJP, Mosiño APA. 1963. Distribución de las Zonas Áridas de la República Mexicana según un Índice de aridez derivado del de Emberger. Ingeniería Hidráulica en México. XVI(1).

Tahoria CM. 2007. El Clima. El calentamiento global y el futuro del planeta. Random House Mondadori, S.A. México, D.F.

Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación (UNCCD). 2013. Segunda Conferencia Científica de la CLD; Aspectos económicos de la desertificación, la degradación de las tierras y la sequía: Metodologías y análisis para la toma de decisiones. Disponible en: http:www.//2sc.unccd.int/es/inicio [Accesado el 27 de mayo de 2014]

UACh-CONAZA-SEDESOL-SAGARPA. 2004. Escenarios Climatológicos de la República Mexicana ante el Cambio Climático. Editado por Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos.

Velázquez MA, Medina-García G, Sánchez-Cohen I, Klauidia-Oleschko L, Ruiz-Corral JA Gabor-Korvin G. 2013. Spatial Variability of the Hurst Exponent for the Daily Scale Rainfall Series in the State of Zacatecas Mexico. Journal of Applied Meteorology and Climatology. 52, 2771 - 2780.

World Bank. 2008. World Development Report 2008: Agriculture for Development. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank.

ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS, CAMBIO CLIMÁTICO, DEGRADACIÓN DEL SUELO, DESERTIFICACIÓN Y ENFOQUE DE LA AGRICULTURA SUSTENTABLE

Alejandro Moreno-Reséndez[1*♠], José Luis Reyes-Carrillo[1♠], César Márquez-Quiroz[2♠], Cándido Márquez-Hernández[3♠], Rosario Moncayo-Luján[4♠]

[1] Integrantes del Cuerpo Académico Sistemas Sustentables para la Producción Agropecuaria, Clave: UAAAN-CA-14. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – Unidad Laguna, Torreón, Coahuila.
[2] Integrante del Cuerpo Académico Producción Agropecuaria en el Trópico Húmedo, Clave: UJAT-CA-209, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
[3] Cuerpo Académico Ecología, Biodiversidad y Manejo de Recursos Bióticos, UJED-CA87, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango
[4] Integrante del Cuerpo Académico Ingeniería en Biotecnología y Administración de Negocios Internacionales, Clave: UPGOP-CA-1, Universidad Politécnica de Gómez Palacio
♠ Integrantes de la Red Académica de Innovación en Alimentos y Agricultura Sustentable (RAIAAS) – CIESLAG-COECYT
*Autor para correspondencia: correo electrónico: alejamorsa@yahoo.com.mx

RESUMEN

Las perturbaciones mundiales provocadas por el cambio climático, la urbanización, el agotamiento de la capa de ozono, el crecimiento demográfico, el incremento de la infraestructura, las migraciones, los cambios en los usos del suelo y la contaminación están alterando al planeta Tierra y su funcionamiento. Respecto al suelo es ampliamente reconocido que la base de todas las actividades humanas es este cuerpo natural, el cual al estar en contacto con la atmósfera y recibir el impacto de las condiciones climáticas de cada región, además del impacto derivado de diversas actividades antropogénicas y del cambio climático global, ha sufrido importantes cambios que conllevan implícitamente su degradación. La cual está ampliamente relacionada con el proceso de desertificación, de cada vez más ingentes cantidades de superficies cultivables. La desertificación es, fundamentalmente, un problema de desarrollo sostenible. Por lo tanto, ante la evidente relación entre desertificación y cambio climático se ha despertado el interés de investigadores, quienes destacan la urgente necesidad de incrementar el conocimiento científico del impacto de los factores climáticos sobre distintos procesos de degradación y sobre la capacidad del suelo para amortiguar la tendencia del calentamiento global. También se pretende que dicho conocimiento genere elementos que permitan realizar actividades de mitigación y/o adaptación, especialmente enfocados al desarrollo de la agricultura sustentable, buscando que las futuras generaciones carguen con problemas ambientales que se puedan evitar y que logren satisfacer sus propias necesidades.

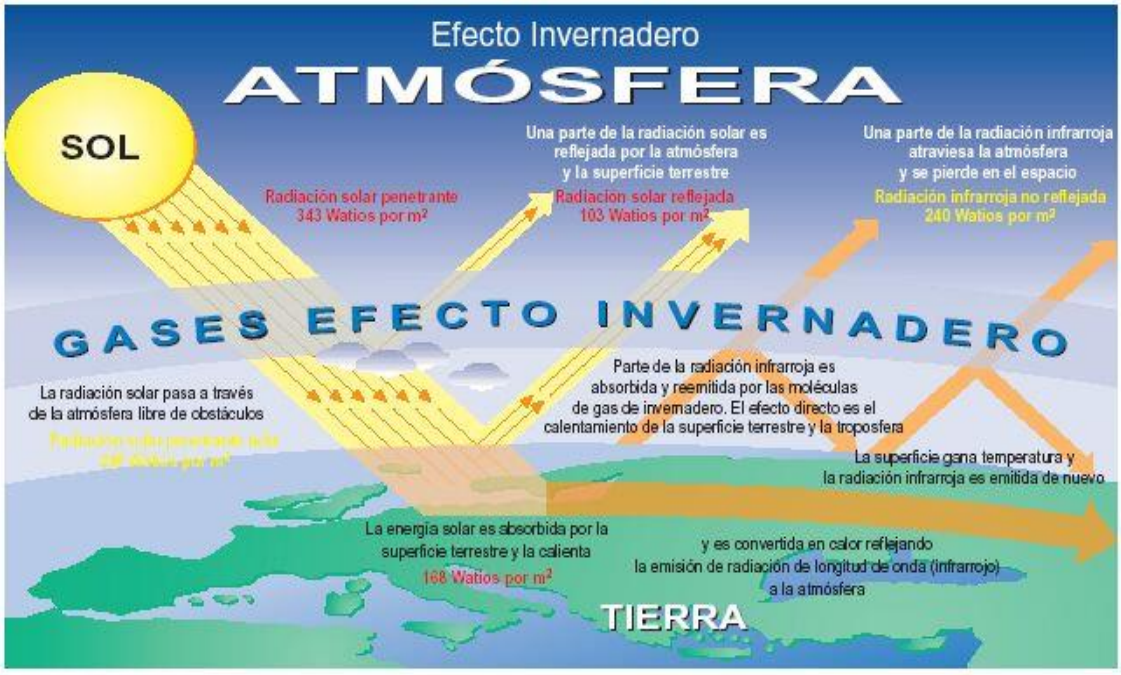
Palabras clave: actividades humanas, impacto ambiental, cambio global, calentamiento, gases efecto invernadero.

El cambio global

D'Antoni (2005) señala que el cambio es una propiedad intrínseca de los sistemas. Como tal, la Tierra es un sistema cambiante. De hecho, a través del tiempo, ha cambiado la proporción de los océanos y la tierra firme, la altura del nivel de mar, las formas de la superficie y el clima, es decir la condición media de la atmósfera. La tectónica de placas ha reconfigurado tanto el fondo del mar como el número, distribución, y topografía de los continentes. Estos cambios son producidos por enormes fuerzas naturales tales como las que sujetan el movimiento de la Tierra en su órbita alrededor del Sol, las variaciones de la energía que emite el Sol y las erupciones volcánicas. Otros componentes del cambio global son aquellos producidos, inducidos o aumentados por las actividades humanas. Aunque en general son cambios de magnitud muchísimo menor que los ya señalados, éstos pueden alcanzar escala global y tener consecuencias devastadoras para la humanidad y para el resto de los seres vivientes. Estos cambios son sobre todo climáticos pero influyen a otros componentes del "Sistema Tierra" (Cárdenas y Cárdenas, 2009).

El calentamiento global (CG) es producido por el efecto invernadero (Figura 1). El problema del CG se ha tornado complicado porque el albedo (relación entre la radiación solar recibida y la radiación solar reflejada) y la emisividad [grado al cual la atmósfera emite radiación infrarroja y depende de la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera] están relacionados, ya que ambos aumentan al incrementar el espesor de las nubes (Mañaga-Rueda, 2004) – ambas características determinan la fracción de energía solar que incide y que se libera de la superficie terrestre (Alchapar *et al.*, 2012).

Figura 1. Presencia e impacto de los gases de efecto invernadero en la atmósfera.
(**Fuente:** http://www.grida.no/publications/vg/climate/page/3058.aspx).



Fuente: UNEP –GRID-Arendal.

Como el albedo y la emisividad tienen efectos opuestos en la temperatura de la superficie, tienden a compensarse. El signo y la magnitud de esta compensación resultan clave para entender el problema del CG, pues al cambiar el bióxido de carbono (CO_2) o el metano (CH_4), cambia la emisividad y eventualmente el albedo por los impactos del calentamiento en el ciclo hidrológico. Así, al calentarse el planeta se espera un incremento en la evaporación aumentando el vapor de agua, el cual aumenta la emisividad. Sin embargo, al formarse más nubes aumenta el albedo. La respuesta final de la temperatura de superficie al aumento del CO_2 dependerá de la respuesta de la emisividad y el albedo del sistema. Por ejemplo, si el albedo permaneciera constante y la emisividad aumentará se produciría un fuerte calentamiento del sistema. Sí, como parece ocurrir en la realidad, el albedo aumenta pero a una razón menor a la de la emisividad, el calentamiento es menor. Finalmente, si el albedo aumentara a una razón mayor a la que aumenta la emisividad, se produciría un enfriamiento (Mañaga-Rueda, 2004).

La atmósfera contiene GEI [entre los que destacan: vapor de agua y gases de traza como el CO_2, el CH_4, el óxido nitroso (N_2O), el ozono (O_3), los clorofluorocarbonos (CFC) de los cuales el freón es el más conocido]. Éstos son transparentes a la energía de onda corta y opacos a la de onda larga. El efecto invernadero es un componente normal del Sistema Tierra por el cual la temperatura media del planeta es 33 ºC más alta de lo que sería sin ese efecto y por tanto inhóspita para la vida como se conoce hoy. Lo que ha estado preocupando a la humanidad desde mediados del siglo XX es el incremento significativo del efecto invernadero (D'Antoni, 2005; Caballero *et al.*, 2007).

La combustión de carbón, del petróleo y del gas natural para alimentar la calefacción, mover los vehículos y las máquinas, e iluminar las ciudades produce CO_2 y otros GEI. La deforestación y limpieza de la tierra para usos agrícolas también agrega GEI. Las actividades humanas alteran la composición química de la atmósfera, la radiación solar recibida y la circulación de los fluidos. Estas alteraciones ponen en riesgo los balances planetarios. Los gases de traza suman menos del 1 % de la atmósfera, pero están creciendo rápido debido a las actividades humanas (D'Antoni, 2005).

El fenómeno del cambio climático

A través del tiempo, y con mayor intensidad después de la Revolución Industrial y la Revolución Verde, todas las actividades humanas – agropecuarias, industriales, de salud y de servicios, sobre todo cuando éstas se desarrollan de manera no sostenible - han provocado impactos directos e indirectos sobre el ambiente y sobre los recursos naturales no renovables (Luege-Tamargo, 2005). Lo anterior, por una parte, se debe al creciente incremento de la población (Dumanski y Pieri, 2000) y por la otra a que los procesos agrícolas, urbanos e industriales generan grandes cantidades de residuos (Valadares-Veras y Povinelli, 2004; Ancona-Méndez *et al.*, 2006). Además, estas actividades generan contaminantes atmosféricos, con los cuales se ha incidido sobre la dinámica y la calidad ambiental de los servicios que brindan los ecosistemas contiguos y distantes (Luege-

Tamargo, 2005). El crecimiento demográfico, el abuso en el uso de los recursos naturales no renovables, la negligencia de los Estados y los particulares, aunado al profundo desconocimiento y subestimación de las consecuencias de la depredación de los bosques, los acuíferos, los suelos, la flora y la fauna, han sido factores importantes para el deterioro del ambiente (Carbajal-Tejada, 2005). Lo anterior ha sido pauta para el desarrollo del fenómeno conocido como cambio climático (CC).

En el Artículo 1 del documento emitido en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), realizada en 1992 (ONU, 1992), se define el CC como aquel cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables de tiempo. A manera de complemento y debido al papel que ha desempeñado la humanidad sobre este fenómeno, en el 4º Informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), publicado en Febrero de 2007, se resalta que el CC es un fenómeno natural que ha sido acelerado por su masiva intervención en los ciclos naturales del planeta (Zaror, 2007). La trascendencia y preocupación vigente es que las actividades humanas han afectado a los ciclos biogeoquímicos globales produciendo una especie de bombas físicas y químicas de tiempo (Toledo, 2006).

Entre los ciclos esenciales para la vida sobre la Tierra se encuentra el ciclo del agua o ciclo hidrológico. Este ciclo regula procesos biofísicos críticos y funciones ambientales vitales de los ecosistemas. El ciclo hidrológico liga a los grandes sistemas de producción, transferencia y almacenamientos de energía y materiales del planeta. El ciclo determina los movimientos del agua en el sistema terrestre a través de tres procesos básicos: la precipitación, la evapotranspiración y la escorrentía. Con estos procesos se modula el clima y la dinámica fluvial que hace posible la vida en la Tierra. El agua participa de una manera preponderante en la moderación de los extremos climáticos (Toledo, 2006). En relación al vapor de agua Mañaga-Rueda (2004), destaca que este vapor es el gas de efecto invernadero más importante en la Tierra. Su importancia estriba en que, durante el día, el vapor de agua en la atmósfera, en forma de nubes, refleja una parte de la energía solar y absorbe o re-irradia hacia la Tierra la energía reflejada y el calor emitido por la superficie terrestre. Durante la noche, las nubes operan como un aislante contra el enfriamiento rápido del aire. De tal manera que, gracias a esta función reguladora, las temperaturas máximas se reducen, las mínimas se incrementan y la temperatura de la superficie del planeta se eleva en forma más considerable que en la ausencia del agua en la atmósfera, lo que crea las condiciones de invernadero favorable e indispensable para la existencia de los sistemas biológicos (Toledo, 2006).

Es ampliamente conocido que la construcción de la atmósfera, a partir de la combinación de vapor de agua, CO_2 y O_2; y la síntesis de las primitivas moléculas atmosféricas, condujo a la formación de las grandes moléculas orgánicas capaces de replicarse. Así, muy lentamente, transcurrieron miles de millones de años para que el vapor de agua, el CO_2 y el O_2 crearan el efecto invernadero que aisló y protegió a la superficie

terrestre de las radiaciones ultravioletas del sol y volvió a los climas más tibios y cálidos, creando las condiciones climáticas favorables para la emergencia de la vida en el planeta Tierra (Toledo, 2006).

Adicionalmente, la vida en la Tierra es posible gracias a la energía que se capta del sol. La radiación solar pasa a través de la atmósfera. Parte de esta radiación solar es reflejada por la atmósfera y la superficie terrestre, y parte es absorbida por la superficie terrestre. La superficie terrestre se calienta, y la energía absorbida se convierte en calor, en concreto, en forma de radiación de onda larga (infrarroja), la cual vuelve a la atmósfera. De esta radiación infrarroja, hay una parte que atraviesa la atmósfera y se pierde en el espacio, y otra parte que es absorbida y emitida de nuevo por las moléculas de los GEI. El efecto directo es el calentamiento de la superficie terrestre y la troposfera (GC, 2008).

El efecto invernadero es un fenómeno natural que se produce por la presencia de gases traza, como el CO_2, el CH_4, el N_2O, el O_3 y el vapor de agua. Estos absorben una parte de la radiación infrarroja que emite la superficie de la Tierra, las nubes y la propia atmósfera. Luego, la radiación se emite en todas las direcciones y los GEI atrapan este calor en el sistema superficie-troposfera. En ausencia de este efecto la temperatura superficial del planeta sería del orden de -18 ºC, es decir, los océanos estarían congelados y no existirían condiciones para sostener la vida en su forma actual (Zaror, 2007). Los GEI sólo representan aproximadamente el 1 % en la composición de la atmósfera, pero su presencia permite retener el calor y mantener el planeta 30 °C más caliente que si no existieran (GC, 2008).

Como se menciona en los párrafos anteriores, y derivado esencialmente de las actividades antropogénicas, el clima mundial ha evolucionado con variaciones naturales, pero datos obtenidos en cualquier parte del mundo apuntan a que estas actividades están haciendo que la concentración de los gases responsables del efecto invernadero sea cada vez más alta. Durante la era industrial y postindustrial, los niveles naturales de los GEI se han visto incrementados por las emisiones de CO_2 producto de la combustión de los combustibles fósiles, por el CH_4 y el N_2O adicionales generados por las actividades agrícolas y los cambios en el uso del suelo y por varios gases industriales de larga vida que no se producen de manera natural. Si la concentración de estos gases continúa aumentando al ritmo del último siglo, la intensificación del efecto invernadero implicará, como ya ha sucedido, un incremento global de la temperatura del aire (calentamiento mundial) que puede perturbar de manera significativa y peligrosa las pautas naturales del clima (GC, 2008).

El aumento de la concentración de GEI sería responsable de un significativo incremento de la temperatura global en años recientes, lo que se acentuará en las próximas décadas, generando alteraciones en los perfiles climáticos que pueden afectar severamente las actuales condiciones de vida. De hecho los pronósticos, por cierto nada halagadores, señalan de manera categórica que, los cambios que está experimentando el sistema climático global y las tendencias proyectadas para el resto del siglo XXI revisten extrema gravedad para la sociedad humana (Zaror, 2007).

Impacto de las actividades humanas sobre el ambiente

Las actividades antropogénicas – de manera preponderante la quema de combustibles fósiles – carbón, petróleo y gas (Martens *et al.*, 1998; Estrada-Porrúa, 2001) - y las alteraciones de la cubierta terrestre – han provocado, en los últimos años, la modificación de la concentración de los componentes atmosféricos de la superficie de la Tierra cuya función esencial es la absorción y/o dispersión de la energía radiante que proviene del Sol. Debido a esta condición se ha estimado que para el período 1750 – 2005 las concentraciones de CO_2, CH_4 y N_2O incrementaron de 280 a 379 ppm, 715 a 1774 y 270 a 319 ppb, respectivamente y en el caso de la temperatura el incremento total fue de 0.76 °C (OMM, s/f).

A manera de complemento, también se ha estimado que a principios del siglo XXI el 75 % de las emisiones de CO_2 hacia la atmósfera se deben a la quema de combustibles fósiles y el porcentaje restante a cambios en el uso de suelo, particularmente debido a la deforestación, y se estima que para el año 2100 se incorporen a la atmósfera entre 5,000 y 35,000 millones de toneladas de carbono (MtC), con esta incorporación las concentraciones de CO_2 alcanzarán niveles entre 540 y 970 ppm y en consecuencia al incrementar la concentración de este gas en el aire, los océanos y los suelos absorberían cada vez menos emisiones antropogénicas de CO_2 y con lo cual se incrementaría aún más su acumulación en la atmósfera (Estrada-Porrúa, 2001).

Proceso de degradación del suelo

Del total de la superficie terrestre, 510, 066,000 de km^2, aproximadamente ¼ parte, es decir 148, 647,000 km^2, constituyen la corteza terrestre y de ésta, la mayor parte se encuentra cubierta por una fina membrana de vida biológica que constituye el suelo: el cual proporciona aire, agua, elementos nutritivos y soporte mecánico a las especies vegetales (Tabuenca, 1999).

Adicionalmente, la relevancia de los suelos se debe a que éstos constituyen un sistema vital de relevancia, bajo la sola consideración de que la mayor parte de la producción agropecuaria, requerida por la humanidad en continuo crecimiento, depende de éstos. Aparte de esta función sustancial, de ser la base para la producción de biomasa, los suelos cumplen otras funciones importantes para la humanidad. Por una parte actúan filtrando, amortiguando y transformando compuestos adversos que contaminan el ambiente, protegiendo así de la polución la cadena alimenticia y el agua subterránea; y también comprenden una reserva de genes, la cual es más completa en calidad y cantidad que la de toda la biota sobre la Tierra. Los suelos son el cimiento para el establecimiento de obras de infraestructura, instalaciones industriales, sistemas de transporte, espacios para actividades de recreación, y también son usados como receptores de residuos y desechos de las actividades antropogénicas. Los suelos son depositarios de materiales tales como gravas,

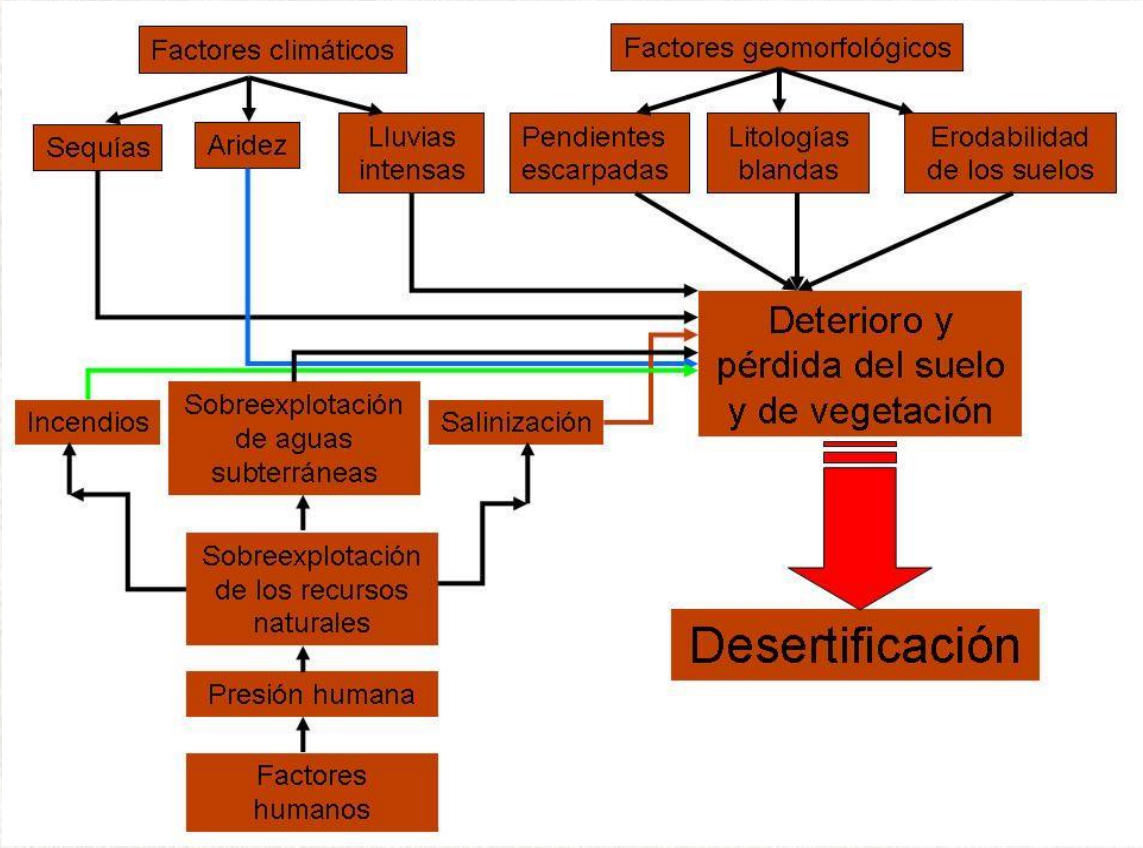
arenas, arcillas y de diversos minerales, de fuentes de agua y de materiales energéticos, que el hombre aprovecha para su bienestar y desarrollo. Conjuntamente con todas estas funciones los suelos son herencia geogénica y cultural, forman parte de los paisajes y guardan tesoros arqueológicos y paleontológicos de gran relevancia para el entendimiento del desarrollo e historia de la humanidad (López-Falcón, 2000).

Además, el suelo como capa superior de la corteza terrestre interacciona permanentemente con la atmósfera del planeta, de la cual recibe humedad y con ella misma mantiene un continuo intercambio de gases, compuestos y flujos energéticos, de hecho se ha establecido que la superficie de la Tierra y las regiones cercanas a la superficie están dominadas por interfases entre sólidos, líquidos y gases (Brown *et al*., 1999).

Por otro lado, los suelos reciben el impacto de la radiación solar, con la cual, además de proporcionar la temperatura de éstos también se ve afectada la superficie terrestre y debido a que los suelos permanentemente están expuestos a las condiciones atmosféricas que imperan en cada región, condiciones que pueden provocar la degradación de este recurso natural (Rubio, 2007). El proceso de degradación hace referencia al empobrecimiento cuantitativo y cualitativo de cualquier conjunto biológico, del suelo, ambiental, etc., (Amestoy-Alonso, 2001). En este sentido los cambios climáticos que difieran de la situación de equilibrio afectan tanto diferentes parámetros de estabilidad del suelo como la provisión de bienes y servicios proporcionados por este cuerpo natural (Cloudsley-Thompson, 1979).

Igualmente, en el proceso de degradación de la calidad del suelo juegan un papel destacado los niveles decrecientes de materia orgánica (MO) debido al papel de mantenimiento que realiza sobre la mayoría de las propiedades de este recurso natural. Así por ejemplo, la estructura y la textura del suelo son responsables de funciones tan importantes como la regulación del almacenamiento de humedad, la actividad biológica del suelo, la aireación, la dinámica de los elementos nutritivos o la resistencia a los procesos de erosión (Kennedy y Smith, 1995) (Figura 2).

Figura 2. Desarrollo del proceso de desertificación.
Fuente: Kennedy y Smith (1995).



La degradación del suelo puede ser definida como la reducción de la calidad del suelo resultado de las actividades humanas. La erosión hídrica, la erosión eólica, la degradación química (incluyendo el agotamiento de los elementos nutritivos y la pérdida de la MO, el ensalitramiento, la acidificación, y la contaminación química), y el deterioro de las propiedades físicas son los cuatro principales tipos de degradación del suelo. A fines del siglo XX, y derivado de un estudio realizado en 21 diferentes regiones del mundo, se estableció que aproximadamente 2,000 millones de hectáreas presentaron alguna forma de degradación del suelo. Destacando como principales causas los métodos agrícolas inapropiados, la deforestación y el sobrepastoreo. También se ha establecido que tanto la erosión hídrica como la erosión eólica han afectado cerca del 84 % del área total degradada, de la cual, más del 80 % se localizó en África, Asia, y América del Sur y América Central. Cerca del 60 % se localizó en regiones secas pobremente ubicadas para la agricultura intensiva (Cassman, 1999).

Finalmente, los procesos de degradación del suelo – que implica la reducción persistente de su productividad biológica y económica (FIDA, 2010) - incluyen, entre otros, erosión hídrica y eólica, salinización, sodicidad, sellado, compactación, pérdida de MO y

pérdida permanente de cobertura vegetal. Como se ha establecido, en sus últimas consecuencias la desertificación representa el desmantelamiento de todo el potencial biológico de las regiones afectadas y la conversión de éstas a un territorio yermo e improductivo (Serrato-Sánchez *et al.*, 2002).

Envergadura de la desertificación

La desertificación es la degradación de la tierra que resulta principalmente del impacto provocado por la acción del hombre (Rozanov, 1994). Se entiende por desertificación la degradación de los suelos de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas (FIDA, 2010), las cuales abarcan, aproximadamente, una tercera parte de la superficie continental del planeta Tierra (Oropeza-Orozco, 2004). Este proceso no solo consiste en el avance de los desiertos, aunque puede abarcar la invasión de diferentes regiones por dunas. Se trata más bien de la degradación persistente de los ecosistemas, la reducción del potencial biológico y la pérdida de la productividad del suelo de regiones secas del planeta a causa de las actividades humanas y de las variaciones climáticas (Oropeza-Orozco, 2004; FIDA, 2010). Debido a los efectos sobre el bienestar humano y el ambiente, la desertificación constituye uno de los mayores desafíos de la actualidad relacionados con el desarrollo (FIDA, 2010).

El proceso de desertificación en sus fases iniciales se genera de manera insidiosa y solapada, sin consecuencias aparentes sobre las condiciones de funcionamiento y estabilidad del suelo (Kennedy y Smith, 1995). En condiciones naturales, el inicio de este proceso se presenta cuando: a) se elimina la cubierta de árboles y plantas que dan cohesión al suelo; b) se destruyen los árboles y arbustos para obtener leña o madera – debido a que en muchas regiones es la principal fuente de energía doméstica (CNULD, 2011) - o limpiar los terrenos para cultivarlos; c) los animales consumen todo el pasto y erosionan la capa superior del suelo con sus pezuñas; y d) la agricultura intensiva agota el nivel de fertilidad natural del suelo. Aunado a lo anterior, la erosión hídrica y eólica agrava el daño al provocar el arrastre de la capa superior del suelo de modo que los terrenos se convierten en una mezcla de polvo y arena de muy escasa fertilidad. También es necesario destacar que el proceso de desertificación se ve favorecido por otras causas entre las cuales destacan: los períodos de sequía prolongados, los cuales resultan perjudiciales para los ecosistemas, cuando se registran las sequías pueden obligar a las personas a emigrar a zonas ambientalmente frágiles, provocando un exceso de presión sobre estas regiones; la minería también puede resultar nociva, e irremediablemente el propio CC acelerará la tasa de desertificación, principalmente en las regiones más secas de la Tierra.

De los factores antropogénicos relevantes que pueden derivar en un proceso de desertificación existe una gran variedad que depende de las diferentes sociedades y culturas, entre ellos destacan: la agricultura de riego y de temporal (uso inadecuado de tecnologías, mal manejo del riego y drenaje, abuso de plaguicidas y fertilizantes inorgánicos o carencia de fertilizantes orgánicos, pérdida de control de fuego en labores agrícolas, reducción del tiempo de barbecho de las tierras cultivadas, conflictos por el uso y tenencia de la tierra); la

ganadería y el pastoreo (uso descontrolado del fuego para la regeneración de pastos, sobrepastoreo); la actividad forestal (extracción excesiva de madera y leña, pérdida de la cubierta vegetal, incendios forestales); el desarrollo urbano e industrial (asentamientos humanos sobre suelos fértiles, contaminación del suelo y agua), y los cambios de usos del suelo (Oropeza-Orozco, 2004).

La desertificación y el CC son procesos recíprocos. Esto se debe a que al incrementar los episodios extremos en frecuencia y gravedad debido al CC, la degradación de las tierras secas tiende a aumentar. O lo que es peor, la desertificación y el clima pueden formar un "bucle de retroalimentación" con la pérdida de vegetación provocada por la desertificación que reduce los sumideros de carbono e incrementa las emisiones de las plantas en descomposición. El resultado es la emisión de más gases de efecto invernadero a la atmósfera y un continuo círculo vicioso que implica el CC y la desertificación (CNULD, 2011).

En el caso específico de la liberación del CO_2 se ha establecido que este gas contaminante incide tanto en el CC como en la desertificación y que ambos procesos están íntimamente ligados debido a los efectos indirectos entre la degradación de los suelos y las precipitaciones. Los recursos hídricos están directamente ligados con el clima. De hecho, se prevé que la escorrentía media anual de los ríos y la disponibilidad de agua aumentará entre 10 y 40 % en las latitudes altas y en algunas zonas tropicales húmedas y disminuirán entre 10 y 30 % en algunas regiones secas en las latitudes medias y en los trópicos secos. Los suelos expuestos a la degradación como resultado de una ordenación inadecuada de las tierras podrían volverse estériles con el CC (OMM, s/f). Aproximadamente el 25 % de la superficie terrestre, equivalente a 3,600 millones de hectáreas, en aproximadamente 100 países, se encuentra desertificada o han sido afectadas por diversos procesos de desertificación (Oropeza-Orozco, 2004; FIDA, 2010). Colateralmente, en términos de la población en el año 2010 la cantidad de personas afectadas por la desertificación se estimó en casi mil millones, y como suele suceder el impacto de este proceso recayó especialmente en aquéllas pertenecientes a los países más pobres, por lo que también se incrementó el riesgo que provoca la hambruna y las múltiples epidemias (Osorio-Carbajal y Oyarce-Vásquez, 2010).

En otras palabras, ante el impacto sostenido de prácticas agrícolas vigentes e inadecuadas, de incendios forestales y de procesos de erosión posteriores o la falta de restitución del componente orgánico debido a la aridez o a los impactos de las sequías, el suelo inicia una pérdida progresiva de su capacidad biológica y de su capacidad productiva. Así pues, si el uso inadecuado del suelo y/o las condiciones de aridez climática se mantienen, el suelo perderá progresivamente su capacidad de resiliencia y cada vez resultará más difícil su vuelta a la situación de fertilidad y equilibrio inicial (Kennedy y Smith, 1995). El concepto de resiliencia se asocia a la tendencia de un sistema de retener su estructura organizacional y su productividad después de registrarse una perturbación y presenta dos dimensiones: a) resistencia a los eventos extremos y b) la capacidad de recuperación del sistema. En atención a estos elementos, se ha establecido que un agroecosistema será

resiliente si es capaz de seguir generando alimentos, a pesar del gran desafío de una severa sequía o una tormenta (Altieri y Nicholls, 2013).

Las consecuencias o efectos más frecuentes de la desertificación se reconocen en: la disminución de los rendimientos agrícolas, pecuarios y forestales; la disminución de la diversidad biológica y la alteración de los ecosistemas; reducción del secuestro de carbono; el empobrecimiento y endeudamiento nacional e internacional, desintegración familiar, migración rural y marginación de la población, y conflictos bélicos por la apropiación de los recursos (Orozco-Oropeza, 2004). A principios de la década de los 90's se estimó que aproximadamente 3.6 billones de hectáreas el 70 % de las tierras secas potencialmente productivas, estaban amenazadas por varias formas de degradación, debido principalmente a la erosión por viento y agua, y a la salinización de los terrenos agrícolas irrigados (Kennedy y Smith, 1995). Por ejemplo, en el caso específico de La Comarca Lagunera (25º 05' y 26º 54' N, 101º 40' y 104º 45' O), al norte de México, se ha establecido que >12% de las 150,000 ha de la superficie irrigable de esta región se encuentra afectada en diversos grados de salinidad o sodicidad (Serrato-Sánchez *et al*., 2002).

Otro aspecto importante relacionado con las funciones del suelo es su capacidad como factor amortiguador ante eventos climáticos extremos. Entre ellos se podrían incluir los impactos de sequías o los efectos de lluvias torrenciales. Un suelo degradado por distintos procesos es intrínsecamente menos estable y es más fácilmente desagregado y movilizado. Su capacidad de infiltración también puede verse afectada al incrementarse los valores relativos de escorrentía. En estas circunstancias se aumentan los efectos de las avenidas, los deslizamientos en masa, las avalanchas y las inundaciones. Al incrementar el volumen de suelo arrastrado, los escurrimientos incrementan su energía destructora, provocando daños en la producción agropecuaria, impactos en núcleos habitados e infraestructuras y daños en las vías de comunicación.

Mitigación y Adaptación

El CC es posiblemente la amenaza más grave y más trascendente que enfrenta la humanidad en el presente siglo. La evidencia científica disponible actualmente confirma la asociación entre la realización de un conjunto de actividades humanas tales como el consumo de energía fósil o el cambio de uso de suelo y las crecientes emisiones de GEI (CCG, 1997) ver figura 1, dentro de estos gases se considera cualquier gas que absorbe radiación en la atmósfera. En la atmósfera también existen partículas aerotransportadas, liquidas o sólidas, conocidas como aerosoles, que permanecen en ésta por varias horas, las mismas pueden ser de origen antropogénico o natural y pueden influir al clima directamente dispersando la radiación solar. Si por alguna razón la proporción de GEI y aerosoles se ve afectada, evidentemente la temperatura global se verá afectada también y ésta misma alterará el equilibrio energético del sistema climático, tal como ocurre desde la era industrial, pues se han emitido GEI que se han acumulado en la atmósfera, siendo los principales responsables del CC llamado CG.

Asimismo, existe evidencia contundente que muestra la estrecha asociación entre el aumento continuo de emisiones de GEI y los impactos climáticos, entre los cuales destacan; en particular un aumento paulatino de la temperatura, las modificaciones en los patrones de precipitación, los cambios en la intensidad o en la frecuencia de eventos climáticos extremos, la reducción de la criósfera y un alza del nivel de mar (COPROFAM-PROCISUR, 2011). En las próximas décadas, la humanidad tendrá que enfrentar el reto simultáneo de adaptarse a los impactos originados por las nuevas condiciones climáticas, al mismo tiempo, que se instrumenta una estrategia global de mitigación, que compromete a establecer, de igual manera, una estrategia de mitigación a nivel nacional, estatal, e incluso a nivel municipal.

Actualmente, las políticas de adaptación y mitigación de la lucha contra la desertificación se enmarcan en el desarrollo sustentable y tienen enfoques integrales. Entre los objetivos prioritarios se encuentra la recuperación de tecnologías tradicionales, pues desde tiempos remotos la adaptación a la sequía y a la desertificación ha sido un reto para los campesinos, por ello en muchos países latinoamericanos – Brasil, Perú, Chile, Bolivia, Ecuador, Argentina, Venezuela, México, Cuba, Guatemala, Nicaragua, entre otros, han estado rescatando los conocimientos y las tecnologías que se estaban perdiendo. Otras formas de adaptación se relacionan con la protección del suelo mediante el control de la erosión hídrica y eólica; la conservación del agua superficial y subterránea, reduciendo la demanda y mejorando el suministro; y la búsqueda de cultivos tolerantes a las sequías y al uso eficiente de la energía, particularmente la relacionada con la leña (Oropeza-Orozco, 2004).

Por otro lado, las tierras secas también pueden jugar un papel importante en la mitigación, por ejemplo, mediante la retención o secuestro del carbono en los suelos. Aunque las tierras secas tienen un potencial de retención del carbono relativamente bajo por unidad de área, su gran extensión hace que sea importante. Esto crea tanto riesgos como oportunidades para mitigar el CC. Mientras que la degradación del suelo emite gases de efecto invernadero, la restauración del suelo evita tales emisiones e incluso crea capacidades de almacenamiento para los gases que ya están en la atmósfera. El secuestro del carbono es el proceso por el que los sumideros de carbono, naturales y artificiales, eliminan CO_2 de la atmósfera, principalmente como MO de las plantas en el suelo. De hecho, en combinación con la retención en suelos no agrícolas, la capacidad de la Tierra para retener carbono y actuar como sumidero de gases de efecto invernadero es inconmensurable (CNULD, 2011).

De acuerdo con Recatalá-Boix (2011) el avance del conocimiento científico sobre los factores y procesos involucrados en la desertificación conllevará a un mayor y mejor acercamiento a este complejo problema ambiental, y por lo tanto, a una lucha más eficaz para su control y mitigación mediante las recomendaciones y acciones más adecuadas. En líneas generales, tales acciones implican:

- un uso adecuado de los recursos hídricos evitando un consumo excesivo e injustificado del agua
- una utilización racional de los recursos edáficos, intentando preservar las funciones del suelo
- un consumo equilibrado de bienes, que no suponga una sobreexplotación de los recursos naturales ni una generación excesiva de residuos que supere la capacidad de depuración del medio
- una planificación de las actividades humanas acorde con la vocación o potencialidad del territorio, que minimice los impactos ambientales
- una explotación de los recursos naturales mediante prácticas no agresivas contra el ambiente
- un mayor respeto por los valores ambientales y por las normativas, planes y programas diseñados para la protección y preservación de los recursos naturales
- un compromiso activo de participación, tanto de las administraciones públicas como de la sociedad, en estrategias y acciones para el mantenimiento y mejora del ambiente, y también para la recuperación de áreas degradadas.

El desarrollo y la agricultura sustentable

La Comisión Mundial de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, comúnmente conocida como la Comisión Brundtland, estableció en 1987, el concepto de desarrollo sustentable. El término sustentable se deriva del latín, *sustinere*, que significa mantener en existencia, implicando la permanencia o soporte a largo plazo (Rigby y Cáceres, 2001). Por lo tanto, su definición establece que "El desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades". Este concepto tiene dimensiones físicas, ecológicas, sociales, culturales y éticas (Rao *et al*., 2004), y toma como base el principio de equidad entre las generaciones, en el cual se estipula que las futuras generaciones no deben heredar la carga de problemas ambientales evitables. En otras palabras se pretende mejorar la calidad de vida de la humanidad, y al mismo tiempo, vivir dentro de la capacidad máxima admisible de los ecosistemas, pues se reconoce que el desarrollo es un proceso destinado a mejorar las condiciones de vida de la población y, al mismo tiempo reconocer que la capacidad del ambiente es limitada (Martens *et al*., 1998).

La lucha contra la desertificación y el impulso del desarrollo sustentable están estrechamente relacionados debido a la importancia social y económica de los recursos naturales y la agricultura. Como ha sido ampliamente reconocido, cuando la población vive en la pobreza la única opción que le queda es la de sobreexplotar la tierra, sin embargo es necesario tener presente que, como con otros muchos retos ambientales, es menos costoso detener el daño que resolver el problema que ocasiona. Evidentemente, evitar la degradación de los recursos naturales es fundamental siempre que sea posible, y cuando no lo sea, la recuperación y la rehabilitación son buenas opciones. La integración de una gestión de la tierra sostenible, la gestión de los riesgos de la sequía y las consideraciones sobre la biodiversidad en el diseño, la implementación y el control de la acción de adaptación a los niveles local, nacional, y regional, es fundamental en cualquier intento de detener el progreso de desertificación. La adaptación al CC necesitará encontrar una forma

concertada de tratar la reducción de pobreza y la vulnerabilidad a las condiciones cambiantes (CNULD, 2011).

A pesar de un incremento significativo en la producción de alimentos durante los últimos 50 años, uno de los más importantes desafíos que enfrenta la sociedad hoy en día es cómo alimentar, de manera equitativa, saludable y sostenible, a una población de casi 9 billones de personas que se espera habite la Tierra para la mitad del presente siglo (Beddington, 2010; Pretty *et al*., 2010). Para satisfacer la demanda esperada de alimentos sin incrementos significativos en los precios, se ha estimado que existe la necesidad de producir entre 70 y 100 % más de alimentos, a la luz de los crecientes impactos del CC, las preocupaciones sobre la seguridad energética, los cambios regionales en las dietas y la meta del desarrollo del Milenio de reducir a la mitad la pobreza y el hambre mundial para el año 2015. La meta para el sector agrícola no es simplemente maximizar la productividad, sino de optimizar a través de un panorama más complejo de producción, los resultados del desarrollo rural, la justicia ambiental, social y el consumo de alimentos. Sin embargo, existen desafíos significantes para desarrollar las políticas nacionales e internacionales que soporten la emergencia de una amplia gama de formas más sustentables de uso del suelo y de una producción agrícola eficiente (Pretty *et al*., 2010).

El impulso hacia la implementación de la agricultura sustentable cobra relevancia pues es considerablemente reconocido que, la producción de alimentos genera efectos sobre el ambiente o la economía que no se reflejan en el costo de los alimentos. Estos efectos incluyen la liberación de GEI (especialmente CH_4 y N_2O, los cuales son más nocivos que el CO_2 y para el cual la agricultura es una fuente importante), la contaminación ambiental debido al escurrimiento de los elementos nutritivos, la escasez de agua debido a la excesiva extracción, la degradación del suelo y la pérdida de la biodiversidad a través de la conversión de las tierras o al manejo inadecuado, y la perturbación de los ecosistemas debido a la excesiva cosecha de peces y otros alimentos acuáticos (Godfray *et al*., 2010).

Como se ha resaltado previamente, el CC es uno de los principales desafíos que enfrenta la humanidad, y éste tendrá impacto sobre la agricultura de muchas maneras, algunas serán positivas y otras negativas. El desafío ya significativo de producir más alimentos usando menos insumos es exacerbado por la necesidad de que la agricultura se adapte al CC, al tiempo que se reducen las emisiones de GEI originadas por la agricultura para mitigar el CC. La elasticidad al CC tendrá que ser una propiedad clave de los sistemas agrícolas sostenibles en las próximas décadas, especialmente en las regiones donde se proyecten severos cambios ecológicos debidos al CC (Pretty *et al*., 2010).

Para contrarrestar o hacer frente a los efectos negativos mencionados, hoy en día es ampliamente comprobado que los sistemas de producción de alimentos y la cadena alimentaria, en general, deben ser plenamente sostenibles. El principio de la sustentabilidad implica el uso de los recursos a tasas que no superan la capacidad de la Tierra para remplazarlos (Godfray *et al*., 2010). Por ejemplo, la optimización en el uso de los recursos y la selección de cultivos que requieren menos agua para riego podría ser una de las estrategias para superar el problema de la escasez de agua. La cría de ganado, especialmente

el mantenimiento búfalos ha sido altamente rentable incluso en las situaciones de la agricultura con escasez de agua. La crianza de cabras es otra de las actividades para incrementar los ingresos de los pequeños agricultores (Shalander *et al*., 2006).

La sustentabilidad agrícola se lleva a cabo en los sistemas de producción que hacen el mejor uso de los bienes y servicios de la naturaleza mientras no se generen daños al ambiente. Para lograr la sustentabilidad, es necesario promover la integración de procesos naturales tales como los ciclos de los elementos nutritivos, la fijación del N, la regeneración del suelo y el manejo de enemigos naturales de las plagas dentro de los procesos de producción de alimentos. Esto minimiza el uso de insumos no renovables que dañan el ambiente o perjudican la salud de los productores y los consumidores. Además hace un uso productivo del conocimiento y las habilidades de los productores, mejorando su propia seguridad, y busca hacer efectivo el uso de las capacidades colectivas de la gente para resolver problemas de manejo de recursos, tales como en las plagas, inundaciones, riegos, manejo forestal y de crédito (Pretty *et al*., 2010). Por otro lado, el uso reducido de insumos de origen sintético, por mayor uso del control biológico de plagas, de los abonos orgánicos, de las prácticas de conservación de suelo y agua, de rotaciones de cultivos, entre otras, son todas ellas prácticas relevantes e importantes del manejo sustentable de la agricultura sustentable (Rao *et al*., 2004).

Como ya se ha mencionado anteriormente, en los sistemas de producción sustentables, el suelo cumple una función clave como hábitat de microorganismos, sostén, manejo del agua, transformador de desechos naturales, almacén y fuente de elementos nutritivos para cuando la planta los necesita (Soto y Muñoz, 2002). Por lo tanto, la calidad física-química y biológica de los suelos debe ser mantenida, no sólo durante varios años sino indefinidamente. Para sostener la vida y la agricultura, la función ecológica del suelo no debe ser comprometida (Peredney y Williams, 2000). Para que el suelo pueda cumplir estas funciones es indispensable que posea un contenido adecuado de MO (tanto macro materia orgánica como humus) y una diversa actividad biológica (Soto y Muñoz, 2002; FAO, 2013).

Puesto que el mundo tiene que producir más alimentos, y a menos que la biodiversidad existente sea destruida, esto tendrá que ser realizado sin ampliar la superficie cultivada. Para lograr un mayor rendimiento de la misma superficie terrestre sin impactar significativamente al ambiente se requiere de una nueva forma de abordar la producción intensiva de alimentos sustentables (Godfray *et al*., 2010), es decir se requieren nuevas alternativas sustentables que seleccionen tecnologías apropiadas y las combinen dentro de los sistemas de manejo intensivo acopladas con la producción de cultivos. Cada aspecto involucrado en la producción sustentable ofrece oportunidades de investigación, educación, diálogo, y cambio (Honeyman, 1996). Por lo tanto, será cada vez más importante entender cómo los esfuerzos basados en la ciencia pueden responder a los retos reales y generar resultados útiles para la intensificación sustentable que se ajusta a una gran diversidad de circunstancias (Pretty *et al*., 2010).

En este sentido, el desarrollo de la investigación orientada a la sustentabilidad pretende contribuir a reformar las relaciones vigentes entre la ecología, la sociedad y la

economía como parte de un proceso de aprendizaje social. Esto requiere que el papel de la ciencia sea redefinido como parte de una forma social de producción de conocimiento. Esto implica integrar la ciencia y el denominado "conocimiento local". Las formas locales de conocimiento cubren una amplia gama de aspectos relacionados con la agricultura orgánica y biodinámica, la medicina complementaria, la solidaridad basada en la economía y en la circulación de sistemas. La ciencia y los científicos juegan un papel importante en estos movimientos (Rist y Rist, 2004).

Finalmente y de acuerdo con Pretty *et al.* (2010), quienes sugieren que lo que es necesario no es una ruta única sino muchas rutas para la intensificación sostenible basada en una amplia variedad de sistemas (desde la rotación de cultivos, la agroforestería, los sistemas mixtos de cultivo-ganadería y los sistemas de cultivos acuícolas para minimizar la labranza y la agricultura de precisión) que son apropiados para un gran número específico de contextos agroecológicos y socioeconómicos.

CONCLUSIONES

Ante los elementos descritos respecto al cambio climático es impostergable que cada uno de los habitantes de la Tierra deba contribuir a disminuir la liberación de GEI hacia la atmósfera terrestre.

La crisis ambiental que representa la desertificación requiere una reconsideración radical del conflicto sociedad-naturaleza, pues no existe modelo de desarrollo sostenible que parta de una disociación de los asuntos humanos de los asuntos ambientales, de una falta de armonía en las relaciones hombre-naturaleza. Partiendo de esta premisa básica, se podrá pasar de una evaluación y tratamiento sintomatológico de los procesos de desertificación, que intentan mitigar y solucionar problemas ya desencadenados, a políticas ambientales preventivas que integren, sistemáticamente, ambiente y desarrollo. Gestionar sosteniblemente naturaleza y ambiente, es gestionar el presente y el futuro de la humanidad.

Por otro lado, apoyar una agricultura basada en la ciencia es claramente fundamental, y es la manera de permitir a los agricultores que se aprovechen de los desarrollos más actuales y las buenas prácticas que han funcionado en otros lugares. Para lograr una agricultura sustentable es necesario emplear tecnologías adecuadas y compatibles con los nichos ecológicos donde se desarrolla esta actividad, con el propósito de no alterar pero a la vez de mantener los factores naturales de la producción. En este sentido cobra relevancia la necesidad de conservar, mantener y preservar la calidad física-química y biológica del suelo, por ser la en gran parte el recurso natural que da soporte a las actividades antropogénicas y de donde se obtiene, en gran medida, la producción agropecuaria que demanda la población mundial.

LITERATURA CITADA

Alchapar, NL, Correa, EN, Cantón, MA. 2012. Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana. Ambiente Construído, Porto Alegre. 12(3): 107-123.

Altieri MA, Nicholls CI. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. Agroecología 8(1): 7-20

Ancona-Méndez L, Pech-Martínez V, Flores-Novelo, A. 2006. Perfil del mercado de la vermicomposta como abono para jardín en la Ciudad de Mérida, Yucatán, México. Rev. Mex. Agronegocios. 10(19): 1-15.

Amestoy-Alonso J. 2001. Aspectos de la degradación del medio ambiente: su influencia en el clima. Papeles de Geografía. 34: 17-49.

Beddington J. 2010. Food security: contributions from science to a new and greener revolution. Phil. Trans. R. Soc. B, 365: 61-71.

Brown Jr. GE, Foster AL, Ostergren JD. 1999. Mineral surfaces and bioavailability of heavy metals: A molecular-scale perspective. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 96:3388–339.

D'Antoni HL. 2005. Astrobiología, el origen de la vida y el cambio global. Acta Bioquím. Clín. Latinoam. 39(3): 381 – 394.

Caballero M, Lozano S, Ortega B. 2007. Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la Tierra. Revista Digital Universitaria. 8(10): 1-12.

Cambio Climático Global (CCG). 1997. Calentamiento Global - Cambios Climáticos - Efecto Invernadero. Informando sobre el cambio desde 1997. Disponible en: http://www.cambioclimaticoglobal.com/. Fecha de consulta: 27 de diciembre de 2011.

Carbajal-Tejada R. 2005. Editorial. Revista Bien Común. 131, 9.

Cárdenas G, Cárdenas J. 2009. Cambio climático y la agricultura. Recursos Naturales y Gestión Ambiental. IICA. San José Costa Rica. 7 p. Disponible en: http://www.iica.int/Esp/Programas/RecursosNaturales/Documentos%20Recursos%20Naturales/CAMBIO%20CLIM%C3%81TICO%20Y%20LA%20AGRICULTURA.pdf. Fecha de recuperación: 30 de octubre de 2014.

Cassman KG. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. PNAS, 96(11): 5952-5959.

Cloudsley-Thompson JL. 1979. Man and the biology of arid zones. Ed. Blume. España. 255 p.

Confederación de Organizaciones de Productores Familiares del MERCOSUR ampliado - Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (COPROFAM-PROCISUR). 2011. Agricultura familiar y cambio climático en el MERCOSUR ampliado. Disponible en: http://www.iica.int/Esp/regiones/sur/argentina/Noticias%20CambioClimatico/PROCISUR-COPROFAM.pdf. Fecha de recuperación: 26 de junio de 2014.

Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD). 2011. Desertificación: una síntesis visual. 48 p. Yukie Hori, Christina Stuhlberger y Otto Simonett Eds. PNUMa/ GRiD-arendal/Zoi environment Network (Ed.). Disponible en: http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/Desertification-SP.pdf. Fecha de recuperación: 19 de junio de 2014.

Dumanski J, Pieri C. 2000. Land quality indicators: research plan. Agric. Ecosyst. Environ. 81, 93–102.

Estrada-Porrúa M. 2001. Cambio climático global: causas y consecuencias. Revista de Información y Análisis. (16): 7-17. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/contenidos/articulos/ambientales/climatico.pdf. Fecha de recuperación: 21 de mayo de 2014.

Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA). 2010. Desertificación. 4 p. Disponible en: http://www.ifad.org/pub/factsheet/desert/s.pdf. Fecha de recuperación: 21 de mayo de 2014.

Food and Agriculture Organization (FAO). 2013. Captación y almacenamiento de agua de lluvia: Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 276 p. Disponible en: http://www10.iadb.org/intal/intalcdi/PE/2013/11790.pdf. Fecha de recuperación: 21 de octubre de 2014.

Generalitat de Catalunya (GC). 2008. Plan marco de mitigación del cambio climático en Catalunya 2008 – 2012. Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya.

Godfray HCJ, Beddington JR, Crute IR, Haddad L, Lawrence D, Muir JF, et al. 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. Science, 327(5967): 812-818.

Honeyman MS. 1996. Sustainability issues of U.S. swine production. J. Anim Sci., 74(6): 1410-1417.

Kennedy AC, Smith KL. 1995. Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. Plant and Soil. 170:75-86.

López-Falcón R. 2000. Degradación del suelo causas, procesos: evaluación e investigación. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT). Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 280 p. ISBN: 980-6483-10-3. Disponible en: http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf. Fecha de recuperación: 27 de mayo de 2014

Luege-Tamargo JL. 2005. La problemática ambiental de México: avances y desafíos. Revista Bien Común. 131: 10-13.

Mañaga-Rueda O. V. 2004. El cambio climático global: comprender el problema. In: Cambio climático: una visión desde México. (eds): Julia Martínez y Adrián Fernández Bremauntz. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) – Instituto Nacional de Ecología (INE). 17 – 27 pp. México D. F. Disponible en: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/download/437.pdf>. Fecha de recuperación: 23 de diciembre de 2011.

Martens WJM, Slooff R, Jackson EK. 1998. El cambio climático, la salud humana y el desarrollo sostenible. Rev. Panam. Salud Pública. 42(2): 100 – 105

Organización Meteorológica Mundial (OMM). s/f. Cambio climático y desertificación. 4 p. Disponible en: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/publications/documents/WMO_UNCCD_web_S.pdf. Fecha de recuperación: 21 de mayo de 2014.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). 27 p. Disponible en: http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf. Fecha de recuperación: 30 de noviembre de 2011.

Oropeza-Orozco O. 2004. Evaluación de la vulnerabilidad a la desertificación. *In*: Cambio Climático: una Visión desde México. J. Martínez, A. Fernández-Bremauntz y P. Osnaya (eds). 303 – 313 pp. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT – INE). México.

Osorio-Carbajal MI, Oyarce-Vásquez, N. 2010. Análisis socioeconómico de la desertificación en la Región de Coquimbo. Revista Interamericana de Ambiente y Turismo (RIAT). 6(1): 45-52

Peredney CL, Williams PL. 2000. Utility of Caenorhabditis elegans for Assessing Heavy Metal Contamination in Artificial Soil. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 39: 113-118.

Pretty J, Sutherland WJ, Ashby J, Auburn J, Baulcombe D, Bell M, et al. 2010. The top 100 questions of importance to the future of global agriculture. International J. Agricultural Sustainability, 8(4): 219-236.

Rao NH, Katyal JC, Reddy MN. 2004. Embedding the sustainability perspective into agricultural research: Implications for research management. Outlook on Agriculture, 33(3): 167-176.

Recatalá-Boix L. 2011. La desertificación: marco conceptual. Factores, procesos y efectos. *In*: González, J.A. y Santos, I. (eds.), Cuatro grandes retos, una solución global: Biodiversidad, cambio climático, desertificación y

lucha contra la pobreza. Pp. 150-173. Fundación IPADE y Agencia Española de Cooperación para el Desarrollo – AECID, Madrid.

Rigby D, Cáceres D. 2001. Organic farming and the sustainability of agricultural systems. Agricultural Syst., 68: 21-40.

Rist S. Rist L. 2004. Towards a post - materialist understanding of science – lessons learnt form the interface of biodynamic agriculture and research. Paper for the Compas panel in the conference: Bridging Scales and Epistemologies: Linking Local Knowledge with Global Science in Multi-Scale Assessments, Alexandria, pp. 12. Disponible en: http://www.unep.org/maweb/documents/bridging/papers/rist.stephan.2.pdf. Fecha de recuperación: 15 de mayo de 2012.

Rozanov BG. 1994. Constraints in managing soils for sustainable land use in drylands. pp. 145-153. *In*: Chapter 10 of Soil Resilience and Sustainable Land Use by D. J. Greenland and I. Szabolcs, CAB INTERNATIONAL.

Rubio JL. 2007. Desertificación y cambio climático. Ambienta. 26-31. Disponible en: http://www.mma.es/secciones/biblioteca_publicacion/publicaciones/revista_ambienta/n70/pdf/26desertificacionycambio702007.pdf. Fecha de recuperación: 15 de marzo de 2008.

Serrato-Sánchez R, Ortíz-Arellano A, Dimas-López J, Berúmen-Padilla S. 2002. Aplicación de lavado y estiércol para recuperar suelos salinos en La Comarca Lagunera, México. Terra 20:329-336.

Shalander K, Jain DK, Singh R. 2006. Increasing Income and Employment through Sustainable Farming Systems in Water Scarce Region of Uttar Pradesh. Agricultural Economics Research Review, 19: 145-157.

Soto G, Muñoz C. 2002. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)(65): 123-129.

Tabuenca D. 1999. El suelo matriz de la vida. MODULO 1. Talleres de Biocultura. Área Educativa. "Fundación Shoam-Hue". 6 p. Disponible en: http://www2.medioambiente.gov.ar/documentos/educacion/actividades/encuentro_ctera/comodoro_29.PDF. Fecha de recuperación 3 de junio de 2008.

Toledo A. 2006. Agua, hombre y paisaje. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Instituto Nacional de Ecología (INE) y Centro de Investigaciones y Estudios Sociales en Antropología Social (CIESAS). 261 p. México, D.F. Disponible en: http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/download/488.pdf. Fecha de recuperación: 1 de diciembre de 2011.

Valadares-Veras LR, Povinelli J. 2004. A vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo urbano. Eng. Sanit. Ambient. 9(3): 218-224.

Zaror Z. C. 2007. Cambio climático y calentamiento global. Ciencia…Ahora. 10(20): 21 – 34. Disponible en: http://www.ciencia-ahora.cl/Revista20/03CambioClimatico.pdf. Fecha de recuperación: 1 de diciembre de 2011.

INVENTARIO DE VEGETACIÓN Y LA SUSTENTABILIDAD. CASO ÁREA NATURAL PROTEGIDA "SIERRA DE LOBOS"

Luis M. Valenzuela-Núñez[1], Julio César Ríos-Saucedo[2], Verónica Ávila-Rodríguez[1], Cándido Márquez-Hernández[1*]

[1] Facultad de Ciencias Biológicas Universidad Juárez del Estado de Durango, Av. Universidad S/N, Gómez Palacio, Dgo. C. P. 35100. Tels. (871) 7152077

[2] INIFAP Campo Experimental Valle del Guadiana. Km. 4.5 Carr. Durango-Mezquital. Durango, Dgo.

*canomh2@yahoo.com.mx

RESUMEN

La sustentabilidad tiene tres grandes esferas: el medio ambiente, la cuestión social y los aspectos económicos; es decir, sustentabilidad se puede concebir como la condición que mantiene la calidad de vida, asegura un acceso continuo a los recursos naturales y evita la persistencia de daños ambientales. Para mitigar los daños ambientales o bien, aprovechar sustentablemente los recursos naturales, es indispensable primero, conocer la biodiversidad del medio ambiente y/o ecosistemas, siendo una parte fundamental, los estudios de vegetación. La forma de lograr lo anterior es mediante la elaboración de listados o inventarios, los cuales permiten conocer a detalle las características básicas del ecosistema o del ambiente. Es innegable que potencialmente los recursos naturales de un ecosistema deben conocerse para posteriormente, y en casos específicos poder utilizarlos sustentablemente, de acuerdo a los lineamientos de las propias áreas naturales protegidas. El trabajo se llevó a cabo con el objetivo de presentar un inventario de la superficie ocupada actualmente por la vegetación en la vertiente sur del Área Natural Protegida "Sierra de Lobos" en Guanajuato haciendo una descripción de las características fisonómicas y realizando un análisis de la participación de la vegetación en la producción de escurrimientos y en la protección de los suelos mediante el análisis de la cobertura del suelo a nivel de la región de estudio en varias etapas: interpretación cartográfica y digital de la cobertura del suelo. Se encontraron 11 tipos de vegetación en la vertiente sur del Área Natural Protegida Sierra de Lobos de acuerdo a los criterios de clasificación del INEGI en las cartas de Uso de Suelo y Vegetación que se simplificaron a cuatro grandes categorías: bosque, chaparral, matorral y pastizal. La ocupación del suelo por la vegetación natural en el área de estudio es de 23,337.664 ha, el resto son áreas dedicadas a las actividades agrícolas (3,336.307 ha) y las superficies sin vegetación aparente (332.796 ha). El inventario obtenido permitirá realizar estudios posteriores de diversidad, manejo, ordenamiento, etc. siempre de la mano con la visión de sustentabilidad.

***Palabras clave*:** Biodiversidad, Cambio de uso de suelo, Cartografía, Inventario florístico, Sostenibilidad, Recursos naturales.

INTRODUCCIÓN

Sustentabilidad y Biodiversidad

Concibiendo a la sustentabilidad como la condición que mantiene la calidad de vida, asegura un acceso continuo a los recursos naturales y evita la persistencia de daños ambientales, entonces, la vegetación es indispensable de la sustentabilidad, entendiendo a ésta como parte de una de las tres grandes esferas de la sustentabilidad, el medio ambiente, además de la cuestión social y económica (HSMO, 1990; Galindo y Victoria, 2012)

La biodiversidad se considera como la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la variación dentro de cada especie, entre las especies y los ecosistemas (IAvH, 2000).

El conocimiento de la biodiversidad requiere considerar los diferentes jerárquicos de organización de la vida tales como: los genes, las especies, las poblaciones, las comunidades y los ecosistemas, además de los atributos de composición, estructura y funcionalidad. El estudio de la biodiversidad puede abordarse a partir de las tres grandes preguntas en cada una de los niveles (Noss, 1990):

- ¿Qué elementos componen la biodiversidad?
- ¿Cómo están organizados?
- ¿Cómo interactúan?

En el estudio de la biodiversidad es importante reconocer que elementos o entidades la componen; la realización de inventarios facilita describir y conocer la estructura y función de los diferentes niveles jerárquicos, para su aplicación en el uso, manejo y conservación de los recursos. Obtener información elemental confiable para la toma de decisiones, sustentadas científicamente, es una necesidad urgente que los investigadores, las instituciones y las naciones deben enfatizar. Por lo anterior, es indispensable el desarrollo de estrategias multidisciplinarias que permitan obtener información a corto y mediano plazo, para conocer la composición y los patrones de la distribución de la biodiversidad (Haila y Margules, 1996).

Es innegable que potencialmente los recursos naturales de un ecosistema deben conocerse para posteriormente, y en casos específicos poder utilizarlos sustentablemente, de acuerdo a los lineamientos de las propias áreas naturales protegidas; y más aún cuando, en dichas áreas exista agricultura y aprovechamiento de bosques (Bohlen y Gar, 2010). Es decir, el hecho de que se trate de un área natural protegida, no exime de tener un manejo sustentable, sobre todo considerando que el efecto antropogénico, en forma práctica,

ocasionalmente dista mucho de respetar el manejo óptimo de la ANP. Actualmente, González (2011) menciona el término de reserva de la biosfera en ambiente urbano en donde menciona situaciones antropogénicas importantes de considerar en manejos de biosferas.

Inventarios

Es la forma más directa de reconocer la biodiversidad de un lugar (COTECOCA, 1979) pero en su definición más compleja, el inventario se considera como el reconocimiento, ordenamiento, catalogación, cuantificación y mapeo de entidades naturales como genes, individuos, especies, poblaciones, comunidades, ecosistemas o paisajes (Noss, 1996; UNEP, 1995)

Para la adecuada planeación y diseño de un inventario debe tenerse en cuenta (Álvarez *et al.*, 2006):

- La definición precisa de los objetivos, que a su vez determina el nivel de organización, la escala e intensidad del muestreo
- La selección de los grupos biológicos, grupos taxonómicos, apropiados y la implementación de los métodos de muestreo adecuado para cada uno
- La generación, captura y organización de los datos, de forma que se facilite su uso y que estén acordes al tipo de análisis e información que se desea obtener

Los datos provenientes de los inventarios pueden ser procesados, contextualizados y analizados para obtener una caracterización de la biodiversidad; pueden tener aplicaciones en sistemática, ecología, biogeografía, y manejo de ecosistemas entre otros. Los inventarios aportan información sobre el estado de la conservación de la biodiversidad, la detección y evaluación de cambios biológicos y ecológicos y la estimación de la proporción de la biodiversidad que falta por inventariar (Álvarez *et al.*, 2006).

Estudios de vegetación

La presencia de la vegetación y sus diferentes formas son el resultado de las condiciones climáticas, edáficas y la topografía (Deleague, 1993; Drury y Nisbet, 1973; Huston y Smith, 1987). El desarrollo de la vegetación, su incremento en biomasa y su distribución espacial se ven influenciados por el clima, el suelo y la topografía en diferentes magnitudes, siendo que las condiciones topográficas como la exposición, la pendiente, profundidad edáfica y el contenido de humedad entre muchas otras, afectan el tipo de vegetación y su densidad (Krebs, 1985; Martinez, 1985; Diamond, 1979).

La protección del suelo depende de la cobertura vegetal y los parámetros estructurales (características de altura, recubrimiento sobre el suelo y densidad) y esto

constituye una gran ayuda en el papel que juega la vegetación sobre el comportamiento hídrico (Tarin, 1993)

La vegetación es una variable muy importante en el comportamiento hídrico de los ecosistemas, en particular con los escurrimientos superficiales y los procesos erosivos que a su vez tienen una gran influencia sobre la disponibilidad del recurso agua y la conservación de suelos. La producción de escurrimientos es un resultado del efecto combinado del recubrimiento por la vegetación y los factores del clima (Tarin, 1993). La redistribución del escurrimiento es afectada por factores fisiográficos como principalmente el tamaño de la cuenca, la forma, la pendiente, la densidad del drenaje y la topografía (Kirkby y Morgan, 1984)

Aunque en la actualidad se han realizado estudios de vegetación completos a nivel regional en Durango (Marroquin *et al*., 1964; COTECOCA, 1979) y en Coahuila (SARH, 1985), la descripción que realizan sobre las funciones de la vegetación sobre el origen y producción de escurrimientos y la erosión son en realidad muy breves. Por su parte, existe un estudio detallado por subcuencas para el caso de la Región Hidrológica 36 y el papel de la vegetación natural sobre los procesos de erosión y escurrimientos (Tarin, 1993). Además, un estudio hidrológico en Chihuahua, presenta una relación de la participación de la cubierta vegetal sobre los escurrimientos en base a las características de la vegetación (INEGI, 1990).

Los estudios sobre el tema de erosión en México presentan problemas de metodología que dan como resultado que los datos obtenidos sean contradictorios en muchos casos y que además no permitan realizar comparaciones entre las distintas localidades (Maas y García, 1990). Estos datos muchas veces son obtenidos a partir de estimaciones cualitativas que hacen más difícil su estudio y su evaluación a través del tiempo.

El trabajo se realizó con el objetivo de presentar un inventario de la superficie ocupada por la vegetación en la actualidad en la vertiente sur del Área Natural Protegida "Sierra de Lobos" en Guanajuato haciendo una descripción de las características fisonómicas y realizando un análisis de la participación de la vegetación en la producción de escurrimientos y en la protección de los suelos.

El interés en la realización del presente estudio en el Área Natural Protegida "Sierra de Lobos" reside en la especial importancia por su ubicación próxima a la Ciudad de León, que por su desarrollo económico y concentración poblacional, se considera como la más importante del estado de Guanajuato.

Históricamente, la industria del cuero y el calzado ha sido la principal actividad industrial del municipio, aunque en los últimos años se ha incrementado de manera significativa el sector de bienes y servicios. Sin embargo, tanto las actividades que propician el desarrollo económico de la región como la necesidad de satisfacer las necesidades de cada vez un mayor número de habitantes, traen consigo un impacto negativo sobre los recursos naturales y el ambiente. Aunque este impacto se manifiesta de manera evidente a nivel local

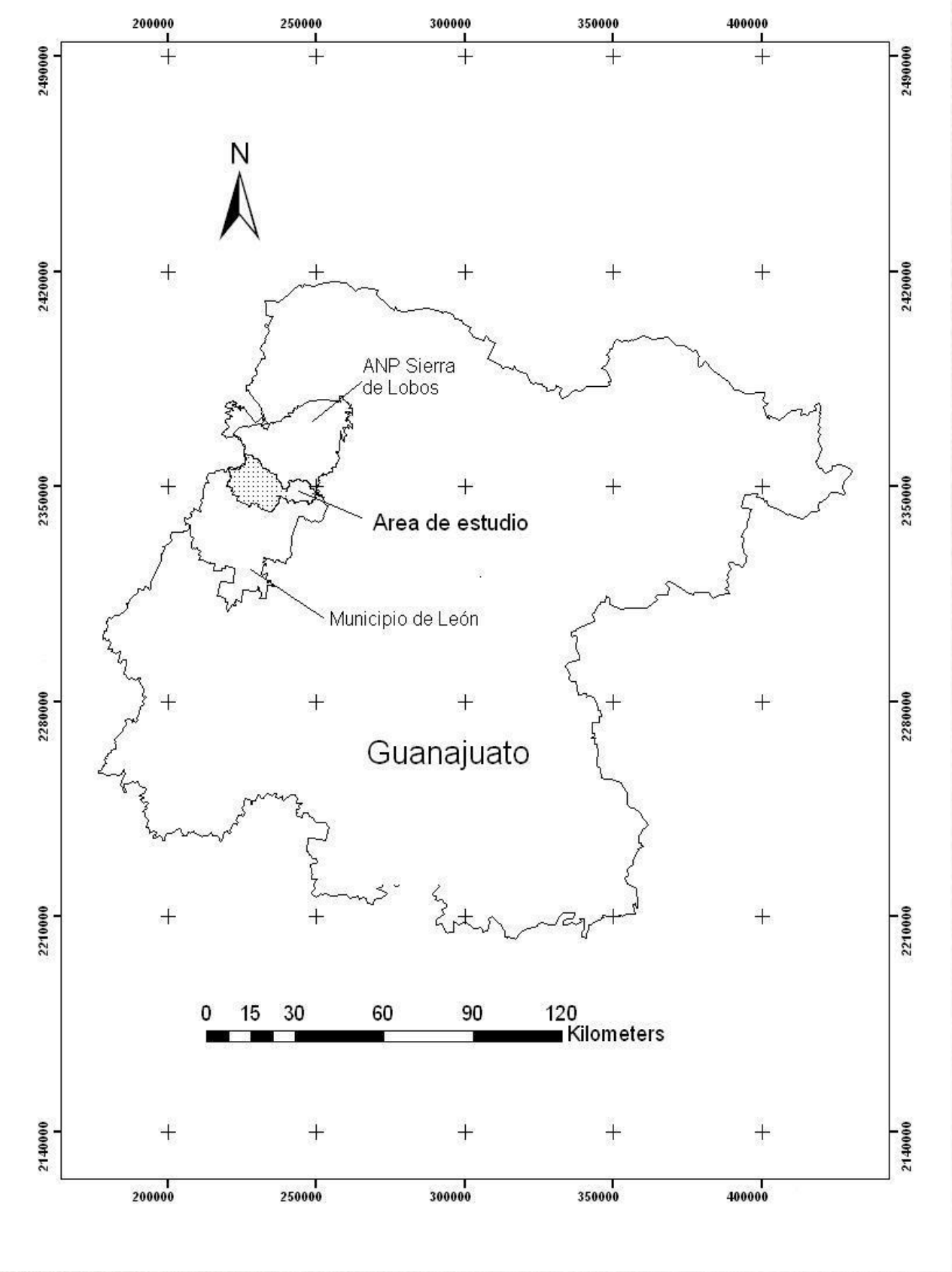
a través del cambio de uso del suelo, deforestación, contaminación, etc., todas estas actividades también tienen un efecto negativo a nivel regional. La cuenca Lerma Chapala, dentro de la cual se localiza la ciudad de León, sufre un claro estado de deterioro de sus recursos naturales (agua, suelo, vegetación, biodiversidad).

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El Área Natural Protegida "Sierra de Lobos" se localiza en la parte Noroeste del Estado de Guanajuato; hacia esa parte colinda con el estado de Jalisco, al Sur con el municipio de León, al Noreste y al Este colinda con el municipio de San Felipe y al Norte con el municipio de Ocampo (Figura 1). Por su localización geográfica, se encuentra entre los paralelos 21°08'51.94" y 21°30'16.50" de latitud norte y los meridianos 101°43'17.40" y 101°17'20.59" de longitud oeste. La fisiografía de esta zona de estudio forma parte de una zona mayor denominada Mesa del Centro, hacia el sur abarca una pequeña parte del Eje Neovolcánico. La zona de la Sierra de Lobos en su mayoría, está representada por sierras y lomerío.

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.



Los climas predominantes en esta zona de acuerdo a la clasificación de Köppen son C $(w_2)(w)$ el más húmedo con un cociente $p/t > 55.0$ con un porcentaje de lluvia invernal < 5 mm; $C(w_1)$ intermedio en cuanto a humedad con un cociente p/t entre 43.2 y 55.0; $C(w_0)$ el más seco con un cociente $p/t < 43.2$. La precipitación pluvial de la zona de estudio es de 600 a 800 mm en promedio por año. Sólo en unas pequeñas partes hacia el norte y el oriente de esta zona es menor a 600 mm al año. La dirección de los vientos para la zona de estudio se presentan de acuerdo a las estaciones del año de la siguiente manera: en primavera, verano e invierno provienen del sur y en otoño provienen del oeste, por los que se considera que los vientos dominantes provienen del Sur y los máximos del oeste. La vertiente sur de la Sierra de Lobos se encuentra localizada en la parte alta de cinco microcuencas hidrológicas que a su vez se encuentran localizadas dentro de la subcuencas Lerma-Salamanca y Laja: El Palote, Las Amapolas, La Patiña, Pénjamo Irapuato Silao y Hernández Álvarez.

Procesamiento de la información

Para el análisis de la cobertura del suelo a nivel de la región de estudio se realizaron varias etapas:

Interpretación cartográfica y digital de la cobertura del suelo.

- Formulación de una leyenda adecuada de cobertura del terreno para la escala del trabajo, diseño de las bases de datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG), selección de la referenciación espacial y proyección cartográfica común para los datos.
- Interpretación de la cobertura del terreno sobre fotografías aéreas digitales tomadas en el año de 2007 con sensores especiales similares a los que emplean los satélites. Estos datos se interpretaron en forma visual, utilizando por un lado fotointerpretación monoscópica (tono, color, patrón, textura, tamaño, forma, emplazamiento) y por otro, verdad de campo adquirida en reconocimientos y verificación en el terreno, así como la bibliografía disponible. Esta interpretación dio como resultado los mapas de cobertura de suelo reciente a escala 1:50 000. Los mapas fueron digitalizados, etiquetados y sometidos a un proceso de verificación del etiquetamiento y corrección de los polígonos con la ayuda del programa ArcMap 9.1.
- Para la determinación de la cobertura de la vegetación se llevó a cabo con la ayuda del programa ArcMap 9.1. Para esto, se utilizaron las fotografías aéreas tomadas en 2007, las cuales permitieron un campo visual de 1000 m^2 de la superficie del suelo, de esta manera se estimó la cubierta vegetal en las formaciones más representativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron 11 tipos de vegetación en la vertiente sur del Área Natural Protegida Sierra de Lobos de acuerdo a los criterios de clasificación del INEGI en las cartas de Uso de Suelo y Vegetación que se enlistan a continuación:

- Bosque natural de encino.
- Bosque natural de enebro pino
- Bosque natural de pino
- Chaparral
- Matorral espinoso
- Matorral inerme
- Matorral subinerme
- Nopalera.
- Pastizal inducido
- Pastizal natural
- Vegetación secundaria matorral espinoso.

No existe un sistema de clasificación de la vegetación que sea de aceptación general y que la combinación de diferentes criterios de clasificación es consecuencia directa de la naturaleza de la misma vegetación, cuya variación es compleja y no se limita a una o dos dimensiones. Considerando que el mayor interés en el presente estudio se enfoca a los atributos de cobertura vegetacional, por similitudes en su fisonomía y/o en su distribución general, estos 11 tipos de vegetación fueron reagrupados en cuatro grandes formaciones (Rzedowski, 1978)

La ocupación del suelo por la vegetación natural en el área de estudio es de 23 337.664 ha, el resto son áreas dedicadas a las actividades agrícolas (3 336.307 ha) y las superficies sin vegetación aparente (332.796 ha) (Cuadro 1).

Bosque

El bosque constituyó un 18.74% del área de estudio. Esta comunidad vegetal, además de constituir el principal recurso forestal, presenta el recubrimiento aéreo más importante en cuanto a densidad y permanencia. Las estimaciones de cubierta son muy variables, con un rango que varía de 10 a 80%, pues el crecimiento y densidad de este tipo de vegetación están fuertemente influidos por varios factores como son la precipitación, la exposición, la pendiente y la profundidad del suelo, entre otros. Las especies que definen esta comunidad vegetal en la zona están comprendidas en su mayoría por latifoliadas del género *Quercus*, aunque se presenta un área pequeña cubierta con pináceas, de igual manera en el estrato arbustivo se pueden encontrar individuos de los géneros *Arbutus* y *Arctostaphyllos*, principalmente.

Cuadro 1. Superficie ocupada por la vegetación natural en la vertiente sur del ANP "Sierra de Lobos", Guanajuato.

Tipo de vegetación	Superficie	
	ha	%
Bosque	5 058.14	18.74
Chaparral	121.19	0.44
Matorral	14 579.16	54.0
Pastizal	3 561.10	13.19
Agricultura	3 336.30	12.36
Sin vegetación	332.80	1.23

El bosque tiene presencia en todas las microcuencas, principalmente en la parte alta en las zonas montañosas. Particularmente en lo que al bosque de encino concierne, en el área de estudio, puede verse que grandes extensiones de terrenos antes cubiertos por este tipo de vegetación se emplean para la agricultura, que en general es de temporal. Los cultivos más frecuentes son frutales caducifolios sin dejar de lado a los cultivos tradicionales. Asimismo grandes extensiones de bosque se aprovechan con fines ganaderos y con el objeto de estimular la producción de brotes tiernos de las herbáceas y de los pastos y arbustos mediante la acción del fuego. Estos incendios aplicados sin supervisión técnica se realizan en el período más seco y caluroso del año, época en que más fácilmente se propagan y en que más falta hace el forraje para el ganado. Como en otros tipos de vegetación, también en los encinares el fuego provoca cambios en la composición y en la estructura de las comunidades, cambios que varían en función de la periodicidad y la intensidad de los incendios. De esta manera muchos árboles llegan a morir por completo, ya sea por no resistir los incendios, o bien porque se reducen los árboles dominantes y a la larga el bosque no puede perpetuarse. Es bajo este mecanismo que el bosque se convierte en bosque secundario, matorral o pastizal, que a menudo resultan más útiles para aprovechamientos ganaderos que el bosque mismo y por consiguiente los habitantes de la zona procuran no crear las condiciones propicias para su restablecimiento. A consecuencia de lo anterior, los terrenos que son degradados de esta manera y constantemente sometidos a pastoreo intenso pierden la capacidad de absorber y almacenar eficientemente el agua de lluvia; el escurrimiento predomina sobre la infiltración y comienza a desencadenarse una rápida erosión del suelo y hasta de la misma roca madre, sobre todo en los casos en que ésta última es deleznable o poco consolidada.

Como puede verse, los terrenos ocupados por el bosque de encino no son aptos para sostener una agricultura permanente, ya que los terrenos se abandonan después de dejar de ser productivos y el suelo es erosionable fácilmente. Estos procesos no son exclusivos del bosque de encino, pero es esta comunidad vegetal con mayor frecuencia que otras, la que ocupa en el ANP "Sierra de Lobos" situaciones que podrían definirse como estratégicas dentro de muchas cuencas hidrológicas, de tal manera que la erosión que afecta al sustrato de los bosques produce a menudo efectos no sólo en la región donde se produce, sino

también a distancia, donde provoca desecación de manantiales, contaminación del agua, inundaciones, azolve de presas y tolvaneras, entre otros.

Es por eso que se debe buscar la conservación de los bosques de encino en el área de estudio, ya que su presencia es necesaria para la preservación del equilibrio ecológico de las cuencas y microcuencas existentes. Para lograr esta meta, deben proponerse líneas de investigación tendientes a encontrar más y mejores posibilidades del manejo del bosque de encino, de modo que los propietarios de los terrenos puedan explotar estos bosques con provecho y por lo tanto, tengan interés en mantenerlos y conservarlos.

Chaparral

El chaparral se distribuyó en un 0.44 % de la superficie de la vertiente sur del ANP "Sierra de Lobos". Constituye un tipo de vegetación secundaria del bosque de latifoliadas, con el que comparte afinidades climáticas y florísticas, sin embargo tiene poco interés forestal económico por su hábito de crecimiento y su poco tamaño. En la zona presenta una extensión reducida en el límite actitudinal del matorral en la parte más alta de la sierra. Esta formación vegetal ocupa el mismo ambiente físico del bosque, aunque tiene afinidad por condiciones más secas, a las cuales muestra notables adaptaciones.

El dosel que presenta esta comunidad es abierto comúnmente, con individuos espaciados entre sí, pero llega a tener un estrato herbáceo bien definido, no obstante el fuerte recubrimiento de piedras y los afloramientos de roca. Los grados de recubrimiento más comunes son moderados, de 20 a 40 %, sobre pendientes suaves a fuertes, esto es, en cimas, laderas y valles de zonas entre lomas. En ocasiones se observan cubiertas de sólo un 10 %, sobre todo en laderas. La altura del dosel no sobrepasa los 4 m.

Matorral

El matorral constituyó el 54.01 % de la superficie total del ANP "Sierra de Lobos. Se presenta en piedemonte, laderas suaves y terrenos planos en la base de las montañas y algunas elevaciones aisladas, con frecuencia formando áreas de transición entre el pastizal y las áreas cubiertas con bosque. Muchos de sus componentes herbáceos son los mismos que se encuentran en el matorral y el pastizal, las comunidades con las que muestra mayor similitud de preferencias ecológicas. Algunas asociaciones de pastizales con individuos arbóreos aislados no se encuentran mezclados, sino que constituyen manchones intercalados con dominancia de uno u otro, dependiendo de la topografía y tipo de suelo.

En las franjas de contacto con el pastizal con arbustos son comunes los individuos de los géneros *Acacia* y *Prosopis*, abundan también las especies subfrutescentes y herbáceas. Los matorrales altos de *Acacia* y *Prosopis*, así como las nopaleras son parte de este tipo de vegetación. En general se presenta una cubierta herbácea con pastizal y las proporciones entre uno u otro son variables, por lo que no existe una clara línea divisoria entre matorral y

pastizal. En las áreas donde el suelo es poco profundo o rocoso se incrementa la presencia de arbustos.

La población de arbustos puede ser más densa sobre declives abruptos y cauces pedregosos y la cubierta de pastizal destaca en los declives suaves y en mesetas. Muchas de las áreas en las que están presentes las cactáceas (*Opuntia*, *Myrtillocactus*) se localizan sobre mantos basálticos y en buena parte el carácter xerófito está determinado por el sustrato. A veces la cubierta de pasto es casi nula, ya sea por razones naturales, como por ejemplo cunado el sustrato de una capa casi continua de basalto no permite el establecimiento de vegetación, excepto en las grietas, o debido al sobrepastoreo.

El matorral presente en el ANP "Sierra de Lobos" se compone de comunidades arbustivas densas, caducifolias, que prosperan sobre suelos someros y pedregosos de laderas de cerros y con frecuencia las especies dominantes se reproducen de manera vegetativa por sus partes subterráneas formando clones que a veces abarcan superficies de varios metros de diámetro. Esta propiedad les confiere resistencia a los incendios que frecuentemente se propagan en éstas comunidades y a la larga parecen favorecer su existencia en muchos sitios, por lo general se desarrolla en áreas que son climáticamente intermedias entre los matorrales propios de clima semiárido y los bosques templados (Rodriguez, 2009; Flores, 2009)

Los matorrales encontrados en el área son por lo general de origen secundario y variables en cuanto a altura, pudiendo considerarse algunos matorrales altos o bosques bajos. A veces la especie dominante constituye la única planta leñosa de la comunidad (*Quercus* spp, *Prosopis* spp, *Acacia* spp) y debido a la espesura por lo común prosperan pocas especies herbáceas; es frecuente que los clones de las especies arbustivas dejen entre sí espacios irregulares que son aprovechados por otros componentes del matorral.

Es importante mencionar que el matorral descrito en este capítulo puede ser una etapa en la serie que culmina con otra comunidad vegetal dados los estudios de cambio de uso de suelo precedentes de acuerdo a los resultados obtenidos por algunos autores (Mojica, 2008; Valenzuela *et al*., 2009a; Valenzuela *et al*., 2009b; Valenzuela *et al*., 2009c), ya que como diversos autores lo mencionan (Muller, 1940; Sauer, 1944; Sauer, 1950; Shreve, 1951; Budowsky, 1966; Rzedowski, 2005), uno de los resultados del sobrepastoreo de los pastizales es la invasión de arbustos, es decir, que de esta manera la carpeta de gramíneas se va convirtiendo en matorral. Con los estudios precedentes (Muller, 1940; Sauer, 1944; Sauer, 1950; Shreve, 1951), se corrobora que este fenómeno puede ser real, esto indica que el matorral en el ANP "Sierra de Lobos" corresponde a una fase de perturbación del pastizal en algunos lugares.

Pastizal

El pastizal representa el 13.19 % de la superficie con vegetación en el área de estudio. Sus cubiertas alcanzan densidades moderadas y tienen la característica de ocupar pendientes muy variables, desde 1 hasta el 30 %, así como distintos ambientes ecológicos. Los

elementos que caracterizan al pastizal son de poca altura, que no sobrepasa 1.0 m, sus valores de recubrimiento van del 50 al 70 %. Por la característica de su crecimiento, cubierta, así como por la producción de mantillo y su misma retención, el pastizal con buen desarrollo, tiene la propiedad de favorecer en gran manera la infiltración y la conservación de la humedad en el suelo. Desgraciadamente, muchas de las áreas cubiertas con pastizal se encuentran en una marcada etapa de desertificación, que se hace evidente en el reemplazo de los pastos perennes por arbustivas espinosas, a causa del intenso sobrepastoreo y de la apertura a tierras agrícolas de temporal. Esta actividad deja grandes áreas de suelo descubiertas durante una larga temporada anual sometidas al impacto de la precipitación.

Estos cambios se acompañan de erosión hídrica en distintos grados. El problema tiende a crecer con el aumento en la población. Las áreas cubiertas con pastizal en el área de estudio revisten gran importancia económica para el aprovechamiento pecuario. Los pastizales son particularmente adecuados para la alimentación del ganado bovino y equino y la mayor parte de la superficie correspondiente a este tipo de vegetación se dedica para este propósito. El ganado de carga en la actualidad está en decadencia debido a la competencia de los medios modernos de transporte, sin embargo, la demanda de carne y productos derivados de la leche se ha incrementado de manera considerable. El aprovechamiento del pastizal en el área de estudio en la mayor parte de los casos no es el óptimo y en muchos sitios el sobrepastoreo debido a la falta de organización y técnicas adecuadas no permite obtener el máximo rendimiento. El sobrepastoreo y el pisoteo excesivo impiden muchas veces el buen desarrollo y la reproducción de las especies más nutritivas y apetecidas por el ganado, propiciando el establecimiento de plantas que los animales no comen y que a menudo no son palatables y con frecuencia reducen también la cobertura del suelo exponiéndolo a los efectos de la erosión.

Un serio problema en el ANP "Sierra de Lobos" en lo referente al manejo de los pastizales son las largas épocas de sequía, en las cuales coinciden la falta de agua y de alimento para los animales. En muchas zonas, la vegetación clímax no corresponde por lo general a pastizal (pastizal inducido), pero los habitantes de la zona buscan la manera de inducirlo en muchas partes y mantenerlo de manera indefinida con el fin de lograr su aprovechamiento para la ganadería. Los pastizales con frecuencia corresponden a una fase de la sucesión de comunidades, cuya marcha es detenida (Rzedowski, 2005). Otras veces la dominancia de gramíneas se produce en forma artificial mediante el pisoteo de los animales y la intervención del fuego, y ésta se conserva a la larga con la acción continua de los mismos factores de disturbio. En la zona los pastizales de éste tipo en muchas ocasiones sufren de sobrepastoreo y en el caso de los derivados de los bosques de encino que prosperan en lugares con pendientes pronunciadas no siempre protegen el suelo de forma eficiente.

CONCLUSIONES

Se determinaron cuatro grupos de vegetación y un agroecosistema además de un área sin vegetación, con porcentajes fluctuantes de cobertura

Se presenta en este estudio una primera aproximación de la importancia de la vegetación y como participa en la producción de escurrimientos y protección edáfica en una de las vertientes del ANP "Sierra de Lobos", la cual presenta un alto grado de deterioro de sus recursos naturales, siendo de gran importancia para una de las principales ciudades de México.

El inventario obtenido permitirá realizar estudios posteriores de diversidad, manejo, ordenamiento, etc. siempre de la mano con la visión de sustentabilidad y más aún cuando el segundo grupo de vegetación más importante fue la agricultura

LITERATURA CITADA

Álvarez M, Córdoba S, Escobar F, Fagua G, Gast F, Mendoza H, Ospina M, Umaña AM, Villareal H. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá Colombia

Bohlen PJ, Gar H. 2010. Sustainable agroecosystem management: integrating ecology, economics, and society. CRC Press.

Comité Técnico Consultivo de Coeficientes de Agostadero (COTECOCA). 1979. Coeficientes de Agostadero para el Estado de Durango. Tomo I. SARH-COTECOCA. México. 295 p.

Deleage JP. 1993. Historia de la Ecología. Una ciencia del Hombre y la Naturaleza. Icaria. Barcelona, España. 364 p.

Diamond JM. 1979 Assembly of species communities: Chance or competition? Ecology: 60(6): 1132-1140.

Drury WH, Nisbet ICT. 1973. Succession. J. Arnold Arboretum 54: 331-368.

Flores GJG. 2009. Impacto ambiental de incendios forestales. Colegio de Postgraduados-Universidad Autónoma Chapingo. MundiPrensa. México, D. F. 325 p.

Galindo BAS, Victoria UR. 2012. La vegetación como parte de la sustentabilidad urbana: beneficios, problemáticas y soluciones, para el Valle de Toluca. Quivera 14: 98-108

González RA. 2011. Reserva de Biosfera en Ambiente Urbano. Una alternativa metodológica para la Ordenación Urbanística y Territorial de Áreas Metropolitanas. Provincia 12.25: 11-32.

Haila Y, Margules CR. 1996. Survey research in conservation biology. Ecography. 19: 323-331.

Her Majesty´s Stationery Office (HSMO). 1990. This common inheritance. DOE. Britain´s enviromental strategy. Uk Government, Londres

Huston M, Smith T. 1987. Plant succession: life history and competition. American Naturalist. 130:168-198

Instituto de investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). 2000. Convenio de las Naciones Unidas sobre diversidad biológica y protocolo de Cartagena. Instituto de investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia. 99 p.

Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (INEGI). 1990. Estudio hidrológico de la Alta Babícora, Chihuahua. Departamento de Hidrología de la Dirección General de Geografía. México. 145 p.

Kirkby MJ y Morgan RPD. 1984. Erosión de los Suelos. Ed. LIMUSA. 375 p.

Krebs CJ. 1985. Ecología, estudio de la distribución y la abundancia. Harper and Row Latinoamericana, México. 715 p.

Maas MJM, García FO. 1990. La conservación de suelos en zonas tropicales: el caso de México. Ciencia y Desarrollo 15 (90): 21-36

Marroquín JS, Borja LG, Velázquez CR, Cruz CJC. 1964. Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del Norte de México. INIF. Publicación Especial No. 2. México. 166 p.

Martínez RM. 1985. Claros, ciclos vitales de los árboles tropicales y regeneración natural de las selvas altas perennifolias. En: Gómez P, Del Amo S. (Eds.) Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México. INIREB, Alhambra Mexicana. 240 p.

Mojica GA. 2008. Cambio de uso de suelo en la vertiente sur del Area Natural Protegida Sierra de Lobos, Guanajuato

Muller CH. 1940. Plant succession in the Larrea-Flourensia climax. Ecology 21:206-212.

Noss R. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical model. Conservation Biology, 4: 355-364.

Rodríguez TDA. 2009. Incendios Forestales. Universidad Autónoma Chapingo-MundiPrensa. México, D. F. 604 p.

Rzedowski J. 1978. Vegetación de México. Ed. LIMUSA. México, D. F. 432 p.

Rzedowski J. 2005. Vegetación de México. CONABIO. México, D. F. 400 p.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidraulicos (SARH). 1985. Inventario Forestal del Estado de Coahuila. Pub. Esp. No. 51. México, D. F. 79 p.

Sauer C. 1944. Geographical sketch of early man in North America. Geogr. Rev. 34: 529-573.

Sauer C. 1950. Grassland, climax, fire and man. Journ. Range Management. 3: 16-21.

Shreve F. 1951. Vegetation of the Sonoran Desert. Carn. Inst. Wash. Publ. 591: 1-192.

Tarin TG. 1993. La vegetación Natural. *In*: Loyer JY, Estrada AJ, Jasso IR, Moreno DL. (eds). Estudio de los factores que influencian los escurrimeientos y el uso del agua en la Región Hidrológica 36. INIFAP, CENID RASPA, ORSTOM, DEC. Durango, Gómez Palacio, México. pp. 233-244

United Nations Environment Programme (UNEP). 1995. Global biodiversity assessment. V. H. Heywood, R. Watson, T. Cambridge. United Nations Environment Programme.

Valenzuela NLM, Potisek TMC, González CG, Chavez RE, González BJL. 2009a. Dinámica del cambio de uso de suelo en la microcuenca "Hernández Alvarez" en la vertiente sur de la Sierra de Lobos, Guanajuato. AGROFAZ 9(2): 171 – 178.

Valenzuela NLM, González BJL, Trucíos CR, Mojica GAS. 2009b. Uso de suelo en la microcuenca La Patiña en el Sur de la Sierra de Lobos Guanajuato, México. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 8(1): 1 – 9.

Valenzuela NLM, Macías RH. Velázquez VMA, Muñoz VA. 2009c. Recursos vegetales en el Área Natural Protegida Sierra de Lobos en El Estado de Guanajuato. AGROFAZ 9 (2): 111 – 116.

ESPECIES VEGETALES DE ZONAS ÁRIDAS PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS

Ricardo Trejo-Calzada[1*♠], Aurelio Pedroza-Sandoval[1♠], Manuel Reveles-Hernández[2], José Ruíz-Torres[1], Jesús G. Arreola-Avila[1♠]

[1]Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Carretera Gómez Palacio-Chihuahua km 40. Apartado Postal No. 8, Bermejillo, Durango, México.

[2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Zacatecas, Carretera Zacatecas-Fresnillo Km Apartado Postal No. 18, Calera de V.R., Zacatecas, México.

♠ Integrantes de la Red Académica de Innovación en Alimentos y Agricultura Sustentable (RAIAAS) – CIESLAG-COECYT

* Autor para correspondencia: rtrejo@chapingo.uruza.edu.mx

RESUMEN

La fitorremediación es una tecnología emergente en la que se usan diversas especies vegetales para extraer, contener, degradar o inmovilizar contaminantes del suelo y agua. Varias especies se consideran hiperacumuladoras de metales pesados, sin embargo la mayoría tienen altos requerimientos de agua para su desarrollo. Además, no hay estudios suficientes sobre plantas adaptadas a las condiciones de zonas áridas y que tengan características de absorción y acumulación de metales pesados y puedan emplearse en la remediación de áreas contaminadas. Esto es esencial en virtud de que el factor limitante para la producción de biomasa vegetal en las zonas áridas es el agua. Un programa para reducir los metales contaminantes de suelos en zonas áridas deberá apoyarse en especies vegetales que entre sus características se encuentre la de tolerar sequía y tener un uso consuntivo de agua reducido. El objetivo de este capítulo es ofrecer al lector algunos de los resultados que se han desarrollado en con especies vegetales nativas o adaptadas a las zonas áridas para la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. En este documento se incluye información sobre las siguientes especies: palma washingtonia (*Washingtonia robusta* H. Wendl.), huizache [*Acacia farnesiana* (L.) Willd.], Trompillo (*Solanum elaeagnifolium* Cav., Icon.), nopal [*Opuntia megacantha* Salm-Dyck *y Opuntia ficus indica* (L.) Mill.] y quelite (*Amaranthus hybridus* L.). Con base en los resultados obtenidos se puede concluir que las especies estudiadas tienen potencial de uso en programas de remediación de suelos contaminados por metales pesados, procurando combinar especies que permitan la fitoestabilización y la fitoextracción.

Palabras clave: metales pesados, contaminación, fitorremediación, zonas áridas.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo sustentable ha sido definido por la Comisión del Medio Ambiente y Desarrollo de la Organización de las Naciones Unidas como: "El desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer las capacidades que tienen las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades". Ya desde 1972, en la convención de Estocolmo se empezó a constituir la llamada "Carta de la Tierra" siendo está culminada en 1994 en la Conferencia de Rio de Janeiro, donde la ONU se compromete a atender la protección de los bosques, diversidad biológica y calentamiento global; es decir, el equilibrio entre medio ambiente y desarrollo. En la Carta de la Tierra se definió al medio ambiente como un conjunto de elementos físicos, químicos, biológicos, sociales y culturales que en un lugar y un tiempo determinado afectan y condicionan la vida del ser humano. Aunado a las diferentes problemáticas que afectan en diferentes proporciones la calidad de vida de la humanidad (ONU, 2011).

Los impactos de las actividades humanas en la contaminación del suelo son muchos y variados. Las actividades agrícolas, comerciales e industriales contribuyen a la contaminación en mayor o menor medida. En los últimos años las lista de contaminantes tóxicos se ha incrementado incluyendo metales pesados, radionucleótidos, compuestos orgánicos, farmacéuticos, explosivos y patógenos (Garbuio *et al.*, 2012). Por lo tanto, es indispensable generar o innovar tecnologías que permitan evitar, reducir y en su caso remediar la contaminación ambiental.

Contaminación de suelos por metales pesados

Los metales constituyen uno de los mayores grupos contaminantes tóxicos para el ambiente. En contraste a los contaminantes orgánicos e inorgánicos, que en muchos casos pueden ser degradados, los metales liberados en el ambiente tienden a persistir indefinidamente, acumulándose en los tejidos vivos a través de la cadena trófica (Grubor, 2008).

Los metales pesados son definidos como elementos con propiedades metálicas (conductibilidad, ductilidad, etc.), número atómico mayor de 20, y cuya densidad es mayor a los 5 g cm^{-3}. Se consideran metales pesados el plomo cadmio, cromo, mercurio, zinc, cobre, plata y arsénico, que constituyen un grupo de importancia, ya que algunos son esenciales para las células, pero en altas concentraciones pueden resultar tóxicos para los seres vivos (Spain *et al.*, 2003). Estos elementos contribuyen fuertemente a la contaminación ambiental, la cantidad de metales disponibles en el suelo está en función del pH, del contenido de arcillas, del contenido de materia orgánica, de la capacidad de intercambio catiónico y de

otras propiedades que las hacen únicas en términos de manejo de la contaminación (Sauve *et al*., 2000).

Estos contaminantes pueden alcanzar niveles de concentración que provocan efectos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas en los suelos como: reducción del contenido de materia orgánica, disminución de nutrimentos, variación del pH generando suelos ácidos, amplias fluctuaciones en la temperatura, efectos adversos en el número, diversidad y actividad en los microorganismos de la rizósfera, dificultan el crecimiento de una cubierta vegetal protectora favoreciendo la aridez, erosión del suelo, y la dispersión de los contaminantes hacia zonas y acuíferos adyacentes y como consecuencia aumenta la vulnerabilidad de la planta al ataque por insectos, plagas y enfermedades, afectando su desarrollo (Zhang *et al*., 2000).

Los metales pesados están considerados como peligrosos, pues poseen una toxicidad, en parte debido a la elevada tendencia a bioacumularse. La bioacumulación es un aumento de la concentración de un producto químico en un ser vivo en un cierto plazo, de forma que llega a ser superior a la del producto químico en el ambiente. La toxicidad es causada frecuentemente por la imposibilidad del organismo afectado para mantener los niveles necesarios de excreción. El proceso se agrava durante el paso por las distintas cadenas tróficas, debido a que los niveles de incorporación sufren un fuerte incremento a lo largo de sus sucesivos eslabones, siendo en los superiores donde se hallan los mayores niveles de contaminantes. A este proceso se le denomina biomagnificación; es decir, toxinas que están diluidas en un medio, pueden alcanzar concentraciones dañinas dentro de las células, especialmente a través de la cadena trófica (Navarro-Aviño *et al*., 2007).

Dentro de los metales pesados hay dos grupos; oligoelementos o microelementos: son los requeridos en pequeñas cantidades o cantidades traza por plantas y animales y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital, pero sobre cierto umbral se vuelven tóxicos, como es el caso del boro (B), cobalto (Co), cromo (Cr), Cobre (Cu), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), níquel (Ni), hierro (Fe), selenio (Se) y zinc (Zn). Además, se encuentran los metales pesados, sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva aparejada disfunciones en los organismos. Estos resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Ejemplos de éstos son: arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), antimonio (Sb), bismuto (Bi), estaño (Sn) y talio (Tl) (García y Dorronsoro, 2005).

Se ha comprobado que cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanzan niveles que rebasan ciertos límites, causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y desarrollo de las plantas, un disturbio funcional en otros componentes del ambiente así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo (Martin, 2000).

Ciertos metales funcionan como "venenos" metabólicos, ya que pueden reaccionar e inhibir una serie de sistemas enzimáticos; algunos iones de estos elementos (Hg^{2+}, Cd^{2+} y Ag^{+}) forman complejos tóxicos inespecíficos en la célula, lo que produce efectos tóxicos para cualquier función biológica. Elementos como el Hg, As, Sn, Tl y Pb, pueden formar

iones órgano-metálicos liposolubles capaces de penetrar membranas y acumularse en las células. Aun, elementos sin propiedades tóxicas en baja concentración, son tóxicos cuando rebasan ciertas concentraciones, como ocurre con el Zn^{2+} (200 a 500 mg Kg^{-1}), el Ni^{2+} (10 mg Kg^{-1}) y especialmente el Cu^{2+} (50 a 300 mg Kg^{-1}) (Nies, 1999; Díaz-Aguilar *et al.*, 2001; Csuros y Csuros, 2002; Reichman, 2002).

En relación con lo anterior, cationes tri- o tetra-valentes de otros metales: estaño (Sn), cerio (Ce), galio (Ga), zirconio (Zr) y torio (Th), debido a su baja solubilidad, no poseen influencia biológica. Del resto de los metales, el Fe, Mo y Mn son elementos traza importantes con baja toxicidad; el Zn, Ni, Cu, vanadio (V), Co, wolframio (W) y Cr son tóxicos con importancia biológica moderada; y elementos como As, Ag, Sb, Cd, Hg, Pb y uranio (U), no tienen importancia biológica significativa como elementos traza y se consideran tóxicos (Nies, 1999).

Las concentraciones anómalas de metales pesados en los suelos pueden deberse básicamente a dos tipos de factores: causas naturales y causas antropogénicas. Las causas naturales pueden ser entre otras, actividad volcánica, procesos de formación de suelos, meteoros, erosión de rocas, terremotos, tsunamis, etc. Las causas antropogénicas pueden ser la minería, la combustión de carburantes fósiles, la industria a través de los vertidos, emisiones, residuos (incineración, depósito), como algunos pesticidas y fertilizantes, etc., (Pineda, 2004; Volke *et al.*, 2005).

La contaminación del suelo por metales pesados está fundamentalmente relacionada con diferentes tipos de actividades humanas. Una vez en el suelo, éstos pueden quedar retenidos en el mismo pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Pagnanelli *et al.*, 2004). Los metales pesados adicionados a los suelos se redistribuyen y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida. Dicha redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, dependiendo de las especies del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo (Han et al., 2003).

La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo al agua subterránea y difiere de si su origen es natural o antrópico y, dentro de este último, al tipo de fuente antrópica (Ensley *et al.*, 1998).

Los factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo están relacionados con sus características: pH, potencial redox, composición iónica, capacidad de intercambio, presencia de carbonatos, materia orgánica y textura; la naturaleza de la contaminación: origen de los metales, forma de deposición y las condiciones medioambientales: acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad (Sauquillo *et al.*, 2003).

El pH es un factor esencial, la mayoría de los metales tiende a estar más disponibles en un pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino. En medios con pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos y en medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como

hidroxicomplejos. La adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo y por tanto, también la biodisponibilidad de sus compuestos (Alloway, 1995).

La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como es el Cu, que pueden quedar en forma no disponible por las plantas, motivo por el cual, algunas plantas crecidas en suelos ricos en materia orgánica, presentan carencia de elementos como el Cu, Pb y Zn, eso no significa que los suelos no estén contaminados ya que las poblaciones microbianas se reducen notablemente. La textura favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo, por ejemplo la arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio, por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos (Pineda, 2004).

En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: 1) quedan retenidos, disueltos en la fase acuosa, ocupando sitios de intercambio o específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos, asociados con la materia orgánica y/o precipitados como sólidos puros o mixtos; 2) pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; 3) pasan a la atmósfera por volatilización y 4) se movilizan a las aguas superficiales o subterráneas (García y Dorronsoro, 2005).

Para elucidar el comportamiento de los metales pesados en los suelos y prevenir riesgos tóxicos potenciales se requiere la evaluación de la disponibilidad y movilidad de los mismos (Banat *et al*., 2005). La toxicidad de los metales depende no sólo de su concentración, sino también de su movilidad y reactividad con otros componentes del ecosistema (Abollino *et al*., 2002).

Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados

En los últimos años, en varios países del mundo, se ha iniciado una nueva cruzada en la investigación y aplicación de nuevas alternativas que coadyuven con herramientas para prevenir o restaurar los daños ocasionados por acciones antropogénicas y desastres naturales que dañan de manera severa el ambiente. Los suelos contaminados pueden ser remediados mediante técnicas químicas, físicas o biológicas. (McEldowney *et al*., 1993; Khan *et al*., 2000). Las técnicas disponibles pueden agruparse en dos categorías: a) técnicas *ex situ* las que requieren remover el suelo contaminado para ser tratado dentro o fuera del sitio, y b) métodos *in situ*, que no requieren excavación del suelo contaminado en la remediación (Khan *et al*., 2000).

La biorremediación entendida como el uso de organismos vivos (plantas y microorganismos) para contrarrestar los efectos nocivos en el ambiente causados por desastres naturales u ocasionados por actividades antropogénicas es una de los métodos de

remediación in situ (Walecka-Hutchinson y Walworth, 2006). Particularmente, existen estudios tendientes a resolver la contaminación originada por metales pesados en suelos, mediante estrategias basadas en el uso de plantas que tienen la propiedad de acumular metales pesados; proceso denominado fitorremediación que consiste en la remoción, transferencia, estabilización y/o degradación y neutralización de compuestos orgánicos, inorgánicos y radioactivos que resultan tóxicos en suelos y agua.

Esta novedosa tecnología tiene como objetivo degradar y/o asimilar los metales pesados presentes en el suelo, lo cual tiene muchas ventajas con respecto a los métodos convencionales de tratamientos en lugares contaminados. En primer lugar es una tecnología de bajo costo, en segundo lugar, posee un impacto regenerativo en lugares en donde se aplica y en tercer lugar su capacidad extractiva se mantiene debido al crecimiento vegetal (Harvey *et al*., 2002). La fitorremediación es un proceso que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelos, lodos y sedimentos, y puede aplicarse tanto *in situ* como *ex situ* (Song y Wang, 1990).

La fitorremediación no es un sencillo remedio o receta que sea aplicable para todos los suelos contaminados, antes de que esta tecnología pueda volverse técnicamente eficiente y económicamente viable, hay algunas limitaciones que necesitan ser superadas. Por ejemplo, sus mecanismos tanto moleculares, bioquímicos y fisiológicos, son pocos conocidos e insuficientemente entendidos; sin embargo, a pesar de esto, un gran número de plantas definidas como hiperacumuladoras, todavía pueden darse a conocer e identificarse (González, 2005).

Sin embargo, la fitorremediación de suelos contaminados es una técnica con grandes posibilidades. El uso de especies vegetales tolerantes a altos niveles de metales en suelos y agua, permite actividades de restauración con menor impacto ambiental sobre los terrenos que otras técnicas tradicionales, más invasivas y con efectos secundarios adversos. La unión entre la materia orgánica y los metales (formación de moléculas complejas de elevada estabilidad), puede disminuir la capacidad de fitoextracción, disminuyendo así la fitotoxicidad y permitir que se pueda reestablecer la vegetación de sitios contaminados (Robinson *et al*., 2003).

Toda planta posee potencial para absorber una amplia variedad de metales del suelo pero la mayor parte tienden solamente a absorber los que son esenciales para su supervivencia y desarrollo. Existe una notable excepción de esta regla de un pequeño grupo de plantas que pueden tolerar, absorber y translocar altos niveles de ciertos metales, estas plantas reciben el nombre de hiperacumuladoras (Chen *et al*., 2001). Una definición propone que si una planta contiene más de 0.1 % de Ni, Co, Cu, Cr y Pb o 1 % del Zn en sus hojas sobre una base del peso seco, ésta puede ser llamada una "hiperacumuladora", independientemente de la concentración del metal en el suelo (Robinson *et al*., 2003).

Las plantas pueden adoptar distintas estrategias frente a la presencia de metales en su entorno Unas basan su resistencia a los metales con la estrategia de una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea. Otras acumulan el metal en la parte aérea en una forma no tóxica para la planta. La exclusión es más característica de especies

sensibles y tolerantes a los metales, y la acumulación es más común de especies que aparecen siempre en suelos contaminados (Barceló y Poschenrieder, 2003).

Con relación a las respuestas bioquímicas de las plantas a la presencia de metales pesados, se ha identificado la actividad de glutatión (GSH) el cual es un sustrato de la síntesis de fitoquelatinas (PC's) y crucial para la desintoxicación de metales pesados como Cd y Ni. Las fitoquelatinas son ricas en grupos SH y presentan elevada afinidad para cationes de metales. Se ha logrado identificar que las PC's forman complejos con iones metálicos tóxicos en el citosol y posteriormente los transportan a la vacuola para proteger a las plantas de efectos nocivos causados por los metales pesados (Yadav, 2010).

Las fitoquelatinas son péptidos enzimáticamente sintetizados que se han encontrado en plantas creciendo en suelos con altas concentraciones de metales pesados. Su estructura primaria generalmente tiene la forma □-Glu-Cis-Gli y forma complejos con metales pesados. Moléculas de fitoquelatinas de longitud variable son sucesivamente sintetizadas e inmediatamente forman complejos metales pesados. Se ha encontrado que además de desactivar la acción de los metales por la formación de complejos, estos péptidos actúan contra la acumulación de especies reactivas de oxígeno como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y superóxido (O_2^-) que comúnmente se producen por estrés con metales pesados (Hirata *et al*., 2005).

La síntesis de fitoquelatinas es catalizada por la enzima fitoquelatinas sintetasa (PC sintasa) y el gen que la codifica es constitutivamente expresado en plantas superiores. Sin embargo, los metales pueden inducir una sobreexpresión del gen que incrementa el sistema de defensa de las plantas (Hirata *et al*., 2005).

Las metalotioneinas (MT) son también proteínas quelantes ricas en cisteína, capaces de unir una variedad de metales entre los residuos de cisteína. Las MT se han agrupado en cuatro tipos. Las MT son expresadas en toda la planta, pero se ha encontrado que pueden ser inducidas en tejidos específicos (Grennan, 2011).

Una planta ideal que pueda ser utilizada para la fitorremediación deberá poseer múltiples características: deben ser de rápido crecimiento, tener raíces profundas, una biomasa abundante, ser fácil de cosechar y ser capaces de tolerar y acumular una amplia gama de metales pesados en sus partes aéreas, es decir deben ser hipertolerantes e hiperacumuladoras (Clemens *et al*., 2002). El fenómeno de hiperacumulación es raro, pero ocurre en plantas terrestres. El índice de bioacumulación, definido como el cociente de la concentración del metal en la planta entre la concentración del metal en el suelo, en plantas hiperacumuladoras es generalmente mayor a 1 y llega a alcanzar valores de 50-100 (McGrath y Zhao, 2003).

La fitorremediación mantiene las propiedades biológicas y estructura física del suelo y la técnica es poco agresiva para el medio ambiente, potencialmente barata, visualmente aceptable y ofrece la posibilidad de bio-recuperar los metales pesados (Khan *et al*., 2000). Consiste de cuatro diferentes tecnologías basadas en plantas, cada una tiene diferentes mecanismos de acción y se conocen como: rizofiltración, que involucra el uso de plantas

para limpiar ambientes acuáticos; fitoestabilización, donde las plantas son usadas para estabilizar el suelo contaminado; fitovolatización, que involucra el uso de plantas para extraer ciertos metales del suelo y después liberarlos a la atmósfera a través de la volatilización; y la fitoextracción, donde las plantas absorben metales del suelo y lo translocan después a los brotes cosechables (Vara y Oliveira, 2003; Khan, 2005).

Rizofiltración

La rizofiltración, implica la adsorción o precipitación de los contaminantes por las raíces de las plantas acuáticas o terrestres. Una vez que se ha desarrollado el sistema radicular, las plantas se aclimatan con agua contaminada y posteriormente se plantan en el área designada. Cuando las raíces de las plantas se saturan de contaminantes se cosechan e incineran para el posterior reciclado de los metales (Dietz y Schnoor, 2001).

Fitoestabilización

La fitoestabilización, consiste en el uso de ciertas plantas para inmovilizar contaminantes en el suelo, sedimentos y lodos a través de su absorción y acumulación en la raíz, adsorción a la raíz o precipitación en la rizósfera. Por este proceso se reduce la movilidad de los contaminantes y previene la migración de los mismos al agua o aire; además disminuye la biodisponibilidad de los metales para su entrada a la cadena alimenticia (Vara y de Oliveira, 2003). El número de pruebas de campo realizadas hasta la fecha es pequeña (Brown *et al.*, 2003), y está surgiendo como un método de rehabilitación atractivo debido a su simplicidad y su costo relativamente bajo.

Fitovolatilización

La fitovolatilización, consiste en el uso de plantas para absorber a los contaminantes, transformarlos a formas volátiles y por transpiración liberarlos a la atmósfera. Se aplica generalmente en agua subterránea aunque también puede utilizarse en suelo, sedimentos y lodos contaminados con metales pesados (Dietz y Schnoor, 2001).

Fitoextracción

La fitoextracción debe considerarse como una tecnología de largo plazo, que puede requerir de varios ciclos de cultivo para reducir concentración de los contaminantes a niveles aceptables. El tiempo requerido depende de la concentración y tipo de contaminante(s), duración del periodo de crecimiento y eficiencia de remoción de la especie utilizada; puede tomar entre uno y 20 años (Vara y de Oliveira, 2003).

El proceso de fitoextracción involucra el uso de plantas para facilitar la remoción de metales contaminantes de una matriz de suelo. Algunos investigadores mencionan que la efectividad de la fitoextracción depende de numerosos factores, incluyendo la concentración y la forma mineralógica del metal, tipo, y las condiciones de crecimiento de las plantas (Martin y Ruby, 2004). La acumulación de metales y su posterior remoción en la biomasa de las plantas se lleva a cabo mediante el trasplante de especies vegetales con características fitoextractoras y generalmente se potencia con el uso de prácticas agrícolas, ya que se ha comprobado que el proceso de fitoextracción y la biodisponibilidad del contaminante para las raíces puede facilitarse a través de la adición de agentes acidificantes, de fertilizantes o quelantes (Vara y de Oliveira, 2003).

Plantas de zonas áridas para la fitorremediación

Se han reportado aproximadamente 400 especies vegetales hiperacumuladoras de metales pesados. Las familias que dominan este grupo de plantas hiperacumuladoras son *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Cyperaceae*, *Cunouniceae*, *Fabaceae*, *Flacourtiaceae*, *Lamiaceae*, *Poaceae*, *Violaceae*, y *Euphobiaceae* (Vara y Oliveira, 2003). Sin embargo, existen pocos estudios enfocados al empleo de especies nativas o adaptadas a zonas áridas en las que además de los efectos de los contaminantes se tiene que enfrentar la limitación de agua.

En la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo en Bermejillo, Durango, México se ha llevado a cabo diversos estudios con especies vegetales nativas o adaptadas a las condiciones de aridez. Entre otras se han realizado trabajos con palma (*W. robusta*), trompillo (*S. elaeagnifolium*), huizache (*A. farnesiana*), nopal (*O. megacantha*), quelite (*A. hybridus*), pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) y zacate pegarropa [*Setaria verticillata* (L.) P. Beauv.]. Particularmente se ha evaluado la capacidad de extracción de metales pesados por estas especies y la influencia de algún tipo de manejo agronómico como puede ser la fertilización nitrogenada o la adición de micorrizas.

Palma Washingtonia

En el Cuadro 1 se muestra que *W. robusta* es capaz de extraer plomo de un sustrato contaminado y que particularmente lo acumula en las raíces. Esta especie, por lo tanto, pudiera ser considerada en planes de fitorremediación de suelos contaminados con plomo, especialmente para la fitoestabilización ya que por tratarse de una planta perenne pudiera ayudar a que el metal pesado sea fijado en los tejidos de la raíz y evitar su posible movilidad en la solución del suelo hacia el subsuelo o su dispersión por el viento hacia zonas urbanas. La máxima concentración de plomo registrada en raíces de *W. robusta* crecida en suelos con 500 mg de Pb kg^{-1} fue de casi 1400 mg kg^{-1}, con un factor de bioacumulación mayor de 5.

Por otra parte, no se identificó una clara evidencia de que el agente quelante EDTA pueda promover una mayor acumulación de plomo en las raíces de *W. robusta*.

Cuadro 1. Medias de acumulación de Pb en los diferentes órganos de la planta *Washingtonia robusta* sometidas a diferentes dosis de agente quelante (mg kg^{-1}) y concentraciones de plomo (mg kg^{-1}).

Tratamientos[Ŧ]	Pb en raíz (mg kg^{-1})	Pb en hoja (mg kg^{-1})	Pb total en planta (mg kg^{-1})
(250 Pb + 2 EDTA)	1368.9 a	278.8 a	1647.6 a
(500 Pb + 0.5 EDTA)	703.2 ab	133.3 a	836.4 ab
(250 Pb + 0.5 EDTA)	382.6 ab	147.8 a	530.3 ab
(250 Pb + 1 EDTA)	267.1 ab	101.4 a	368.5 ab
(Pb + 0.5 EDTA)	235.4 ab	112.0 a	347.4 ab
(500 Pb + 1 EDTA)	230.0 ab	165.1 a	395.1 ab
(0 Pb + 2 EDTA)	167.5 b	131.9 a	299.4 ab
(0 Pb + 0 EDTA)	153.0 b	257.1 a	410.1 ab
(250 Pb + 0 EDTA)	135.9 b	55.8 a	191.6 b
(0 Pb + 1 EDTA)	124.9 b	51.0 a	175.9 b
(500 Pb + 0 EDTA)	121.0 b	28.3 a	149.3 b
(500 Pb + 2 EDTA)	90.9 b	152.6 a	243.5 b

[Ŧ]Cifras con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. Prueba de rango múltiple de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.5$).

Huizache

Estudios realizados en huizache (*A. farnesiana*) muestran que esta especie puede acumular plomo en forma significativa en los tallos (Cuadro 2). Esta característica puede ser importante cuando se trate de impulsar un método de remediación vía fitoextracción. Aunque las concentraciones del metal en los tejidos de *A. farnesiana* no fueron altas para un año de estudio debe considerarse que la acumulación puede incrementarse por cada año que se mantenga la planta en el área a remediar. Por otra parte, los estudios en huizache indican que la fertilización nitrogenada no incrementa significativamente la absorción y acumulación de plomo. Un aspecto importante en el caso de *A. farnesiana* es que cuando se le sometió a altas concentraciones de plomo, su tasa fotosintética no fue reducida, lo que indica que esta especie posee algún mecanismo que le permite tolerar el metal pesado sin afectar su metabolismo (Cuadro 3).

Cuadro 2. Medias de acumulación de Pb en los diferentes órganos de la planta huizache (*A. farnesiana*) sometidas a diferentes dosis de fertilización nitrogenada y concentraciones de plomo.

Tratamientos[Ŧ]	Pb en raíz (mg kg^{-1})	Pb en hoja (mg kg^{-1})	Pb en tallo (mg kg^{-1})	Pb total en planta (mg kg^{-1})
(500 Pb + 300 N)	124.6 a	124.5 ab	120.9 b	370.1 a
(250 Pb + 100 N)	123.7 a	148.6 ab	164.6 ab	436.9 a
(250 Pb + 300 N)	105.6 ab	143.5 ab	124.9 ab	374.0 a
(500 Pb + 0 N)	82.5 ab	127.9 ab	218.3 a	428.8 a
(500 Pb + 500 N)	62.8 ab	126.2 ab	130.6 ab	319.6 a
(0 Pb + 100 N)	51.5 ab	146.1 ab	112.9 b	310.5 a
(0 Pb + 0 N)	48.2 ab	103.0 b	126.9 ab	278.1 a
(500 Pb + 100 N)	44.8 ab	179.0 a	130.4 ab	354.2 a
(250 Pb + 500 N)	43.4 ab	135.2 ab	162.2 ab	340.8 a
(0 Pb + 500 N)	41.2 ab	150.3 ab	186.2 ab	377.7 a
(0 Pb + 300 N)	30.6 ab	136.6 ab	126.6 ab	293.8 a
(500 Pb + 100 N)	16.2 b	135.2 ab	194.3 ab	343.1 a

[Ŧ]Cifras con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. Prueba de rango múltiple de medias Tukey $\alpha \leq 0.05$

Cuadro 3. Medias de tasa fotosintética en plantas de huizache crecidas en suelo con diferentes concentraciones de plomo y diferentes dosis de fertilizante nitrogenado.

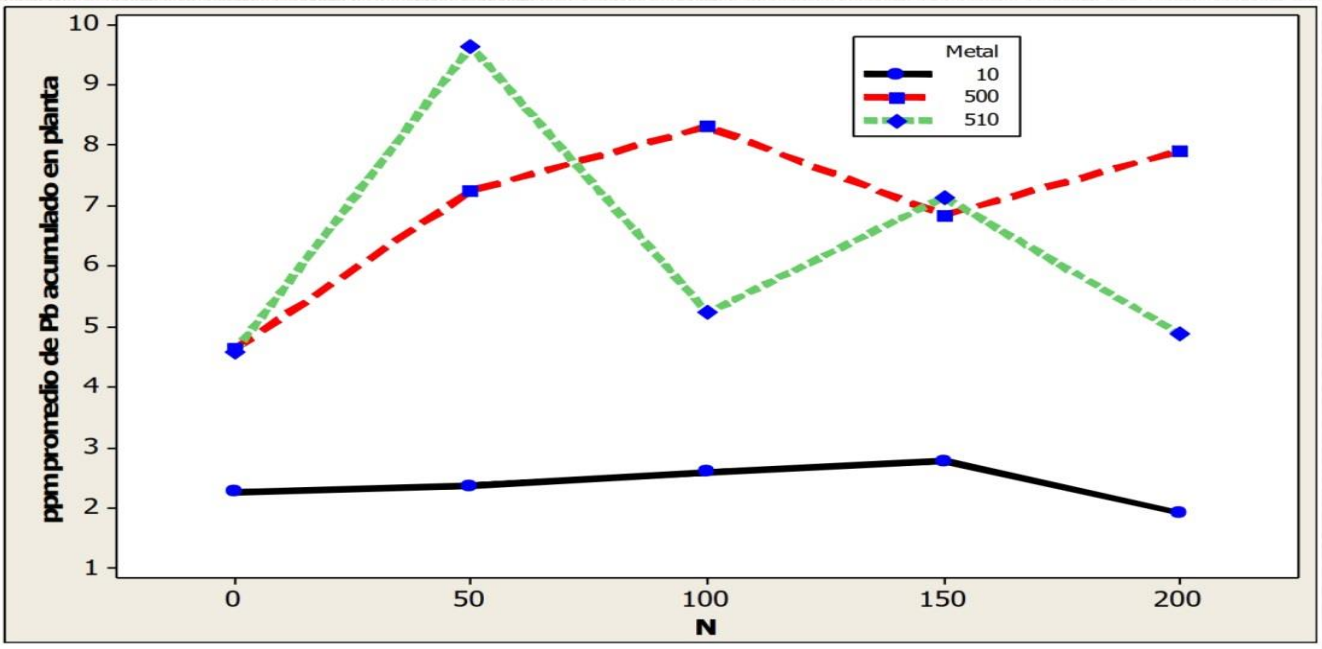
Tratamientos (ppm)[Ŧ]	Fotosíntesis (µmol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$)
(500 Pb + 500 N)	27.3 a
(250 Pb + 500 N)	21.3 ab
(500 Pb + 100 N)	20.2 ab
(500 Pb + 0 N)	17.0 ab
(250 Pb + 100 N)	16.2 ab
(0 Pb + 300 N)	15.9 ab
(0 Pb + 100 N)	15.8 ab
(0 Pb + 500 N)	15.7 ab
(0 Pb + 0 N)	15.0 b
(250 Pb + 300 N)	15.0 b
(500 Pb + 100 N)	13.5 b
(500 Pb + 300 N)	11.3 b

[Ŧ]Cifras con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales. Prueba de rango múltiple de medias Tukey $\alpha \leq 0.05$

Trompillo

El trompillo es una planta arvense anual que crece abundantemente en períodos de lluvia. La capacidad extractora de esta especie fue escasa comparada con la reportada por otros autores (Sias *et al*., 1998). Las máximas concentraciones del metal se detectaron en las hojas (Figura 1). En esta especie, la fertilización nitrogenada tuvo un efecto diferencial en la acumulación de Pb en los tejidos, lo que coincide con los resultados de Rodríguez *et al.* (2006) quienes reportan altos niveles Pb y Cd en plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), fertilizadas con nitrato de amonio.

Figura 1. Efecto de interacción entre la Dosis de N (0, 50, 100, 150 y 200 ppm) y concentración del metal pesado (10 ppm Cd, 500 ppm de Pb y 500 ppm de Pb + 10 ppm Cd) en la acumulación de Pb en planta de trompillo (*S. eleagnifolium*).



Considerando los resultados de nuestros estudios, el trompillo solo podría tomarse en cuenta como una opción para remediar suelos en aquellos casos en los que se cuente con los recursos para sembrar y cosechar varias veces por año.

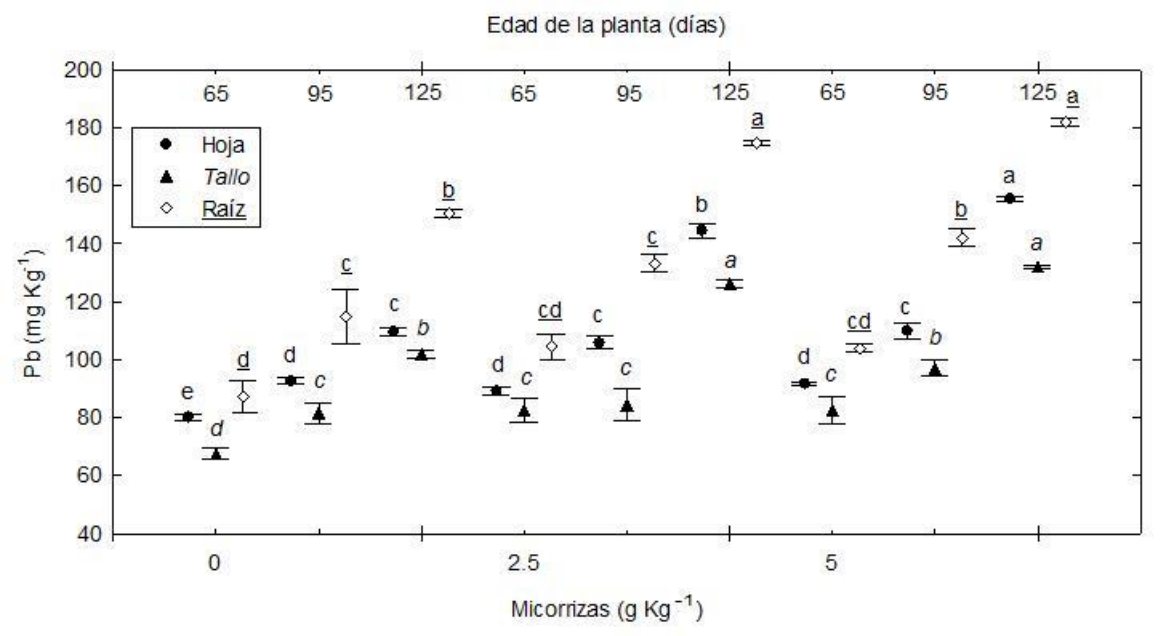
Quelite

En la Figura 2 se puede identificar que la concentración de Pb en los órganos hoja, tallo y raíz de plantas de quelite (*A. hybridus*) tendió a incrementarse conforme aumentó su edad,

cuando crecieron y se desarrollaron en macetas con suelo contaminado con 300 mg Pb kg^{-1}, con y sin la adición de micorrizas (*Entrophospora columbiana, Glomus intraradices, G. etunicatum, G. clarum).* Asimismo, se identifica que las micorrizas tuvieron un efecto significativo sobre la acumulación de Pb en los diferentes tejidos. Por lo tanto *A. hybridus* puede incluirse en un plan de remediación de suelos contaminados con metales pesados y en el manejo de esta especie es importante considerar la adición de micorrizas para potenciar su capacidad extractora de metales pesados. Esto acorde con lo que plantean Puschenreiter *et al.* (2001), en el sentido de que es preciso, además de seleccionar la especie vegetal adecuada, manipular la rizósfera a fin de mejorar la absorción de metales pesados durante el proceso de desarrollo de tecnologías de fitoextracción.

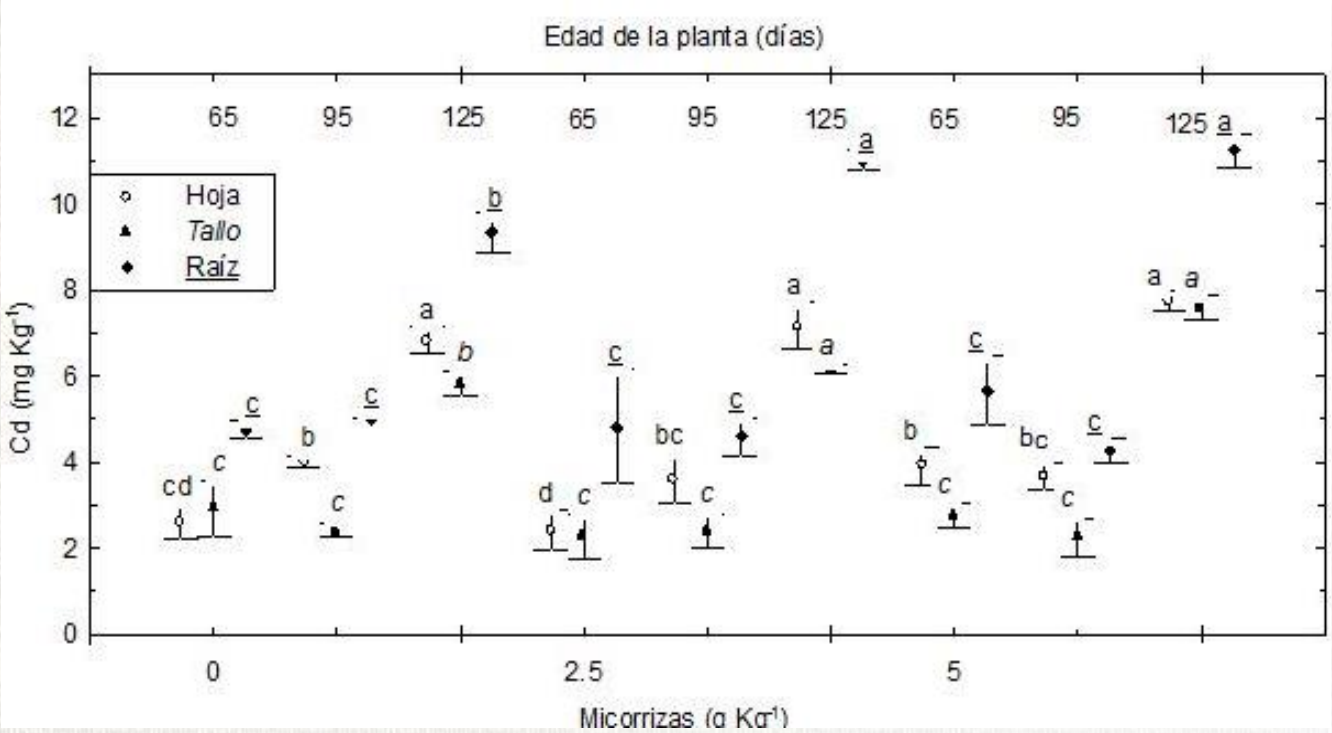
Por su parte, en la Figura 3 se observan los resultados del análisis de varianza considerándose el diseño experimental de bloques al azar para nueve tratamientos con cuatro repeticiones sobre la fitoextracción de Cd del quelite (*A. hybridus*), estos resultados confirman el rol de la edad de la planta sobre la acumulación de metales pesados, resultados muy similares al caso de la acumulación de Pb en quelite a través del tiempo en diferentes tejidos raíz, hoja y tallo de quelite, esto asociado a un rango de micorrización de 0 a 5 g kg^{-1} suelo. Observándose que conforme a la edad se presenta un incremento en la acumulación de Cd en los diferentes tejidos analizados en el experimento.

Figura 2. Rangos de concentración de Pb (media ± error estándar, n = 4) en plantas de quelite (*Amaranthus hybridus* L.). Letras diferentes indican concentraciones con diferencias mínimas significativas ($p \leq 0.05$) entre los nueve tratamientos producto de los factores dosis de micorrizas (tres niveles) y edad de la planta (tres niveles) para cada órgano (hoja, tallo y raíz). Todos los tratamientos contemplaron la adición de 300 mg Pb Kg^{-1} suelo; y fueron distribuidos al considerar un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los rangos están desfasados para evitar traslapes.



Además, en la Figura 3 se puede observar también claramente que las dosis de micorrizas no fueron igual de efectivas para promover la absorción de cadmio comparadas que con el plomo.

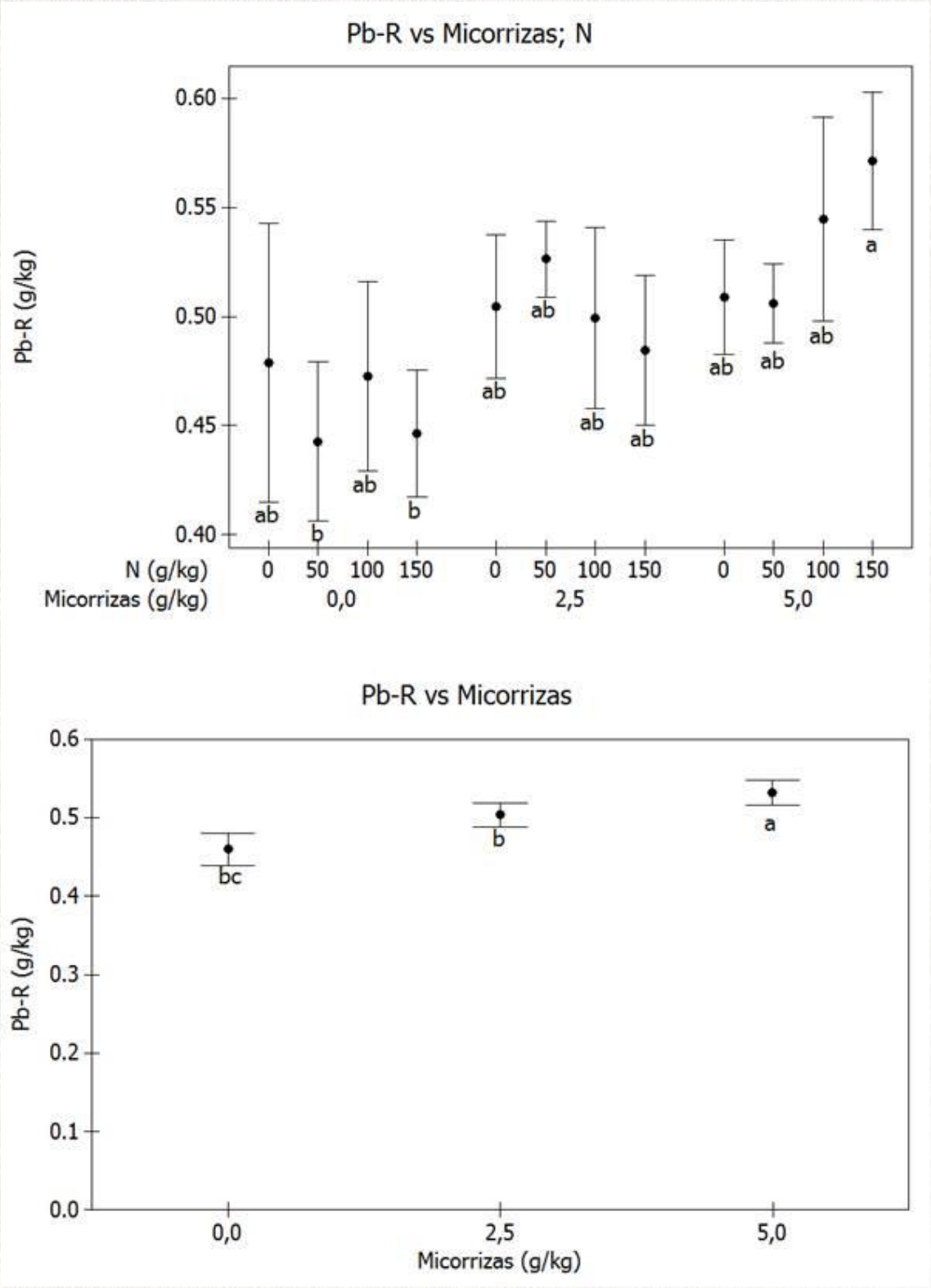
Figura 3. Rangos de concentración de Cd (media ± error estándar de estimación, n = 4) en plantas de quelite (*Amaranthus hybridus* L.). Letras diferentes indican concentraciones con diferencias mínimas significativas ($p \leq 0.05$) entre los nueve tratamientos producto de los factores dosis de micorrizas (tres niveles) y edad de la planta (tres niveles) para cada órgano (hoja, tallo y raíz). Todos los tratamientos contemplaron la adición de 15 mg Cd kg^{-1} suelo; y fueron distribuidos al considerar un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los rangos están desfasados para evitar traslapes.



Nopal

En nopal, la presencia de plomo en el suelo no produjo incrementos significativos en la acumulación de plomo en los cladodios de *Opuntia megacantha*. Esta especie tendría algunas limitantes para emplearse en planes de fitorremediación de suelos contaminados con plomo. Sin embargo, los estudios con Opuntia ficus indica muestran que se podría favorecer la fitoestabilización mediante el uso de una combinación de dosis de micorrizas y dosis de fertilización nitrogenada (Figura 4).

Figura 4. Efectos medios (•) de Tratamientos (arriba) y del factor Micorrizas (abajo) sobre la concentración de Pb en raíz de Opuntia ficus-indica L. Mill. Las barras se definieron por Media ± Error estándar; letras diferentes entre barras indican diferencia significativa (DMS a $\alpha = 0.05$) entre tratamientos o niveles de Micorrizas.



CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio aportan elementos para diseñar una estrategia de remediación de suelos contaminados con metales pesados. Las especies probadas tuvieron relativamente bajas tasas de fitoextracción de metales pesados. En todos los casos el índice de bioacumulación fue menor a la unidad, por lo que estas especies pudieran ser empleadas solamente en la modalidad de fitoestabilización.

La fitoestabilización tiene ventajas ecológicas y económicas. Una de las ventajas ecológicas es que al no acumularse los metales pesados en los tejidos aéreos de las plantas, no se pasaran al siguiente nivel en la cadena trófica y pudieran, en algunos casos, ser empleados para la alimentación de ganado.

Con base en los estudios que se han estado llevando a cabo podemos decir que se pueden establecer programas de fitorremediación de suelos en zonas áridas empleando especies vegetales nativas o adaptadas a esas regiones, con la ventaja de que estas plantas no requerirán de grandes volúmenes de agua para su establecimiento y desarrollo. Además, es importante señalar que un plan de manejo para fitorremediación en zonas áridas puede incluir varias especies de tal manera que se involucren la fitoestabilización y la fitoextracción principalmente.

LITERATURA CITADA

Abollino O, Aceto M, Malandrino M, Mentaste E, Sarzanini C, Barberis R. 2002. Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. Environmental Pollution, 177 p.

Alloway BJ. 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic & Professional. Londres. 370 p.

Banat KM, Howari F, Al-Hamad AA. 2005. Heavy Metals in Urban Soils of Central Jordan: Should we worry about Their Environmental Risks. Environmental Research, 97: 258-273.

Barceló J, Poschenrieder C. 2003. Phytoremediation: Principles and perspectives. Contributions to Science 2(3):333-344.

Brown SL, Chaney RL, Hallfrisch JG, Qi, X. 2003. Effect of Biosolids Processing On Lead Bioavailability in an Urban Soil. Environ Qual 32: 100-108.

Chen B, Christie P, Li L. 2001. A Modified Glass Bead Compartment Cultivation System for Studies on Nutrient and Trace Metal Uptake by Arbuscular Mycorrhiza. Chemosphere 42: 185-192.

Clemens S, Palmgren MG, Kramer U. 2002. A long way ahead: understanding and engineering plant metal accumulation. Trends in Plant Science 7(7): 309-314.

Csuros M, Csuros C. 2002. Environmental sampling and analysis for metals. Lewis Publisher. 372 p.

Díaz-Aguilar I, Larqué-Saavedra MU, Alcántar-González G, Vázquez-Alarcón A, González-Cossio FV, Carrillo-González R. 2001. Acumulaciones tóxicas de níquel en el crecimiento y la nutrición de trigo. Terra 19:199-209.

Dietz AC, Schnoor JL. 2001. Advances in phytoremediation. Environmental Health Perspectives. Vol 109. Supplement 1.

Ensley BD, Raskin I, Salt DE. 1998. Phytorremediation applications for removing heavy metal contamination from soil and water. In: Sayler, G.S., Sanseverino, J., Davis, K.L. (Eds). 1998. Biotechnology in the Sustainable Environment. Plenum Press, New York.

Garbuio FJ, Howard JL, Macedo dos Santos L. 2012. Impact of human activities on soil contamination. Applied and Environmental Soil Science 2012:1-2

García I, Dorronsoro C. 2005. Contaminación por Metales Pesados. En Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm

González TL. 2005. Metales pesados y sus especies químicas en sedimentos del Río Mololoa, Nayarit: determinación previa y posterior a una obra de dragado. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nayarit. Tepic, Nayarit, México

Grubor M. 2008. Lead uptake, tolerance, and accumulation exhibited by the plants Urtica dioica and Sedum spectabile in contaminated soil without additives. Archives of Biological Sciences 60(2):239-244

Han FX, Banin A, Kingery WL, Triplett GB, Zhou LX, Zheng S J, Ding WX. 2003. New Approach to Studies of Heavy Metal Redistribution in Soil. Advances in Environmental Research, 8:113-120

Hirata K, Tsuji N, Miymoto K. 2005. Biosynthetic regulation of phytochelatins, heavy metal-binding peptides. Journal of Bioscience and Bioengineering 100(6):593-599.

Khan AG, Kuek C, Chaudhry TM, Khoo CS, Hayes WJ. 2000 Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. Chemosphere 41: 197–207.

Khan AG. 2005. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology 18: 355–364

Martin CW. 2000. Heavy Metals Trends in Floodplain Sediments and Valley Fill. Catena 39: 53-68.

Martin TA, Ruby MV. 2004. Review of in situ remediation technologies for lead, zinc, and cadmium in soil.Remediation Journal 14(3): 35-53.

McEldowney S, Hardman DJ, Waite S. 1993. Treatments Technologies. *In*: McEldowney S, Hardman DJ, Waite S. (Eds.), Pollution Ecology and Biotreatment Technologies. Longman, Singapore Publishers, Singapore

McGrath SP, Zhao FJ. 2003. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. Current Opinion in Biotechnology 14, 277e282.

Navarro-Aviñó JP, Aguilar Alonso I, López-Moya JR. 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. Revista Ecosistemas 16 (2): 10-25.

Nies DH 1999. Microbial heavy-metal resistance. Applied Microbiology and Biotechnology 51: 730-750.

Organización de Naciones Unidas (ONU) Desarrollo sostenible. Recuperado de http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml en 23 de noviembre de 2011.

Pagnanelli F, Moscardini E, Giuliano V, Toro L. 2004. Sequential Extraction of Heavy Metals in River Sediments of an Abandoned Pyrite Mining Area: Pollution Detection and Affinity Series. Environmental Pollution, 132:189-201.

Pineda HR. 2004. Presencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares y Contribución de Glomus Intraradices en la Absorción y Translocación de Cinc y Cobre en Girasol (*Helianthus Annuus* L.) Crecido en un Suelo Contaminado con Residuos de Mina. Tesis para Obtener el Grado de Doctor en Ciencias Universidad de Colima. Tecoman, Colima.

Puschenreiter M, Stoger G, Lombi E, Horak O, Wenzel WW. 2001. Phytoextraction of heavy metal contaminated soil with *Thlaspi goesingense* and *Amaranthus hybridus:* Rhizosphere manipulation using EDTA and ammonium sulfate. J. Plant Nutr. Soil Sci 164: 615-621.

Reichman SM. 2002. The Responses of Plants to Metal Toxicity: A review focusing on Copper, Manganese and Zinc. Australian Minerals & Energy Environment Foundation. Melbourne, Australia.

Robinson BH, Lombi E, Zhao FJ, McGrath SP. 2003. Uptake and Distribution of Nickel and other Metals in the Hyperaccumulator Berkheya Coddii. New Phytologist 158: 279–285

Rodríguez-Ortíz JC, Valdéz-Cepeda RD, Lara-Mireles JL, Rodríguez-Fuentes H, Vázquez-Alvarado RE, Magallanes-Quintanar R, García-Hernández JL 2006. Soil nitrogen fertilization effects on phytoextraction of Cd and Pb by tobacco *(Nicotiana labacum* L.). Bioremediation Journal 10(3): 105-114.

Sauquillo A, Rigol A, Rauret G. 2003. Overview of the use of Leaching/Extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments. Trends in Analytical Chemistry, 22: 152-159.

Sauve S, Henderson W, Allen HE. 2000. Solid-Solution Partitioning of Metals in Contaminated Soils: Dependence on pH, Total Metal Burden, and Organic Matter. Environ. Sci. Technol. 34:1125–1131.

Sias S. 1998. Survey of northern chihuahuan desert plants for phytoremediation potential. Thesis. The University of Texas at El Paso.

Song HG, Wang X, Bartha R. 1990. Bioremediation Potential of Terrestrial Fuel Spills. Applied and Enviromental Microbiology. 56(3): 652-656.

Spain A. 2003. Implications of Microbial Heavy Metals Tolerance in the Environment. Reviews In Undergraduate Research, 2: 1-6.

Vara PMN, de Oliveira FHM. 2003. Metal hyperaccumulation in plants: Biodiversity prospecting for phytoremediation technology, Electronic Journal of Biotechnology 6 (3): 285– 321.

Volke ST, Velasco TJA, De La Rosa A. 2005. Suelos Contaminados por Metales y Metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. S y G Editores, S.A. de C.V., México, D.F.

Walecka-Hutchison C, Walworth J. 2006. Assessment of C:N ratios and water potential for nitrogen optimization in diesel bioremediation. Bioremediat. J. 10: 25-35.

Yadav, S. 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. South African Journal of Botany. 76: 167–179

Zhang Q, Davis LC, Erick L E. 2000. Heavy Metal. *In*: Hazardous Substance Res. 2 (4):1

COMPROMISO DE LA INDUSTRIA DEL EMPAQUE EN LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL

Rebeca Sandoval-Chávez[1♠], Sergio Sandoval-Padilla[1], Ángel Iván Becerra-Parra[1]

[1]Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Carr. El Vergel-La Torreña Km. 0820 Loc. El Vergel Gómez Palacio, Tel (871) 1922710.

[♠]Autor para correspondencia: rsandoval@upgop.edu.mx.

RESUMEN

El calentamiento global y los elevados índices de contaminación llevaron a la industria del envase a desarrollar iniciativas que contrarresten estos problemas. La idea es alcanzar la optimización de materiales, uso de energía, generación de desechos y reaprovechamiento de los mismos. En este capítulo se presentan las nuevas tendencias en el diseño y fabricación de empaques y embalajes, mismas que buscan: conjugar la función del envase (preservar y transportar la mercancía) para una mejor interacción entre el producto y el consumidor, ya sea para mejorar su presentación o para brindar un servicio adicional.

Palabras clave: contaminación, embalaje, empaque, envase, normatividad, sustentable.

INTRODUCCIÓN

Desde un principio el hombre ha tenido la necesidad de trasladar sus productos de un lugar a otro por lo que llevar a cabo este procedimiento de forma adecuada los condujo a utilizar pieles, cestos, jarras, entre otros; con la finalidad que su mercancía no sufriera daño alguno durante su traslado (Alfaro, 2010). Debido a esta actividad se han ido perfeccionando las técnicas de distribución mediante el uso de envases y embalajes adecuados a las diferentes necesidades. Los envases y embalajes son causa principal del crecimiento de la basura que a largo plazo significa mayor deterioro ambiental es por ello que el objetivo de la presente investigación es presentar el compromiso de la industria del empaque en la sustentabilidad ambiental.

¿Qué es Envase y Embalaje?

Envase existe desde tiempo atrás, tiene muchas funciones, un ejemplo sería la de proteger el producto, por eso en la antigüedad lo usaban para la conservación de los alimentos. Por su parte, el *Embalaje* sirve para acondicionar, presentar, transportar una mercancía (Cervantes,

2003). En años anteriores, usaban como embalajes telas y otros textiles para sacos, hasta que llego a reemplazarlos el papel, el material más extendido hasta nuestra época (Robles, 1996). A manera de complemento, se define envase al material que está en contacto directo con el producto, su función es facilitar el manejo y comercialización de la mercancía, protegerla, guardarla y conservarla. Y el embalaje como el contenedor o cobertura de varios envases, que brinda mayor protección y facilidad de manejo a las mercancías, para su almacenamiento y transporte, se conoce, además como "el envase del envase (Alfaro, 2010).

Optimización de recipientes de carga

El impacto del diseño y la selección de los recipientes a lo largo de toda la cadena de abastecimiento es una de las áreas que más se descuidan cuando se trata de aumentar la eficiencia logística. Frazelle (2007) indica que las empresas rara vez consideran los costos adicionales y las ineficiencias asociadas con tarimas mal etiquetadas, de tamaño incorrecto, débiles o con forma irregular, mucho menos el impacto de estos sobre el ambiente. Puesto que los recipientes y equipos de todo tipo (cartones, bultos, tarimas, camiones, contenedores oceánicos, vagones de ferrocarril o contenedores aéreos) representan los bloques de construcción de la cadena de abastecimiento, los costos de la ineficiencia se multiplican a lo largo de la cadena de abastecimiento (Frazelle, 2007).

Los recipientes deben poderse estibar y acomodar fácilmente; colapsarse cuando están vacíos; manejarse cómodamente; calzar juntos naturalmente con otros recipientes y facilitar los medios para darles seguimiento. Adicionalmente deben de ser *reutilizables y/o retornables* para reducir el impacto de la logística sobre el ambiente (Frazelle, 2007).

Algunos ejemplos de recipientes reutilizables y retornables son: tarimas plásticas, cajas plásticas, cajas plásticas colapsables, recipientes corrugados multiusos, tiras de cartón *(flat board).*Y para amortiguar y llenar espacios vacíos se tienen bolsas de aire reciclables y reutilizables. Algunos rellenos de poliestireno son reciclables. En todos los casos, los materiales para contener, amortiguar y llenar vacíos deben ser retornables o devueltos al proveedor y reutilizable para evitar impacto dañino al ambiente (Frazelle, 2007).

Normatividad

En la actualidad existen diversas normas oficiales que nos ayudan para la prevención de plagas, y aminorar el riesgo de daños a los particulares. Anteriormente en México, cuando aún no se conocían las normas, algunos exportadores presentaban confusión con diversos términos que tradicionalmente relacionamos, como: Envasar-líquidos, por ejemplo: vinos, refrescos. Empacar-sólidos, como pañuelos faciales, cereales (Castillo, Trejo & Muñoz, 2013). Para tratar de aclarar este problema, en 1982 se llegó a la conclusión de adherirse a la forma de hablar de España y de la mayoría de los países latinoamericanos tomando la determinación de suprimir la palabra empaque, la cual causaba confusión (Castillo, Trejo & Muñoz, 2013). La Revista Académica Observatorio de la Economía Latinoamericana,

(2013) cita los principales problemas que encuentran los empresarios Mexicanos para colocar sus productos en el extranjero es la poca cultura en materia de envase y de embalaje que existe en México (Castillo *et al.,* 2013).

Hoy en día, México cuenta con dos tipos de normas: la primera es la Norma Oficial Mexicana, esta se identifica bajo las siglas NOM, y son obligatorias para todos aquellos que comercializan productos, ya sean nacionales o extranjeros Secretaría de Salud (SSA) 1993. La segunda, las Normas Mexicanas, se identifican con las siglas NMX, y aunque no son obligatorias, son recomendables, porque generalmente están basadas en otras normas internacionales. En México existen 221 normas en materia de envases, identificadas en primera instancia, con la sigla de la norma NOM o NMX, posteriormente le siguen las letras EE que se refieren a los envases, después el número de norma de este sector y por último el año en que fue aprobada, o reformada. Por ejemplo la norma que especifica los requisitos para contener plaguicidas, la podemos encontrar con las siguientes siglas: NOM-EE-216-1981 (SSA, 1993).

Entre otras Normas Oficiales Mexicanas para los envases y embalajes, podemos mencionar como ejemplo la NOM-003-SCT/2008. Esta norma nos habla acerca de las características de las etiquetas de envases y embalajes, destinadas al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos. También están las que son de categoría para bultos, para especificaciones especiales y adicionales para los envases y embalajes, al igual las que detallan especificaciones para la construcción y reconstrucción entre otras (Pérez, 2012).

Las diferencias en la problemática del manejo de los desechos sólidos y las condiciones particulares de los diversos países hace necesario analizar en forma separada los aspectos generales de algunos de ellos, para poder enmarcar adecuadamente los correspondientes planteamientos legislativos sobre la protección del medio ambiente y sus efectos sobre la industria del empaque (INECC, 2007).

Por otra parte, el INECC (2007) recalca que "existe muy poca legislación, respecto a los países en desarrollo y México no es la excepción, por lo cual y en vista del Tratado de Libre Comercio entre los tres países de América del Norte, se ha dado mayor énfasis a la normatividad ambiental de Estados Unidos y Canadá, además por marcar pautas a seguir y por ser un mercado importante para los productos de exportación mexicanos".

Nuevas tendencias

De acuerdo a lo que expreso el Sr. José Martínez, director para América Latina de la Asociación de fabricantes de envases y maquinaria para la industria del envase y embalaje (PMMI, por sus siglas en inglés): "Las grandes organizaciones presentan nuevas tendencias para disminuir el impacto ecológico de los empaques, desde hace un par de años algunas empresas buscan alternativas que van desde reducir la cantidad de materiales requeridos para su elaboración, hasta el reciclaje, la reutilización o el uso de materiales *"bio*" (APMMI, 2014).

De acuerdo con la Asociación Mexicana de Envase y Embalaje AMEE (2014), en la actualidad se puede hablar de tres factores que determinan la tendencia en los empaques:

- *Sustentabilidad.* Las empresas buscan reducir el impacto ambiental de los empaques con un menor consumo energético, desde la producción de la materia prima hasta la disposición final del envase. Esto no es sólo con un fin ambiental, sino también como un elemento crítico de competitividad, pues el objetivo es que haya un balance entre eficiencia, funcionalidad y costo
- *Mercadotecnia.* El envase es un elemento fundamental en la experiencia que el consumidor tiene con el producto desde su elección en el punto de venta, compra, transporte y almacenamiento, hasta su disposición final. Por tal motivo, el éxito o fracaso de un producto también depende de la imagen que presente y el confort que el diseño ofrezca
- *Conveniencia.* Los cambios en los estilos de vida, la nueva geografía, el aumento de la población urbana, la composición de las familias, los cambios en los ámbitos laborales y la conciencia que se ha tomado respecto a la salud ha afectado las características de los productos y, por ende, de los empaques.

¿Pero que es un empaque sustentable?

Arturo Dávila Villarreal, representante de la asociación civil "Sustenta Compromiso Empresarial para el Manejo Integral de los Residuos Sólidos", comenta que los envases sustentables son aquéllos que tienen por finalidad optimizar recursos y minimizar los desechos en el ciclo de vida de los productos. Por su parte, Guillermo J. Román, investigador del Instituto Politécnico Nacional (IPN), considera que para que un empaque sea sustentable debe trabajarse con eco diseño. Este concepto permite seleccionar materiales con bajo impacto, reducir su cantidad y optimizar procesos y sistemas de distribución. Mientras que, José Martínez, director de la Oficina para Latinoamérica de Packaging Machinery Manufacturers Institute (PMMI), señala que existe una tendencia clara a criticar el envase, en el sentido de considerar si es o no basura, ya que los desacuerdos en lo que respecta a este tema son constantes. Por lo anterior, una de las principales tendencias en la evolución de la industria del empaque tiene que ver con el desarrollo de materiales biodegradables, debido, además de los factores de protección al ambiente, al incremento y variabilidad de los costos del petróleo y a la reducción de las reservas probadas de este recurso (Rodríguez, 2012b).

A continuación se describen algunos ejemplos de cómo las empresas hacen de sus empaques un artículo sustentable a fin de reducir su *huella ambiental*, bajar costos y de paso atraer a los consumidores.

- Puma transformó las tradicionales cajas de zapatos en un novedoso empaque: una bolsa de tela, reusable, que protege el calzado y que genera menos desechos y emisiones de CO_2 en comparación con los embalajes tradicionales. El envase cumple una doble función, por un lado sirve para proteger, preservar y transportar la mercancía; por otro lado es la imagen del producto, donde se encuentran los elementos (marca, símbolos, imágenes, colores, texturas, formas) que determinarán su compra (Envapack, 2014).
- Coca Cola utiliza material *reciclado* para fabricar los envases de algunas presentaciones. Actualmente algunas de las botellas de Coca Cola en México incluyen hasta un 50 % de PET reciclado. Gracias a

esto, en 2010, la compañía ahorró 27 % de la energía en procesos y dejó de emitir 18.8 millones de toneladas de CO_2, dijo Gabriela Hernández, gerente de empaque sustentable de la compañía (Envapack, 2014).

- Coca Cola lanzó la *Plant Bottle*, una botella que se fabrica con 30 % de bioetanol y que utiliza para las presentaciones de 600 y 400 ml, que se distribuyen en Distrito Federal, Monterrey y Guadalajara, México (Envapack, 2014).
- Bimbo utiliza la tecnología *d2w* para fabricar las bolsas de plástico de algunos productos. Se trata de un aditivo desarrollado por la compañía inglesa *Symphony Environmental*, que se le agrega a la resina para que esta bolsa se biodegrade en un tiempo determinado por el fabricante (Envapack, 2014).
- La empresas Natura (2014), por ejemplo, utilizan empaques rellenables en sus productos. (En el mercado hay plásticos de especialidad más resistentes que los convencionales ideales para la fabricación de envases rellenables).

Nuevos materiales

El uso de algas marinas y almidón, junto al papel y cartón, para obtener un material consistente y que permita su uso en contacto con alimentos, especialmente aquellos con mayor contenido en grasas como embutidos, quesos o alimentos precocinados. Estos envases podrían recubrir los alimentos y serían 100 % sostenibles y respetuosos con el ambiente (Rodríguez, 2012a).

El *tritan*, es una línea de plásticos tipo copoliester, resistente a golpes y a cambios bruscos de temperatura. Esta cualidad permite utilizar menos material en la fabricación de los envases sin afectar su durabilidad. Este nuevo material no contiene Bisfenol-A **(o BPA), *lo que lo hace*** ideal para la industria de alimentos, electrodomésticos, farmacéutica y de cuidado personal. El BPA es un ***compuesto utilizado para la fabricación de algunos plásticos; no obstante, regulaciones internacionales han prohibido su uso en empaques de grado alimenticio o farmacéutico por considerársele cancerígeno*** (Rodríguez, 2011). Por otro lado, la Eastman Company (2014) ha destacado la llegada de materiales especializados que resisten cada vez más altas temperaturas o impactos al sector automotriz.

Empaques para alimentos

La tendencia hacia una alimentación más saludable no solo ha impactado en la formulación de los alimentos, sino también en sus empaques. El desarrollo de los mismos debe garantizar no sólo la protección del producto frente al ambiente, sino aspectos de inocuidad y seguridad alimentaria, brindar información al consumidor acerca de la composición del alimento, de la marca o la forma de consumo, así como poseer un diseño atractivo que haga la diferencia.

Los diseños de los empaques cada vez son más coloridos. Portan imágenes de la naturaleza, bosques, ríos, frutas, flores, etcétera, así como leyendas en donde se acentúan las características y virtudes de los productos tales como "rico en antioxidantes y fitoquímicos

que pueden influir en la prevención y desarrollo de daño en las arterias", "*libre de grasas trans*", "adicionado con omega 3'", "sin calorías y carbohidratos" o " bajo en colesterol". Para garantizar que los fabricantes no abusen de estas leyendas, en las modificaciones que se hicieron a la NOM-051(Especificaciones generales de etiquetado de alimentos y bebidas no alcohólicas pre envasados-Información comercial y sanitaria) la Secretaría de Economía 2010 (SE) establece que no se pueden hacer aseveraciones que no se puedan probar. Por ejemplo, no se deben poner leyendas que realcen cualidades del producto que éste tiene por sí mismo, como "agua sin grasa", ya que el agua no la contiene de manera natural o margarina "sin colesterol" ya que ésta no lo tiene.

Desechar un empaque tiene un impacto ecológico alto, por lo que se busca alargar su ciclo de vida. En México, sólo 5% de los envases y empaques que tienen aplicación comercial son "ecológicos", mientras que en Estados Unidos (EU) ya representan 10 % y en Europa alrededor de 20 % (Rodríguez, 2011). La ANIPAC (2011) estima que ***80 % del impacto ambiental que ocasiona la industria del plástico se genera durante la extracción*** y la producción de la materia prima (polímeros), mientras que la producción y transportación del producto terminado representa 20 % restante**.**

Empaques para productos frescos

¿Dejarlos en su empaque natural (empaque diseñado por la naturaleza para proteger a los alimentos)?, ¿O empacarlos?

De acuerdo al estudio realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO 2012), en el Congreso internacional "SAVE FOOD, 2011" en Dosseldorf, Alemania denominado "Pérdida y Desperdicio de Alimentos en el mundo" se destaca que las pérdidas que se producen a lo largo de toda la cadena alimentaria, evalúa su trascendencia y establece sus causas así como las posibles maneras de prevenirlas. Los resultados del estudio sugieren que alrededor de un tercio de la producción de los alimentos destinados al consumo humano se pierde o desperdicia en todo el mundo, lo que equivale a aproximadamente 1 300 millones de toneladas al año. Al señalar las causas de las pérdidas denota que en los países de ingresos bajos, estas pérdidas están principalmente relacionadas con las limitaciones económicas, técnicas y de envasado y los sistemas de comercialización (FAO, 2012).

La FAO (1987) nos dice que hasta 30 % de los productos frescos sufren daños durante el traslado y otro tanto se maltrata en punto de venta. Empacar las frutas, verduras y carnes puede ser una solución para reducir las mermas entre otros beneficios que reporta este empaque están la protección del producto, facilidades en la manipulación. El Manual para el mejoramiento del manejo post-cosecha de frutas y hortalizas elaborado por la FAO señala que uniformizar el número de unidades del producto por envase permite estandarizar cantidades y precios.

La presidencia de la Asociación Nacional de Industrias del Plástico ANIPAC "expresa que el costo de empacar productos frescos es menor a las pérdidas por daños" (Rodríguez, 2012a).

Otro factor que hay que considerar es el hecho de que los países desarrollados al importar hortalizas o carnes requieren que vengan empacadas y etiquetadas.

Con relación a lo más innovador, LC Packaging lanza el NGP - Paquete de Nueva Generación. El NGP es un paquete innovador de un material que cumple todos los requisitos del mercado global, es extremadamente económico, ecológico, 100 % reciclable y muy funcional en todos los aspectos técnicos (sin ganchos de metal, con fuerte impacto visual, con excelente ventilación, una alta visibilidad del interior, con amplio espacio para la impresión de la fecha y código de barras, la capacidad de llevar varios tipos de canastillas, incluso de muy bajo peso, sin comprometer la funcionalidad). Este empaque se compone de una canastilla envuelta en una red tubular extruida y dos bandas, una colocada en la parte superior y la otra en la parte inferior de la canastilla. La banda superior puede ser transparente para destacar el contenido o impresa con imágenes con el fin de realzar mejor la marca del producto o logotipo, o también funciona como una manija segura y cómoda. NGP ha podido combinas Economía y Ecología utilizando el principio de que menos materia prima significa un menor costo de producción, eliminación y reducción del impacto medioambiental (Fresh Plaza, 2012).

CONCLUSIONES

La carga residual contaminante producto del empaque y envase de mercancías representa un problema para el ambiente y el futuro del planeta. Se sabe que es indispensable la protección total de los productos para conservar su calidad e impactar visualmente al consumidor, sin embargo, esto contribuye negativamente al momento de ser desechados.

La conciencia de la sustentabilidad y la preservación de nuestro entorno pensando en las nuevas generaciones deben ser introducidas en todo proceso logístico. El diseño y uso de materiales reciclables y biodegradables para empaque y etiquetado permitirá no solamente reducir la contaminación, sino los costos de fabricación, manejo y traslado.

Es responsabilidad expresa de los grandes organismos reguladores y de normalización a nivel internacional en ésta materia fomentar la utilización de nuevas alternativas eco-amigables para frenar paulatinamente el deterioro ocasionado por los empaques contaminantes y contribuir a la sustentabilidad de nuestro mundo.

LITERATURA CITADA

Alfaro A. 2010. Historia, tecnología y ecología. Edición de Designio, México, D.F.

Bollore H. 2001. Logística: Administración de la Cadena de Suministro. 5 ed. de Pearson Educación, México, D .F.

Castro L. 2008. Tendencias en Empaque y embalajes. Revista Énfasis Packaging [En Línea], Asociación Mexicana de Envases y Embalajes, disponible en: http://www.amee.org.mx [Accesado el 19 de Mayo de 2014].

Castillo Z., A. Trejo GC. y Muñoz BV. 2013. Envase y Embalaje a través de la historia. Revista Observatorio de Economía Latinoamericana [En línea] No.185.2013, disponible en: http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/2013/embalaje.html. [Accesado el 14 de Mayo 2014].

Cervantes F. 2003. Envase y embalaje: la venta silencios*a*. Edición de Esic, México, D.F.

Eastman Company. 2014. Acerca de Eastman Chemical. [En línea] disponible en: http://www.mx.eastman.com/Pages/Home.aspx. [Accesado el día 25 de Mayo 2014].

EnvaPack. 2014. Estudian el uso de algas marinas para envases de productos alimentarios. Revista Online del Envase, Empaque y Embalaje [En línea] No 558.Abril 2014, disponible en: http://www.envapack.com/estudian-el-uso-de-algas-marinas-para-envases-de-productos-alimentarios/. [Accesado el 3 Junio 2014]

Frazelle E. 2007. Logística de almacenamiento y manejo de materiales de clase mundial. Edición de Norma, Bogotá, Colombia.

Instituto Nacional de Ecología. 2007. Marco Normativo sobre Medio Ambiente y Envases. [En línea] disponible en: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/22/marco.html.[Accesado 18 de Abril 2014]

Natura, bien estar bien. 2014. Sustentabilidad. [En línea] disponible en: http://www.natura.com.mx/node/1545/. [Accesado 22 de Mayo 2014]

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 1987. Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas. *In*: Depósito de documentos de la FAO [En línea] disponible en: http://www.fao.org/docrep/x5055s/x5055s00.HTM. [Accesado el 01 de Junio de 2014]

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2012. Pérdidas y desperdicios de alimentos en el mundo. [En línea] disponible en: http://www.fao.org/docrep/016/i2697s/i2697s.pdf [Accesado el 01 de Junio 2014.

Packaging lanza NGP. 2012. Empaque para cestas de malla tubular extruido y bandas. *In*: Paquete de Nueva Generación [En línea] disponible en: http://www.freshplaza.es/article/61388/Reino-Unido-LC-Packaging-lanza-NGP-Paquete-de-Nueva-Generaci%C3%B3n. [Accesado 30 de Mayo 2014]

Pérez C. 2012. Empaques y Embalajes. Edición de Red Tercer Milenio S. Estado de México.

Robles MM. 1996. Diseño Gráfico De Envases. Guía Y Metodología. Edición de Universidad Iberoamericana. México, D.F.

Rodríguez I. 2012a. Empaquetar productos reduce pérdidas. Revista Manufactura en Información Estratégica para la Industria. [En línea] disponible en: http://www.manufactura.mx/industria/2012/03/22/empacar-productos-reduce-perdidas. [Accesado el 01 de Junio 2014]

Rodríguez I. 2012b. Envases longevos atraen a fabricantes. Revista Manufactura en la Información Estratégica para la Industria. [En línea] disponible en http://www.manufactura.mx/industria/2011/10/06/envases-longevos-atraen-a-fabricantes [Accesado el 26 de Mayo 2014]

Rodríguez I. 2012. Opciones para empaques sustentables. Revista Manufactura: Información Estratégica para la Industria. [En línea] disponible en: http://www.manufactura.mx/industria/2012/06/05/opciones-para-empaques-sustentables. [Accesado el 22 de Mayo 2014].

Secretaría de Economía. 2010. Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados-Información comercial y sanitaria. NOM-051-SCFI/SSA1-2010. Publicado en Diario Oficial de la Federación. México, D.F.

Secretaría de Salud. 1993.Envase y Embalaje, requisitos para contener plaguicidas. NOM-044-SSA1-1993.Publicado en Diario Oficial de la Federación. México, D.F.

The Association for Packaging and Processing Technologies. 2014. Nosotros. [En línea] disponible en: http://www.pmmi.org.mx/es/nosotros.[Accesado 18 de Mayo 2014].

Reuniones de trabajo de los Integrantes de la Red Académica de Innovación en Alimentos y Agricultura Sustentable (RAIAAS).

UJED

UNIVERSIDAD JUÁREZ
DEL ESTADO DE DURANGO

editorialujed@ujed.mx

Los elementos esenciales de preocupación como el cambio climático mundial, la explosión demográfica, el creciente consumo de energía, la carencia o desigual acceso al agua, la generación y el manejo de residuos, desechos contaminantes y otros no menos importantes dependiendo de la región, han motivado a investigadores y personas interesadas a realizar acciones que mitiguen el desequilibrio en ese desarrollo. Una importante contribución, es el aporte de información vigente, pertinente y actual a la que puedan tener acceso aquellos preocupados por el tema.

Esta nueva obra, continuación de los dos volúmenes anteriores "Tópicos selectos de sustentabilidad: un reto permanente Volumen III", dará continuidad a la aportación de ese conocimiento para aquellas entidades preocupadas por el crecimiento sostenible para las siguientes generaciones.