1.6 cm lomo

Agricultura y contaminación del agua trata un tema cuya importancia contrasta con su escaso estudio. Los efectos negativos de las actividades agrícolas en la calidad del agua han recibido mucha atención en otros países y muy poca en el nuestro.

En México, 76% del agua se emplea en la agricultura y el conocimiento de su huella contaminante es escaso. Este libro es resultado de una investigación multidisciplinaria que muestra a la agricultura poco amigable con el agua; que los agricultores tienen una percepción sesgada de su actividad y no reconocen sus efectos en el ambiente; que el gobierno interviene con políticas erróneas estimulando el uso de insumos contaminantes, y que un grupo importante de agricultores realiza prácticas agrícolas poco sustentables.

Ante tal panorama, el libro aporta información sobre este problema en una importante región agrícola; propone algunas medidas e instrumentos para minimizarlo; cubre un vacío en la investigación y la información y espera que motive estudios similares en otras regiones del país.

Rosario Pérez Espejo es doctora en Ciencias de la Producción y Salud Animal por la Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia de la UNAM. Tiene nivel II en el Sistema Nacional de Investigadores. Trabaja en el IIEc adscrita a la Unidad de Investigación Economía y Medio Ambiente. Sus líneas de investigación son: economía agrícola-ganadería-medio ambiente-políticas públicas. Entre sus proyectos de investigación se encuentran: Políticas agroambientales y contaminación del agua, Gestión del metano en la ganadería, y Seguridad hídrica y alimentaria en México.

Alonso Aguilar Ibarra es doctor en Ciencias Agronómicas por el Instituto Politécnico Nacional de Toulouse, Francia. Es investigador en el IIEc y forma parte del SNI nivel I. Se encuentra adscrito a la Unidad de Investigación Economía y Medio Ambiente. Su línea de investigación es la gestión y economía de los recursos naturales. Entre sus proyectos de investigación se encuentran: Análisis de los valores de uso y no uso de la calidad del agua en México y Valor de los indicadores ecológicos de la calidad del ecosistema acuático: el enfoque de la economía experimental.

ISBN: 978-607-02-3550-4

Diseño gráfico y fotografía: Victoria Jiménez

Rosario Pérez Espejo / Alonso Aguilar Ibarra

Agricultura y contaminación del agua

Agricultura y contaminación del agua

Rosario Pérez Espejo
coordinadora
Alonso Aguilar Ibarra
corresponsable del proyecto

Agricultura y contaminación del agua

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
José Narro Robles
Rector
Eduardo Bárzana García
Secretario General
Enrique del Val Blanco
Secretario Administrativo
Estela Morales Campos
Coordinadora de Humanidades

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS
Verónica Villarespe Reyes
Directora
Gustavo López Pardo
Secretario Académico
Aristeo Tovías García
Secretario Técnico
Roberto Guerra M.
Jefe del Departamento de Ediciones

AGRICULTURA
Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Rosario H. Pérez Espejo
Coordinadora
Alonso Aguilar Ibarra
Corresponsable del proyecto

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS

Esta investigación, arbitrada por pares académicos,
se privilegia con el aval de la institución editora.

Agricultura y contaminación del agua / coordinadora Rosario H. Pérez Espejo; corresponsable del proyecto Alonso Aguilar Ibarra.– Primera edición. -- UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas, 2012.
288 páginas : gráficas, mapas ; 21 cm. + 1 CD-ROM (12 cm.)

Incluye bibliografías
ISBN 978-607-02-3550-4
1. Contaminación agrícola – México. 2. Agua – Contaminación – México. 3. Agricultura – Aspectos ambientales – México. I. Pérez Espejo, Rosario. II. Aguilar Ibarra, Alonso. III. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Económicas.

363.7310972-scdd21 Biblioteca Nacional de México

Primera edición, 8 de septiembre de 2012

D.R. © Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria, Coyoacán,
04510, México, D.F.

Instituto de Investigaciones Económicas
Circuito Mario de la Cueva s/n
Ciudad de la Investigación en Humanidades
04510, México, D.F.

ISBN: 978-607-02-3550-4

Diseño y fotografía de portada: Victoria Jiménez
Cuidado de la edición: Hélida De Sales Y.

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin
la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Impreso y hecho en México/*Printed in Mexico*

Agradecimientos

Investigación realizada con el apoyo del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT Proyecto núm. 305107) de la UNAM y de la Red Temática del Agua del Conacyt. Agradecemos el apoyo en el desarrollo de esta investigación a las instituciones y personas que se mencionan a continuación.

Comisión Nacional del Agua, Enrique Mejía Maravilla (gerente de Calidad del Agua).

Comisión Nacional del Agua de Guanajuato, Vertario Trejo (jefe de Operación del DR011) y Timoteo Mexicano (jefe de unidad).

Comisión Estatal del Agua de Guanajuato, Ma. Concepción Gutiérrez (directora general de Planeación), Angélica Casillas Martínez (secretaria ejecutiva), Verónica Fuentes (jefa del Departamento de Calidad del Agua) y Rocío Peralta (técnica del Departamento de Calidad del Agua).

Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Guanajuato, Miguel Solís (subsecretario de riego), Buenaventura Calderón (director de Infraestrcutura Hidroagrícola), Gustavo Magaña (director para la Eficiencia del Agua de Uso Agrícola), Raúl Trujillo Moreno (director general de Proyectos Emergentes), Roberto Chávez (Departamento de Pesca), Roberto Ortiz (jefe del Departamento de Acuacultura) y Valentín Duarte (Dirección General de Agricultura) y Martha Flores Cervantes (Comisión Nacional de Zonas Áridas).

Delegación de la Sagarpa en Guanajuato, Valentín Vázquez (Fomento Agrícola), Juan Carlos Delgado (supervisor de Campañas, Sanidad Vegetal) y Cecilio Gutiérrez (Programa de Uso Sustentable para la Producción Primaria).

Instituto de Ecología de Guanajuato, Enrique Kato Miranda (director general) y Juan Ángel Mejía (director de Residuos e Impacto Ambiental).

Procuraduría de Protección del Ambiente de Guanajuato, Miguel Ángel Torrijos Mendoza (titular) e Ignacio Emiliano Galván Corona (director de Verificación Normativa).

Centro de Desarrollo Tecnológico de Villadiego, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), Leobardo Contreras Alvarado.

Comité Estatal de Sanidad Vegetal, Francisco García.

Sociedad de Responsabilidad Limitada SRL del DR011, Raymundo Rocha Sánchez (gerente) y Jesús Ramírez (Área de Innovación y Desarrollo de Tecnología).

Módulo de Riego de Acámbaro, Javier Alcántara (presidente), Miguel Mandujano (secretario) y Jorge Silva (encargado de estadística).

Módulo de Riego de Cortazar, Eugenio García (presidente), Ramiro Medina (gerente), Norberto Contreras (jefe de canaleros), Esteban Valenzuela (encargado de estadística), Basileo Cuevas y J. Isabel Valenzuela (canaleros), Leticia Pérez y Guadalupe Zermeño (secretarias).

Módulo de Riego de Huanímaro, Jorge Aguirre (presidente) y Felipe Rangel (gerente).

Módulo de Riego de Jaral del Progreso, Antonio Gerardo Arriaga (gerente).

Módulo de Riego de Salamanca, Héctor Ortega Razo (presidente), Raúl Zamora (gerente operativo) y Lucía Castillo (secretaria).

Módulo de Riego de Salvatierra, Rigoberto Paredes (presidente), Nancy Gallegos y Jesús Martínez (encargados de estadística) y Juan José Ponce (representante de la Conagua en este módulo).

Módulo de Riego de Valle de Santiago, Vicente Castorena (jefe de operación), José Baltazar (jefe de canaleros).

Asociación de Agricultura Sostenible Basada en Siembra Directa A.C., Hugo Escoto (gerente).

Universidad Nacional Autónoma de México, Juana Kuri Labarthe (exsubdirectora de Desarrollo Académico, DGAPA), Nadia Durán Rivera (becaria de la Red Temática del Agua del Conacyt), Thalia Hernández Amezcua (pasante de la maestría de Economía de la UNAM), Boris Marañón (Instituto de Investigaciones Económicas).

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Sergio Vargas.

Colaboradoras: Marisela Bernal González, Consuelo González Rodríguez y Anne Hansen Hansen

Colaboradores con beca: Nadia Durán Rivera, Alethya Jara Durán, Andrea Santos Baca, Aime Uranga Alvarado y Jaime Zavala Vicario

Índice

Introducción 15

PARTE I
LA CONTAMINACIÓN AGRÍCOLA DEL AGUA
Y EL ESPACIO DE ESTUDIO

CAPÍTULO 1
La contaminación agrícola del agua:
aspectos generales y teoría 23
Rosario H. Pérez Espejo

CAPÍTULO 2
El DR011, Alto Río Lerma, Guanajuato 45
Rosario H. Pérez Espejo

CAPÍTULO 3
Vulnerabilidad del agua y análisis
de información sobre uso de atrazina 57
Anne M. Hansen y *Luis Carlos González-Márquez*

CAPÍTULO 4
Contaminación del agua por plaguicidas 79
Marisela Bernal González

PARTE II
PERCEPCIÓN Y POLÍTICAS AGROAMBIENTALES
EN EL DR011

CAPÍTULO 5
Percepción de los productores agrícolas sobre
la calidad y gestión del agua 109
Alonso Aguilar Ibarra

CAPÍTULO 6
Programas, normas y calidad del agua
en Guanajuato 127
Rosario Pérez Espejo y *Consuelo González Rodríguez*

PARTE III
PRÁCTICAS AGRÍCOLAS Y CONTAMINACIÓN
DEL AGUA

CAPÍTULO 7
Uso del agua en la agricultura 151
Andrea Santos Baca

CAPÍTULO 8
Contaminación por plaguicidas 173
Marisela Bernal González, Alethya Jara Durán,
Andrea Santos Baca y Jaime Zavala Vicario

CAPÍTULO 9
Los fertilizantes y sus efectos ambientales 207
K. Alethya Jara Durán

CAPÍTULO 10
Sustentabilidad de las prácticas agrícolas 233
Consuelo González Rodríguez

PARTE IV
PROPUESTAS Y CONCLUSIONES

CAPÍTULO 11
Propuestas de política agroambiental 255
Rosario Pérez Espejo, Andrea Santos Baca y *Alonso Aguilar Ibarra*

Conclusiones 275

Siglas y Acrónimos 279

Anexo 1. Metodología del capítulo 2 285
Anexo 2. Estadísticas 307
Anexo 3. Marco legal y normativo de los programas agroambientales en Guanajuato 321
Anexo 4. Metodología del apartado referente al uso de fertilizantes en México (capítulo 8) sobre insecticidas Razones de uso 325
Anexo 5. Modelo de regresión lineal rendimiento-insumos para el DR011 331
Anexo 6. Metodología del capítulo 4 sobre contaminación del agua por plaguicidas 341
Anexo 7. Marco normativo sobre los plaguicidas (Antecedentes, cap. 8) 357
Anexo 8. Cuestionario aplicado 371

Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo realizar una aportación al conocimiento del problema de contaminación difusa agrícola del agua, analizando la percepción de los agricultores, las políticas agroambientales (programas y normas), las prácticas agrícolas y su efecto en la calidad del agua.

El uso del agua en la agricultura es un tema que ha sido estudiado desde diferentes perspectivas, especialmente en relación con la gestión del recurso, la organización social en torno a este, los conflictos que de su uso se derivan, los procesos hidrofísicos que surgen de la relación agua y agricultura, y las políticas de asignación. Sin embargo, poco se han estudiado los efectos contaminantes en suelo, agua y aire de los procesos de producción de alimentos, fibras, forrajes y recientemente, biocombustibles.

Es claro que las prácticas agrícolas que contaminan el agua de manera directa también deterioran el suelo y el aire, pero este trabajo se centra únicamente en el recurso del agua. Estas formas directas de contaminación provienen del uso de fertilizantes y plaguicidas en la producción agrícola. Estos se transportan en el agua de riego y por las lluvias torrenciales, contaminando los cuerpos de agua superficiales por escorrentía, filtración y deposición atmosférica y subterráneos por lixiviación.

Aun aquellas prácticas agrícolas realizadas de manera razonable, conforme a recomendaciones científicas, tienen

un impacto en la calidad del agua. Pero las prácticas que conllevan un sobreúso o un uso inadecuado de estos insumos, responden a varios factores, entre ellos, a políticas que subsidian su precio, a las percepciones sesgadas de los agricultores acerca de los efectos de su actividad en el ambiente, a los bajos niveles de educación y capacitación de los productores, y a una falta de políticas orientadas a resolver el problema específico de contaminación del agua en la agricultura.

El presente trabajo pretende aportar soluciones a la contaminación agrícola del agua al analizar las políticas agroambientales (programas y normas), las prácticas agrícolas y el peligro que representan en la calidad del agua, proponiendo recomendaciones que lleven a los usuarios a modificar sus prácticas.

Para ello, se plantearon varias interrogantes: ¿Qué percepción tienen los usuarios de la contaminación del agua? ¿Hay evidencia de la presencia de agroquímicos en los cuerpos de agua? ¿Existen políticas, federales y locales para mitigar este problema? ¿Cuáles son las prácticas agrícolas específicas que contaminan el agua y quiénes las generan? ¿Qué propuestas son viables para minimizar este problema?

Para responder estas preguntas se llevó a cabo una investigación en el DR011 en el Alto Río Lerma, en la cuenca del río Lerma, Guanajuato, ya que sus características son idóneas en la relación agua-agricultura: se trata de una importante región agrícola, agroexportadora, que se localiza en una cuenca altamente contaminada donde, además, se da una fuerte competencia por el recurso. La investigación realizada en este estudio de caso puede replicarse en otros distritos de riego con características similares.

Durante el segundo semestre de 2008, con el apoyo de las autoridades de siete de los 11 módulos del Distrito de Riego 011 (DR011), se levantó una encuesta a 145 usuarios y se realizaron entrevistas a funcionarios de diversas dependencias del gobierno estatal y federal, con atribuciones en el sector agrícola y ambiental. La encuesta abarcó a

productores de cereales y hortalizas, pero en este trabajo solo se presentan los resultados de los cuatro cultivos más importantes del DR011: maíz, sorgo, trigo y cebada, que representan 90% de la superficie sembrada, por lo que su análisis es relevante y representativo de la agricultura de todo el Distrito. Las prácticas agrícolas que contaminan el agua abarcan el uso de numerosos agroquímicos; en este trabajo solo se analizan dos tipos de plaguicidas: insecticidas y herbicidas, y fertilizantes químicos, que son los insumos de mayor empleo en el DR011. También se hace referencia de manera breve al empleo de semillas, por el hecho de que parte de estas ya tienen inoculado un insecticida para integrarlas a las funciones de producción diseñadas.

El trabajo está organizado en cuatro partes. La parte I "La contaminación agrícola del agua y el espacio de estudio" contiene cuatro capítulos; el primero se refiere, de manera general, a los problemas de contaminación del agua en México, las peculiaridades de las descargas agrícolas difusas y los problemas teóricos que enfrenta el diseño de políticas públicas en este renglón. Este capítulo tiene como objetivo responder a la pregunta de por qué es tan difícil contar con instrumentos de política ambiental que mitiguen la contaminación agrícola difusa. En el segundo capítulo se aporta información que justifica la selección del DR011 como espacio de estudio y se describen, de manera sucinta, sus características principales; se explica, también de manera somera, en qué consistió la investigación, cómo y por qué fueron seleccionados siete módulos del distrito, los cultivos analizados, la muestra levantada y la segmentación de los agricultores, remitiendo a los anexos metodológicos y estadísticos los detalles de la investigación. Completan esta percepción del espacio de estudio dos trabajos, el tercer capítulo versa sobre la vulnerabilidad del agua y el análisis de información sobre uso de atrazina en el DR011 realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y coordinado por la doctora Anne Hansen. El cuarto capítulo, es resultado de las muestras de agua

tomadas en drenes y canales del DR011 durante el trabajo de campo y fue elaborado por la doctora Marisela Bernal, de la Facultad de Química de la UNAM.

La segunda parte, "Percepción y políticas agroambientales en el DR011", se refiere a las causas indirectas de la contaminación del agua por la agricultura; el capítulo 5 muestra la deficiente percepción que tienen los agricultores del problema ambiental, así como su escaso nivel de educación y capacitación en este sentido, lo que les impide realizar prácticas agrícolas sustentables y mina la posibilidad de aplicar políticas agroambientales dirigidas a mejorar la calidad del agua. El capítulo 6 analiza las políticas públicas relativas al agua de riego agrícola y a los programas agrícolas y normas vigentes en el estado de Guanajuato que tienen efecto en las prácticas de contaminación del agua.

La parte III "Prácticas agrícolas y contaminación del agua", aborda las causas directas de la contaminación agrícola del agua en cuatro capítulos. El capítulo 7 se refiere a las características del riego en el DR011, destacando la importancia del agua subterránea en este distrito y los problemas de sobreúso del recurso. En el capítulo 8 se analiza el uso de plaguicidas (insecticidas y herbicidas); se brinda el marco de referencia que regula a los plaguicidas tanto a nivel internacional como en nuestro país, y se describe el uso de insecticidas y herbicidas en el DR011. El capítulo 9 se refiere al uso de los fertilizantes, el otro elemento contaminador del agua, y en el capítulo 10 se contrastan estas prácticas agrícolas poco sustentables de uso de agua, plaguicidas y fertilizantes, con aquellas que hacen un uso más racional de los insumos y dañan menos el ambiente.

Por último, en la parte IV del libro, "Propuestas y conclusiones", se recuperan dos propuestas ya existentes de política agroambiental elaboradas por el Instituto Nacional de Ecología y se mencionan los resultados de una investigación sobre los efectos de una disminución del agua de riego –por efectos de política o a causa de la contaminación– en variables agregadas. Se plantean algunas medidas derivadas

de los resultados de esta investigación, que pudieran ponerse en marcha en el DR011 con el objeto de modificar algunas prácticas agrícolas y mejorar la calidad del agua, y se evalúa el efecto de implementar un impuesto al paratión metílico para reducir su uso.

Este trabajo concluye, por un lado, que prácticamente no existen políticas públicas aplicadas a mitigar la contaminación agrícola del agua, y que, por tanto, es necesario diseñar políticas agroambientales con objetivos e incentivos claros. Por otro lado, se demuestra que es razonable, desde el punto de vista económico, modificar algunas prácticas agrícolas, sobre todo en ciertos grupos específicos de agricultores; y que existe, tanto a nivel de Distrito de Riego como en los módulos, la organización necesaria para impulsar estos cambios; que se cuenta la normatividad mínima para orientarlos, y que las acciones para mitigar los efectos de la producción en los cuerpos de agua, agravados por los fenómenos asociados con el cambio climático no pueden esperar más.

PARTE I

LA CONTAMINACIÓN AGRÍCOLA DEL AGUA Y EL ESPACIO DE ESTUDIO

La contaminación agrícola del agua: aspectos generales y teoría

*Rosario H. Pérez Espejo**

El objetivo del capítulo es mostrar la importancia de la contaminación del agua generada por la agricultura. En primer término, se presentan las dimensiones y causas principales del problema en el ámbito mundial. Se muestra la situación de la calidad de los cuerpos de agua en México, y el porqué no existen medidas específicas de política ambiental para reducir la contaminación agrícola del

*Doctora en Ciencias por la UNAM. Investigadora titular "C" del Instituto de Investigaciones Económicas. Sistema Nacional de Investigadores, nivel II. Tutora y profesora de los posgrados en Economía y en Ciencias de la Producción y la Salud Animal de la UNAM. Ha sido consultora para la FAO. Autora de cuatro libros individuales sobre la economía, el comercio internacional y los problemas ambientales del sector pecuario en México, coautora de tres libros sobre tratamiento de aguas residuales de granjas porcinas, regulaciones para las ganaderías intensivas y del breviario *Economías de la naturaleza*. Ha publicado más de 100 artículos en revistas nacionales y de circulación internacional, 33 capítulos en diversos libros, y ha presentado más de 120 ponencias en México y otros países. Actualmente desarrolla los proyectos Prácticas agrícolas y contaminación del agua, Cambio climático y sector agropecuario y Seguridad hídrica y alimentaria en América Latina y España.

agua. Se caracterizan las descargas difusas de la agricultura y se mencionan algunas de las medidas tomadas en otros países para su control. Se parte de que en nuestro país, la agricultura no está regulada en relación con el ambiente por los retos teóricos que presenta el diseño de instrumentos de regulación, sean estos económicos o normas, y se dedica parte del capítulo al análisis de las aportaciones de la teoría económica al tema y los resultados más importantes que se han obtenido.

Antecedentes

El sector agropecuario es el usuario principal de los recursos del suelo y el agua, y de acuerdo con un conjunto de estudios llevados a cabo en diversos países [Shortle y Abler, 2001], es su más importante contaminador.

Documentos de la Agencia para la Protección Ambiental de Estados Unidos [USEPA, 2000], de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO, 1996] y de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE, 1998], han concluido que la agricultura, con su alta demanda de agua para riego, fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos, así como las ganaderías intensivas que tienen un gran dinamismo, pero que generan montos enormes de residuos, son las causas principales del deterioro del agua, tanto en los países desarrollados, como en los que están en desarrollo.

El estudio de la FAO [2006] sostiene que la calidad del agua es un problema de dimensión mundial, que incide de manera directa e indirecta en la salud humana, el funcionamiento de los ecosistemas, la seguridad alimentaria y el bienestar general de la población, ya que compromete la base de la producción de alimentos.

Con base en estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), el documento de la FAO señala que las enfermedades más comunes asociadas a las aguas

de riego contaminadas son el cólera, fiebre tifoidea, ascariasis, amibiasis, giardiasis, E. Coli enteroinvasiva y perturbaciones de tipo hormonal. Cuatro millones de niños mueren cada año como consecuencia de enfermedades diarreicas debidas a infecciones trasmitidas por el agua. Citando varios estudios sobre el tema, entre ellos el de Keiser *et al.* [2005], la FAO señala que existe una relación positiva entre el incremento de la malaria y la esquistosomiasis y la construcción de embalses.

Los aspectos críticos de la relación agua-agricultura ocupan un lugar clave en el reagrupamiento que Water, Environment, Health, Agriculture and Biodiversity, United Nations WEHAB Working Group [2002] hace de los grandes temas de la *Agenda 21*: agua, energía, salud, agricultura y biodiversidad.

Al deterioro de la calidad del agua provocado por el sector agropecuario contribuyen varios factores: la baja productividad, dado el escaso conocimiento de técnicas adecuadas de riego, y el deterioro de la infraestructura hidráulica; las prácticas agrícolas inadecuadas, como son: la labranza del suelo, que lo deja sin cubierta vegetal por extensos periodos; el uso inapropiado de fertilizantes y plaguicidas; las altas concentraciones animales, por lo general asociadas a un incorrecto manejo de sus residuos; la falta de aplicación del principio "el que contamina paga" en la agricultura, y la inadecuada intervención del gobierno mediante programas de subsidios dirigidos a controlar la oferta de mercancías, sujetando la política agrícola a la apertura comercial, es decir, a beneficiar a los usuarios en las zonas de riego y a las empresas que producen plaguicidas [Ribaudo, 1998; United Nations WEHAB Working Group, 2002].

El sobreúso de fertilizantes y pesticidas y sus efectos en la salud humana se ha documentado en varios países en desarrollo [Ibarra Ceceña, 2008; Susmita *et al.,* 2007]. El estudio llevado a cabo en Bangladesh por Susmita [2007], señala que 47% de los agricultores usaban pesticidas en

exceso, y que solo 4% de estos tenía algún entrenamiento formal para su manejo. De acuerdo con el modelo empleado en el estudio, la incidencia en el sobreúso de pesticidas estuvo determinada por la subpercepción del daño, la toxicidad del pesticida, el patrón de cultivos, la localización de la propiedad, el nivel de ingreso, y por otros factores, como son la propiedad de la unidad y el trabajo asalariado.

En México, no se aplican medidas de política ambiental destinadas a internalizar el costo de la contaminación del agua por el sector agrícola, y las aplicables al sector pecuario no son eficientes.[1]

Tanto el Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006, como el 2007-2012, reconocen que existen evidencias contundentes de los impactos negativos del sector agropecuario en la calidad del agua y de los suelos; sin embargo, se carece de una política agroambiental dirigida a reducir esos impactos.

En nuestro país se cultivan alrededor de 20 millones de hectáreas (ha) de las cuales 6.4 millones (32% aproximadamente) son de riego. La agricultura utiliza 78% del agua que se extrae y la ganadería, 2% en forma directa; sin embargo, de manera indirecta, los volúmenes de agua consumidos por la agricultura, cuyo fin es la alimentación animal son cuantiosos y deben asignarse a este sector. La ganadería está presente en 112 millones de hectáreas, que representan 56% del territorio nacional [Semarnat, 2010].

Contaminación del agua en México

En 2004, la red de monitoreo sobre calidad del agua estaba constituida por una red primaria con 379 puntos de medición, de los cuales 210 se hallaban en cuerpos de agua superficiales, 127 en acuíferos y 42 en zonas costeras

[1] Véase Pérez [2006] para una evaluación de la norma genérica sobre descargas de aguas residuales en granjas porcinas NOM-001-Semarnat-1996.

para monitorear la calidad del agua en las playas. Ríos muy importantes, como el Conchos, que se usa de manera intensiva como receptor de descargas agrícolas, solo tiene un punto de monitoreo.

No se cuenta con información oficial sobre las fuentes de contaminación de los recursos hídricos, y no se sabe cuál es el impacto de las actividades agropecuarias en la calidad de los cuerpos de agua. Por ejemplo, determinar la presencia de pesticidas en los cuerpos de agua requiere una búsqueda especializada que, por lo general, no está contemplada en los sistemas de monitoreo de calidad del agua. Sin embargo, la Comisión Nacional del Agua (Conagua) reconoce que la agricultura, la deforestación y un mal manejo de la basura son responsables de 70% de la contaminación de los recursos hídricos.

De acuerdo con la información de la Conagua [Conagua, 2007] , la calidad del agua medida con base en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST), como porcentaje de las estaciones de monitoreo se da de la siguiente manera:

Cuadro 1. Distribución porcentual de las estaciones de monitoreo de calidad del agua superficial según categoría de DBO, DQO y SST en México, 2006

Calidad	DBO[a]	DQO[b]	SST[c]
Excelente	40.4	19.6	45.3
Buena calidad	25.3	18.9	33.0
Aceptable	17.6	23.8	14.0
Contaminada	17.6	26.8	5.4
Fuertemente contaminada	5.4	11.0	2.2

[a]Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)
[b]Demanda Química de Oxígeno (mg/l)
[c]Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)
Fuente: [Conagua, 2007]

En 2002, la información de la Conagua indicaba que del total de aguas superficiales 74% tenía algún grado de contaminación, 25% una calidad aceptable, y en 1% se habían encontrado tóxicos. El cambio en la metodología del uso del Índice de Calidad del Agua a solo tres parámetros mencionados hace imposible contar con información fidedigna para determinar tendencias en el mediano y largo plazos [Jiménez, 2007].

El análisis económico de la calidad del agua se enfoca, principalmente, en la contaminación del agua y se basa en modelos estáticos y dinámicos de asignación de recursos. Sin embargo, aun los modelos dinámicos son incapaces de reflejar el hecho de que la oferta real del agua tiene variaciones de calidad, información muy importante, ya que la calidad de una fuente de agua limita su uso; un río puede ser apto para el riego agrícola, pero no para consumo [Spulberg y Sabbaghi, 1998].

Entre las razones que explican la existencia de un vacío en la política ambiental para reducir la contaminación agrícola del agua se pueden mencionar: 1. Los problemas teórico-metodológicos que representan las descargas difusas de la agricultura; 2. La falta de investigación sistemática y de largo aliento sobre el tema; 3. La carencia de información básica para diseñar medidas ambientales y para tomar decisiones que tiendan a resolver problemas; 4. La consideración de que la agricultura –en términos generales y sin atender a su evidente heterogeneidad– constituye un sector altamente sensible por el número de personas que conforman su población económicamente activa, 6.3 millones de personas en 2010 [INEGI, 2011], porque produce bienes básicos insustituibles y por ser el reducto de la población más pobre del país y, 5. Que en México, como en la mayor parte del mundo, los usuarios agrícolas hegemónicos que detentan un poder político real nunca han estado dispuestos a someterse a las regulaciones ambientales.

Las descargas difusas de la agricultura

Las actividades agrícolas contaminan el agua con nutrientes, pesticidas, sedimentos, minerales y patógenos que provienen de los agroquímicos (plaguicidas y fertilizantes químicos) y de la aplicación de estiércoles a los cultivos. El agua de riego constituye el medio más eficiente de transporte de contaminantes agrícolas hacia los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, a los cuales llega por procesos de escorrentía, lixiviación, filtración y deposición atmosférica.

Las descargas no puntuales de la agricultura (DNP) no se pueden observar ni analizar a un costo razonable; no es posible identificar al responsable de la descarga y, por tanto, no se puede dar seguimiento a su desempeño. La agricultura en su conjunto, pero en particular la de riego, la ganadería de campo con altas concentraciones de animales, los corrales de engorda, los accidentes –derrames y rupturas– de las instalaciones de tratamiento de las ganaderías intensivas y la aplicación de estiércoles a los cultivos, son actividades que generan DNP.

En general, agricultores y ganaderos no son conscientes de que las prácticas agrícolas que llevan a cabo, particularmente el sobreúso de insumos, tiene impactos negativos en el agua; esto los hace renuentes a participar en programas voluntarios para reducir la contaminación en los que se comparte el costo [Spulberg y Sabbaghi, 1998].

Por otra parte, en México el sobreúso de insumos obedece a dos razones principales: el subsidio implícito y explícito al uso del agua, fertilizantes y plaguicidas, y el hecho de que el costo de contaminar el agua es cero, debido a la falta de regulaciones agroambientales [Pérez Espejo *et al.,* 2011].

Tanto académicos como autoridades están prácticamente inermes ante el fenómeno de las DNP agrícolas porque no existe un acuerdo sobre qué, cómo y a quién regular [Shortle y Abler, 2001]. Incluso, algunos especialistas en este tema reconocen que no se tiene claro cuál es el nivel

de control ambiental que deben mantener los agricultores, ni tampoco lo que deben hacer para lograrlo [Magette, 2000].

No obstante, en algunos países se ha atacado el problema por medio de diferentes estrategias, cuyos resultados y costos también son distintos. Desde la década de los setenta, Estados Unidos puso en marcha varios programas de tipo voluntario que tienen como finalidad mejorar la calidad del agua. Han dedicado recursos a este tema y logrado mejorar la calidad de sus recursos hídricos. En Europa, existen ejemplos de medidas de tipo coercitivo, particularmente impuestos a la aplicación de nitrógeno en los cultivos como parte de las directivas de una política agrícola común.

En 2001, los investigadores Shortle y Abler sistematizaron la información proveniente de 34 estudios realizados entre 1979 y 2001 en Estados Unidos (29), Gran Bretaña (2), Noruega (1), Canadá (1) y el mar Báltico (1). Desde el punto de vista espacial, estos estudios abarcaron la escala internacional, nacional, regional, municipal, las cuencas, valles y planicies. Las "bases" de los instrumentos evaluados incluyeron en su mayoría el nitrógeno y los nitratos (cinco estudios cada uno), fósforo, salinidad, nutrientes, atrazina, fertilizantes, pesticidas, sedimentos, erosión, el herbicida alachlor y químicos en general, así como combinaciones de estos contaminantes.

Entre los instrumentos económicos evaluados en estos estudios se encuentran las normas sobre insumos (ocho casos), las "asignaciones de menor costo"[2] (siete casos), impuestos sobre insumos (cuatro casos) y diversas combinaciones de impuestos y estándares sobre insumos y emisiones estimadas. Algunos de estos estudios enfocaron su análisis al mercadeo de fuentes puntuales, a los estándares de diseño, los de desempeño y a la evaluación de tecnología verde.

[2] *Low Cost Allocation* (LCA), que son equivalentes a implementar estándares costo-efectivos.

Teoría de la contaminación agrícola del agua

Como resultado del largo camino recorrido por el análisis económico en el tema de las economías externas de fines del siglo XIX a la segunda mitad del siglo pasado, en la actualidad, la contaminación ambiental se reconoce como la expresión más clara de una "externalidad" económica.

Las economías externas o externalidades han sido un tema polémico y de intenso debate entre los economistas. La presencia perturbadora de ciertos efectos fuera de la órbita de los mercados, que no se explican en los supuestos de la teoría neoclásica, generó una interesante literatura sobre algunos conceptos como "economías internas y externas" [Marshall, 1949], economías externas negativas y positivas, o costos y beneficios marginales sociales diferentes de los privados [Pigou, 1946] economías y deseconomías externas [Meade, 1952], economías externas tecnológicas [Scitovsky, 1974], economías externas pecuniarias [Bator, 1958] y externalidades ambientales [Baumol y Oates, 1982; Bohm, 1997].

La externalidad ambiental es expresión de una falla de mercado, en la que no hay precios de equilibrio ni óptimo de Pareto, y en la que los costos privados y sociales difieren. Para "internalizar" las externalidades negativas que el mercado por sí solo no logra revertir, E. Pigou y otros economistas adscritos a la teoría del bienestar proponían la intervención gubernamental, ya sea gravando o compensando.

Pero, una corriente opuesta a este planteamiento [Coase, 1960] sostiene que los efectos negativos de la contaminación ambiental se pueden resolver mediante una adecuada definición de los derechos de propiedad, dejando que las partes involucradas negocien, sin que exista carga o compensación gubernamental. Esta propuesta, que no considera los costos de transacción, ni la heterogeneidad de las partes en conflicto, es difícil de poner en práctica.

La forma en la que interviene el gobierno en este tema es mediante la política ambiental, la cual se puede ejercer desde dos enfoques fundamentales no excluyentes: el directo o regulatorio[3] que promueve normas, licencias y otras regulaciones; y el indirecto o de mercado, que propone medidas para crear mercados o modificarlos vía impuestos, subsidios y otros instrumentos económicos.

La investigación económica ha sido relativamente exitosa en el diseño de instrumentos económicos y regulaciones para controlar las descargas puntuales (DP) de la agricultura, pero enfrenta numerosos desafíos cuando se trata de descargas no puntuales (DNP) o difusas. Tampoco los instrumentos económico-ambientales y las regulaciones para el control de las DP están exentos de limitaciones, sin embargo, su efecto en el mejoramiento de la calidad del agua es innegable, sobre todo en países donde las regulaciones van acompañadas de programas de educación y asistencia técnica, de apoyos financieros y en los que la autoridad reguladora vigila su cumplimiento.

Los problemas particulares de la contaminación no puntual del sector agropecuario estimuló el desarrollo de una corriente teórica conocida como "teoría de las descargas no puntuales". De los numerosos especialistas que han contribuido a esclarecer el tema, mencionarán solo algunas de las aportaciones más importantes.

Incentivos y estándares

Se suele citar el artículo de Griffin y Bromley [1982] como el planteamiento pionero que introdujo el concepto de "función de producción no puntual" (FPNP) para medir de manera directa, las emisiones contaminantes de la agricultura que no se pueden observar. Las FPNP relacionan las opciones de producción (empleo de insumos), con las

[3] También conocido como "comando y control".

emisiones estimadas a partir de modelos hidrológicos y estadísticos.

El modelo de la FPNP para la iésima granja se expresa de la siguiente manera:

$$ri(xi, \alpha\ I)$$

donde:

ri son las emisiones no puntuales o FPNP,
xi es el vector (1 x *m*) de opciones de producción y control de contaminación (insumos)
αI representa las características físicas del lugar (tipo de suelo, topografía)

A diferencia de las emisiones puntuales que salen de un tubo o una chimenea y que se pueden observar sin error, la FPNP representa un estimador *proxy* de las DNP no observables. Cuando la autoridad ambiental ha fijado un objetivo a un cuerpo de agua, la estimación parte de las concentraciones ambientales, que son la suma de emisiones puntuales y no puntuales, de los niveles naturales prevalecientes de contaminación ζ y de las características y parámetros de la cuenca ψ.

$$a = a(r1\ , ..., rn, e1, ..., es, \zeta, \psi)\ (\partial a/\partial ri \geq 0\ \forall i, \partial a/\partial ek \geq 0\ \forall k)$$

donde:

ri son las emisiones no puntuales para la iésima granja,
ek son las emisiones puntuales para la késima fuente,
ζ indica los niveles prevalecientes de contaminación en la cuenca,
ψ son las características y parámetros de la cuenca, para todo

$$(\partial a/\partial ri \geq 0\ \forall\ i, \partial a/\partial ek \geq 0\ \forall\ k)$$

A partir de estas relaciones determinísticas y aplicando los principios de optimización, los autores construyen cuatro tipos de instrumentos ambientales económicamente viables para las DNP agrícolas: 1. Un incentivo (impuesto o subsidio) basado en el monitoreo de insumos (o de los productos), por ejemplo, un impuesto a los fertilizantes o a la pérdida estimada de suelo; 2. un sistema de estándares para la escorrentía estimada, por ejemplo, una norma sobre la pérdida estimada de suelo; 3. un subsidio (o cargo) a las prácticas agrícolas, por ejemplo, un impuesto a las aplicaciones de nutrientes y, 4. un sistema de estándares sobre prácticas de manejo, por ejemplo, el empleo de labranza cero.

Estos modelos incluían dos supuestos irreales: a) que el regulador conoce los beneficios que obtienen los agricultores cuando modifican sus prácticas (no existen problemas de información) y, b) que la escorrentía de las unidades agrícolas puede ser determinada sin error solo observando las prácticas de manejo.

Incentivos sobre prácticas de manejo

A partir de este modelo, Shortle y Dunn publicaron en 1986 uno más sofisticado que incluía tres planteamientos originales: 1. Las DNP no son determinísticas, sino estocásticas y no observables; 2. Los procesos de destino y transporte de contaminantes también son estocásticos y, 3. Existe información asimétrica entre el agente regulador y el productor.

Bajo estas premisas, la observación de los insumos de la granja en la FPNP ya no es un sustituto para medir las emisiones sin error; los agricultores no pueden controlar sus descargas con certeza, pero pueden optar por controles de producción y contaminación para influir en la distribución de probabilidades de los niveles posibles del escurrimiento.

Shortle y Dunn también estimaron cuatro instrumentos, pero incluyeron información diferencial sobre los costos de

modificar las prácticas de manejo, la imposibilidad de llevar a cabo un monitoreo directo y preciso, y la naturaleza estocástica de las DNP. Del modelo anterior conservaron el empleo de modelos hidrológicos que reducen la incertidumbre sobre la magnitud de las DNP. Sin considerar los costos de transacción, concluyeron que la medida más eficiente para reducir la contaminación no puntual es un incentivo sobre las prácticas de manejo, que puede inducir al agricultor a seleccionar las prácticas que puedan maximizar el beneficio social neto.

Los autores reconocen que ninguna de las estrategias que analizan es un óptimo tipo *first-best* y advierten que las medidas ambientales que se ajustan a los principios económicos por lo general resultan ser políticamente inaceptables. Concluyen que un incentivo sobre prácticas de manejo puede ser políticamente aceptable y también económicamente ventajoso.

Impuestos ambientales

En 1988, Kathleen Segerson [1988] publica un artículo que modifica radicalmente el enfoque mantenido hasta ese momento, y cuestiona la eficiencia del énfasis puesto por los autores citados, en lo que se conoce como las "mejores prácticas de manejo" y los incentivos para modificarlas. Segerson plantea que las regulaciones directas y los impuestos sobre la escorrentía estimada son ineficientes e impracticables para controlar las DNP, por lo que propone trasladar el eje del análisis de las emisiones del ámbito individual, a la contaminación de un cuerpo de agua particular.

Segerson descarta la observación de las emisiones, ya sea directa o indirectamente, y propone reorientar la política de control hacia el cuerpo de agua. Para el agricultor individual sugiere un impuesto ambiental (*ambient tax*) o un subsidio que variará de manera proporcional con las

concentraciones en el cuerpo de agua. El nivel del impuesto (o subsidio) dependería de que se rebase o se esté por debajo de un nivel objetivo de calidad establecido previamente para el cuerpo de agua. Como medida de vigilancia sugiere una estrategia mínima de monitoreo aleatorio y deja al productor la selección de la tecnología de producción y tratamiento que más le convenga.

Incentivos directos y participación de "equipo"

En una contribución por demás original, Eirik Romstad [2003] critica las políticas convencionales sobre DNP que intentan modificar las prácticas observables (fertilización, aplicación de estiércoles, labranza de conservación) que, se supone, tienen una fuerte relación con la escorrentía de las granjas y hace notar que un cambio en la cantidad aplicada de un fertilizante nitrogenado (N), solo explica 30% del nitrógeno en la escorrentía, y que el verdadero problema es el costo social de los instrumentos para reducir el restante 70 por ciento.

Romstad propone incentivos directos a la participación en conjunto de los usurarios que descargan en un mismo cuerpo de agua; supone que cada agricultor tiene más información que la autoridad respecto de sus propias emisiones y de la distribución de las emisiones de otros agricultores, pero posee información escasa respecto del comportamiento real del conjunto. La autoridad puede ofrecer a los agricultores dos alternativas: 1. Normas que seguramente van a reducir sus beneficios, o 2. Un contrato favorable al conjunto respecto de la opción (1), si el conjunto de usuarios alcanza el nivel de emisión objetivo, y desfavorable si no lo alcanza.

Su hipótesis es que los agricultores solo escogerán la opción (2) si todos suponen que el objetivo ambiental se puede alcanzar por el conjunto. La autoridad puede agregar los siguientes incentivos: a) Si el "conjunto" excede el objetivo,

todos los agentes reciben un pago; b) El agricultor tiene la posibilidad de autodeclarar si considera que por causa suya no se va a alcanzar el objetivo y tendrá que pagar una multa, que es menor que la multa impuesta si el objetivo no se alcanza.

Según Romstad, existen razones intuitivas válidas para implementar un cambio en las políticas convencionales sobre DNP, centradas en las prácticas agrícolas hacia incentivos más directos que reduzcan las emisiones y mejoren la calidad ambiental. Concluye que su enfoque de equipo puede modificar la actitud de los agricultores respecto de su responsabilidad en la reducción de emisiones y disminuye los costos de monitoreo.

Mercadeo de descargas

El mercadeo entre descargas puntuales y DNP es un tema importante en la literatura sobre instrumentos ambientales de las últimas dos décadas. En teoría, cuando se permite que las fuentes puntuales alcancen objetivos de descarga comprando reducciones de fuentes no puntuales, el control de la contaminación se alcanza a un menor costo. Pero, para que este mercadeo tenga lugar, deben darse dos circunstancias: 1. Que las fuentes puntuales y no puntuales contribuyan con montos significativos y conocidos del contaminante objetivo en una cuenca y, 2. Que los costos marginales de reducir las DNP sean menores que los costos de reducir las DP [Ribaudo y Caswell, 1999].

Según Ribaudo y Casey, este intercambio requiere de un enorme compromiso por parte de las autoridades en términos de costos de administración y adquisición de información básica para que esta se produzca, y de un nivel elevado de educación y capacitación de los usuarios.

Otros autores [Horan y Ribaudo, 1999; Horan y Shortle, 2001], a pesar de que apoyan la estrategia de mercado entre fuentes puntuales y no puntuales, dado que puede

constituir un método alternativo de costo efectivo para controlar las DNP, reconocen que el mercadeo, en una base de uno a uno, puede ser muy difícil, debido a la heterogeneidad y estocasticidad natural de las descargas difusas y a la dificultad de su observancia obligatoria.

Los componentes indispensables previos para este proceso son: la identificación de todas las descargas y la evaluación de las capacidades de asimilación del cuerpo de agua en relación con el estándar de calidad del agua que se establezca para este.

Incentivos flexibles

Los incentivos flexibles (IF) son herramientas de manejo ambiental que especifican objetivos, pero que dejan al productor en libertad de seleccionar la forma de alcanzarlos. El diseño de incentivos flexibles involucra cuatro premisas relevantes [Batie y Ervin, 1999]: 1. Considerar que son un medio y no un fin, y que ponerlos en marcha de manera exitosa depende de la claridad de los objetivos ambientales establecidos; 2. Aceptar que no son una panacea, y para que funcionen hay que adaptarlos a condiciones sociales, económicas y ambientales locales; 3. Reconocer que representan elevados costos de transacción, cuya reducción puede requerir reformas institucionales; el reto de esta política es cómo reducir los costos y, 4. Prever que su puesta en marcha requiere un alto nivel de capacidades humanas, tanto del productor como de la autoridad.

En la categoría de IF se pueden incluir una amplia gama de instrumentos obligatorios y voluntarios, entre ellos: 1. Multas para descargas de efluentes y para condiciones ambientales por encima de un umbral mínimo; 2. Subsidios (créditos blandos, reducción de impuestos o sistemas de depósito-reembolso); 3. Estrategias que vinculan pagos de gobierno con cumplimiento ambiental; 4. La creación de

mercados, tales como los asociados con el comercio de emisiones o el ecoetiquetado; 5. La presión de los "pares" ("persuasión moral"); 6. La educación y asistencia técnica; 7. La distinción con certificados verdes; 8. Normas o regulaciones que imponen estándares de desempeño, pero que permiten la selección irrestricta de tecnologías y, 9. El mercadeo de derechos de contaminación.

Iniciativas voluntarias

Debido a las dificultades que representa el diseño y administración de políticas agroambientales para las DNP de la agricultura, las autoridades, en la mayor parte del planeta, han optado por instaurar un enfoque de cumplimiento voluntario, que combina la persuasión pública con la asistencia técnica para la adopción de medidas de control.

Las medidas voluntarias comprenden los siguientes programas: 1. Educación: por ejemplo, en prácticas de labranza de conservación, manejo de nutrientes, riego eficiente y manejo integrado de plagas; 2. Investigación y desarrollo: en empleo de tecnologías agrícolas sostenibles, biotecnología, desarrollo de variedades resistentes, la utilización de vegetación de amortiguación, etc. 3. Apoyos verdes: pagos por llevar a cabo acciones que reducen la contaminación, por ejemplo, un subsidio para reducir el uso de nitrógeno y, 4. Conservación del suelo: recomendación de diversas prácticas para evitar la erosión.

Estos programas pueden o no llevar a cambios en el comportamiento del productor, y los criterios para su aplicación son, con frecuencia, de índole política.

En el capítulo 5 de este libro se analizarán los programas hidroagrícolas de tipo voluntario y las normas obligatorias vigentes, en particular en el espacio de estudio que tienen un efecto en la calidad del agua.

Conclusiones

La contaminación del agua es un problema importante en nuestro país; cerca de 40% de las estaciones de monitoreo reportan agua contaminada y fuertemente contaminada medida por la demanda bioquímica de oxígeno. No hay información oficial de las fuentes que generan la contaminación, como tampoco la hay de contaminantes específicos como plaguicidas.

En México, la agricultura emplea 78% del agua que se extrae [Conagua, 2012]; las referencias de países que tienen información al respecto, indican que también es la principal fuente de contaminación. A pesar de ello, las descargas difusas que genera la agricultura carecen de regulaciones ambientales.

Entre las causas que provocan la contaminación agrícola del agua, se encuentran las prácticas agrícolas inadecuadas, las políticas públicas que estimulan un uso inconveniente del agua, sesgos en la percepción de los agricultores acerca del problema, la necesidad de producir alimentos y otros insumos, aun a un elevado costo ambiental.

Este costo se podría reducir por medio de una política agroambiental dirigida al control de las prácticas agrícolas que ocasionan un daño en el recurso, pero esta política de regulación enfrenta obstáculos: la consideración de que la agricultura es un sector sensible que hay que proteger y subsidiar; el poder de agricultores hegemónicos que se oponen a ser regulados, y las limitaciones, por ahora aún no superadas, de la teoría económica para ofrecer medidas de control que sean adecuadas política, ambiental y económicamente.

Ante este conjunto de problemas complejos y a pesar de que la investigación económica ha avanzado en el diseño de instrumentos económicos y regulaciones para las descargas difusas, el control de la contaminación agrícola del agua se basa, en la mayoría de los países, en programas de tipo voluntario que no necesariamente tienen un impacto benéfico en la calidad del agua.

Bibliografía

Batie, Sandra y Ervin, E. Davis [1999], "Flexible incentives for environmental management in agricultures: a typology", Kluwer (ed.), *Flexible instruments for the adoption of environmental technologies in agriculture,* Estados Unidos, Academic Publishers).

Bator, F. M. [1958], "The Anatomy of Market Failure", *Quarterly Journal of Economics,* 72 (3), pp. 351-379.

Baumol, W. y Oates, W. [1982], *La teoría de la política económica del medio ambiente*, Barcelona, Antoni Bosch Ed. , p. 322.

Bohm, Peter [1997], *The Economics of Environmental Protection. Theory and Demand Revelation*, Cheltenham, Reino Unido, Edward Elgar Ltd., p. 378.

Coase, Ronald [1960], "The Problem of Social Cost", *Journal of Law and Economics,* 3.

Conagua [2007], "Estadísticas del agua en México", México, Conagua-Semarnat, p. 259.

_____ [2012], "Estadísticas del agua en México. 2011", México, Conagua-Semarnat, p. 259.

_____ (2010) Estadísticas del Agua, México, Conagua.

FAO [1996], "Control of Water Pollution from Agriculture. Irrigation and Drainage", Roma, Italia, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 55: 275.

_____ [2006], "Livestock's long shadow. Environmental issues and options", Pierre Gerber Henning Steinfeld, Tom Wassenaar, Vincent Castel, Mauricio Rosales y Cees de Haan (ed.), *LEAD,* Roma, Italia, Food and Agriculture Organization of the United Nations, p. 390.

Griffin, R.C. y Bromley, D. W. [1982], "Agricultural runoff as a nonpoint externality: a theoretical development", *American Journal of Agricultural Economics,* 64, pp. 37-49.

Horan, R. D. y Ribaudo, M. O. [1999], "Policy objectives and economic incentives for controlling agricultural sources of nonpoint pollution", *Journal of the American Water Resources Association,* 35 (5), pp. 1023-1035.

Horan, R. D. y Shortle, J. S. [2001], "Environmental instruments for agriculture", Shortle y D.G. Abler J.S. (ed.), *Environmental policies for agricultural pollution control,* Wallingford y NuevaYork, CABI Publishing, pp. 19-65.

Ibarra Ceceña, María Guadalupe [2008], "Las actividades agrícolas y su impacto en la calidad de los recursos hídricos: el caso del Valle del Carrizo, Sinaloa México", Colegio de Posgraduados (ed.), *Avances de Investigación Forestal y Desarrollo Sustentable,* Puebla, México, Universidad Autónoma Indígena de México, Comisión Nacional Forestal, Colegio de Posgraduados, campus Puebla), pp. 125-140.

INEGI [2011], "Información estadística", México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/integracion/inegi324.asp?s=est&c=11722/>, acceso 4 de octubre.

Jiménez, B. [2007], "Información y calidad del agua en México", *Sustentabilidad, un debate a fondo*, México, Trayectorias, 24 (IX), pp. 45-56.

Keiser, Jennifer, Caldas de Castro, Marcia, Maltese, Michael F., Robert, Bos, Tanner, Marcel, Singer, Bruton H., y Ultzinger, Jürg [2005], "Effect of irrigation and large dams on the burden of malaria on a global and regional scale", *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene,* Estados Unidos, The American Society of Tropical Medicine and Hygiene, 72 (4), pp. 392-406.

Magette, L. W. [2000], "Controlling Agricultural Losses of Pollutants to Water and Air. Are We Helping the Farmer Enough?", *9th Workshop of the Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture,* Gargnano, Italia, RAMIRAN, 6 y 9 de septiembre, p. 15.

Marshall, A. [1949], *Principles of Economics*, Londres, Reino Unido, MacMillan, p. 871.

Meade, E. James [1952], "External Economies and Diseconomies in a Competitive Situation", *The Economic*

Journal, Reino Unido, Royal Economic Society, 62 (245), pp. 54-67.

OCDE [1998], "Agriculture and the Environment. Issues and Policies", París, Francia, Organisation for Economic Co-operation and Development, p. 35.

Pérez Espejo, Rosario, Ibarra Aguilar, Alonso, y Escobedo-Sagaz, José Luis [2011], "Agriculture and water pollution: Farmer's perceptions in central Mexico", *International Journal of Water Resources Development,* Routledge, 27 (1), pp. 253-263.

Pigou, A.C. [1946], *La economía del bienestar*, Madrid, España, Aguilar, p. 720.

Ribaudo, Marc O. y Caswell, Margriet F. [1999], "Environmental regulation in agriculture and the adoption of environmental technology", Kluwer (ed.), *Flexible instruments for the adoption of environmental technologies in agriculture,* Estados Unidos, Academic Publishers, pp. 7-26.

Ribaudo, Marc O. [1998], "Lessons learned about the performance of USDA agricultural nonpoint source pollutions programs", *Journal of Soil and Water Conservation,* 53 (1), pp. 4-10.

Romstad, Eirik [2003], "Team approaches in reducing nonpoint source pollution ", *Ecological Economics*, 47, pp. 71-78.

Scitovsky, Tibor [1974], "Dos conceptos de economías externas", Arrow J. Kenneth y Scitovsky (ed.), *Ensayos sobre economía del bienestar*. México, Fondo de Cultura Económica, Lecturas, p. 248.

Segerson, K. [1988], "Uncertainty and Incentives for Nonpoint Pollution Control", *Journal of Environmental Economics and Management,* 15, pp. 87-98.

Semarnat [2007], "Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012", México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, p. 172.

_____ [2010], "Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales", México, Secretaría de Medio

Ambiente y Recursos Naturales, <http://www.semarnat.gob.mx/>, acceso de 8 de febrero.

Shortle, J. S. y Dunn, W. J. [1986], "The Relative Efficiency of Agricultural Source Water Pollution Control Policies", *American Journal of Agricultural Economics,* 68 (3), pp. 668-677.

Shortle, J. S. y Abler, David Gerrard [2001], *Environmental policies for agricultural pollution control*, Wallingford, Oxon, Reino Unido; NuevaYork, CABI Pub., p. 224.

Spulberg, N. y Sabbaghi, A. [1998], *Economics of Water Resource. From Regulation to Privatization*, Estados Unidos, Kluwer Academic Publishers, p. 342.

Susmita, D., Craig, M., y Manuil, H. [2007], "A Pinch or a Pint? Evidence of Pesticide Overuse in Bangladesh", *Journal of Agricultural Economics,* 51 (1), pp. 91-114.

United Nations WEHAB Working Group [2002], "Frameworks of the WEHAB Working Group", *World Summit on Sustainble Development*, Johannesburg, Naciones Unidas, 26 de agosto-4 de septiembre.

USEPA [2000], "The Quality of our Nation's Waters: A summary of the National Water Quality", Office of Water (ed.), Estados Unidos, United States Environmental Protection Agency.

El dr011, Alto Río Lerma, Guanajuato

Rosario H. Pérez Espejo

El presente capítulo describe, de manera breve, el Distrito de Riego 011 como espacio de estudio y la forma en la que se llevó a cabo la investigación. Se explican las razones que justificaron la selección del dr011, y se describe cómo está integrado. Se destacan la importancia de la agricultura en el Producto Interno Bruto de Guanajuato y la relevancia de la agricultura de riego en el ámbito nacional. Se explica cómo se condujo la investigación, las fuentes de información y su manejo, los criterios con los que se seleccionó la muestra, el número de cuestionarios aplicados, el periodo en el que se levantó la encuesta, y la selección de cultivos que incluye la investigación.

Breve descripción del espacio de estudio

La selección del dr011, Alto Río Lerma, Guanajuato, como espacio de estudio, obedece a varias razones. La primera es que se encuentra en una de las cuencas más importantes del país. En México existen 314 cuencas hidrológicas que la Comisión Nacional del Agua (Conagua) ha agrupado en

37 Regiones Hidrológicas y 13 regiones Hidrológico-administrativas. El DR011 se encuentra en la Región Hidrológica Lerma y esta en la Región Hidrológico-Administrativa VIII Lerma Santiago o Lerma Santiago Pacífico que corresponde a la cuenca del mismo nombre. Esta cuenca es una de las más extensas (2% del territorio nacional), alberga a 15 millones de habitantes (16% de la población nacional), tiene una importancia económica considerable (los municipios que la conforman aportan 47% del valor agregado bruto censal) y, los usos, calidad y abasto de agua, constituyen el principal problema de esta cuenca [Conagua, 2009a; Cotler *et al.,* 2006; Semarnat, 2001].

Mapa 1. Localización de la cuenca Lerma-Chapala, México

Fuente: INE, 2011.

La cuenca Lerma Chapala Pacífico se abastece de varios ríos, de los cuales el mayor es el Lerma (mapa 1); en conjunto, este sistema provee servicios ambientales muy

importantes a la cuenca, y es la fuente que nutre a cinco de los siete lagos más grandes del país: Chapala, Pátzcuaro, Cuitzeo, laguna de Yuriria y el lago Nabor Carrillo [Semarnat, 2006].

La subcuenca (Región Hidrológica), Lerma en los estados de México, Guanajuato, Michoacán y Jalisco, es la segunda más contaminada, después de la subcuenca del río Atoyac en los estados de Tlaxcala y Puebla [Conagua, 2007a]. La agricultura, principal usuaria del agua, junto con la refinería de PEMEX y la planta de la Comisión Federal de Electricidad, ambas en Salamanca, y numerosas industrias que no cumplen con la Norma Oficial Mexicana 001 sobre descargas de aguas residuales, son las fuentes más importantes de contaminación del agua.

La segunda razón para la selección del DR011 fue que se encuentra en uno de los estados agrícolas más importantes del país. 80% del territorio de Guanajuato se encuentra en la cuenca Lerma Chapala Pacífico (43.7% de la extensión de la cuenca) y dedica al sector agropecuario 59% de su territorio (agricultura 34% y ganadería 25%) que es poco más de 3 millones de hectáreas. Aún cuando la extensión de Guanajuato solo representa 2% del territorio nacional, el valor de su agricultura ocupa el noveno lugar a nivel nacional y el de su ganadería el quinto [Sagarpa, 2011]. Las actividades primarias (7% del Producto Interno Bruto, PIB), colocan a Guanajuato entre los 10 estados con el mayor PIB primario, después de entidades muy grandes como Jalisco, Sinaloa, Veracruz, Michoacán, México, Sonora, Chiapas y Chihuahua (cuadro 1).

De los 85 Distritos de Riego en el país, el DR011 ocupa el sexto lugar por su extensión, y es el más importante de la cuenca Lerma Chapala Pacífico y del estado de Guanajuato (cuadro 2).

87% del total del agua extraída en Guanajuato se dedica al uso agrícola; esto, sumado a la creciente demanda de los sectores urbano e industrial, da como resultado una presión enorme sobre los recursos hídricos y ha ocasionado

Cuadro 1. Producto interno bruto estatal. Sector primario

Estado	PIB 2009 sector primario a precios de 2003 (miles de pesos)	%
Jalisco	36 221 049	11
Sinaloa	21 882 140	6
Veracruz	24 371 262	7
Michoacán	22 461 043	6
México	12 733 621	3
Sonora	18 729 804	5
Chiapas	14 335 763	4
Chihuahua	18 328 856	5
Guanajuato	13 798 100	4
Durango	12 846 950	3
Total	195 708 588	60
Total nacional	324 551 124	100

Fuente: INEGI, 2010.

Cuadro 2. Diez principales distritos de riego, 2008

Clave	Nombre	Región hidrológica-administrativa	Entidad federativa	Superficie total
025	Bajo Río Bravo	VI Río Bravo	Tamaulipas	248 001
075	Río Fuerte	III Pacífico-Norte	Sinaloa	227 518
010	Culiacán-Humaya	III Pacífico-Norte	Sinaloa	212 141
014	Río Colorado	I Península de Baja California	Baja California y Sonora	208 805
017	Región Lagunera	VII Cuentas Centrales del Norte	Coahuila y Durango	116 577
011	Alto Río Lerma	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	Guanajuato	112 772
063	Guasave	III Pacífico-Norte	Sinaloa	100 125
026	Bajo Río San Juan	VI Río Bravo	Tamaulipas	86 102
082	Delicias	VI Río Bravo	Chihuahua	82 324
097	Lázaro Cárdenas	IV Balsas	Michoacán	71 593

Fuente: Conagua, 2009b.

que la disponibilidad por habitante promedio anual de agua haya caído de 2 800 litros en 1950 a 1 500 en 1975 y poco más de 800 a fines de los años noventa. El número de pozos explotados, la mayoría sin autorización, se incrementó de 2 000 a principios de la década de los cincuenta, a 16 000 a fines de los noventa, y el nivel del agua subterránea ha descendido más de dos metros por año en promedio [Sandoval-Minero y Almeida-Jara, 2006].

La tercera razón para la selección del DR011, es que el riego es fundamental en la agricultura de Guanajuato; del poco más de un millón de hectáreas (M ha) sembradas en 2007, alrededor de 500 mil ha (48% del total sembrado), contaba con riego, superficie con el rango 3, después de Sinaloa, 8.1 M ha y Sonora, 5.1 M ha. La mitad del área cultivada en Guanajuato proporciona 85% del valor de la producción agrícola, y el DR011 con alrededor de 115 ha cultivadas genera buena parte de este valor.

La decreciente disponibilidad de agua por habitante, su contaminación, la sobreexplotación de pozos y la presión que se ejerce sobre el recurso, son factores que hacen de la cuenca del Lerma Chapala Pacífico y de Guanajuato en particular, áreas de gran vulnerabilidad, que ponen en riesgo la salud de los habitantes y del ecosistema y pueden constituir un freno poderoso al futuro de la actividad económica de la región

Guanajuato tiene dos Distritos de Riego, el 85 La Begoña, al norte del estado con 15 mil hectáreas de riego y el 011 Alto Río Lerma (DR011) con 115 mil. El DR011 es uno de los distritos más antiguos y uno de los más estudiados; se encuentra en una cuenca altamente contaminada y presenta una condición de déficit hídrico [Conagua, 2007b; Cruz *et al.,* 2002; Kloezen *et al.,* 1997; Salcedo, 2005; Vargas-Velázquez, 2010]. En el DR011 hay aproximadamente 22 mil usuarios que siembran en dos ciclos agrícolas [Conagua, 2009a] y que se organizan en diez módulos de riego, de los cuales solo uno se ubica en Michoacán y los nueve restantes en Guanajuato.

En el año agrícola 2007-2008, el DR011 recibió 4% del volumen total de agua distribuida en el territorio nacional, lo que constituyó poco más de mil millones de metros cúbicos que provienen, en su mayoría, de presas de almacenamiento (55%), pero también de agua del subsuelo (35%), situación que hace diferente a este distrito de otros, en los que el agua de pozo para riego no supera 10%. El resto del agua se bombea directamente de corrientes. Para el DR011 la lámina de riego bruta (lámina de riego extraída de la fuente de abastecimiento) fue de 115 cm, inferior en cinco centímetros respecto de la nacional. En términos de disponibilidad de agua (cuadro 3), el año agrícola 2007/2008 fue un año medio de acuerdo con los registros hidrométricos de los últimos 23 años agrícolas [Conagua, 2009a].

Cuadro 3. Niveles administrativos de los recursos hídricos nacionales

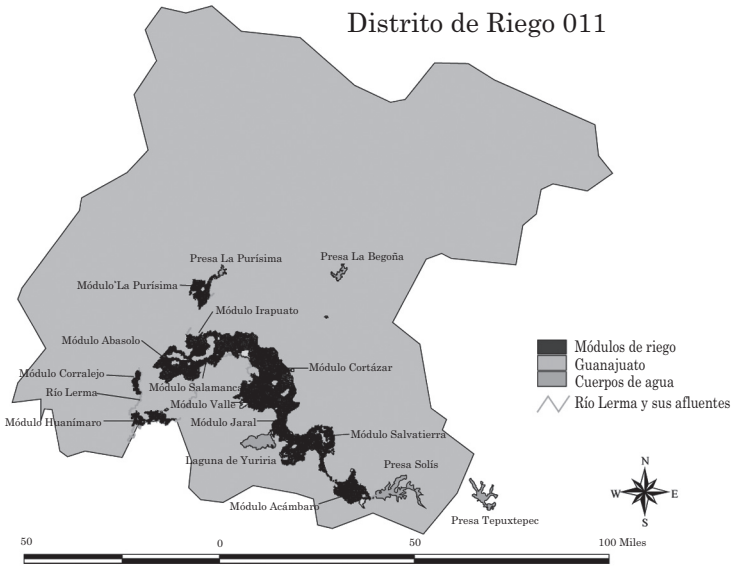
	Nacional	Organismo de cuenca VIII	Guanajuato	DR011
Usuarios	453 649	85 303	27 901	25 254
Superficie de riego (ha)	2 547 384	310 875	110 950	103 029
Volumen de agua (millares de m^3)	31 052 373	3 697 970	1 273 277	1 189 400
Lámina bruta de riego (cm)	122	119	Sd	115.4

Fuente: Conagua, 2009a.

El DR011 se encuentra en el centro de México, al sur del estado de Guanajuato, en la región conocida como el Bajío. La fuente natural que abastece a los 11 módulos del distrito es el sistema Tepuxtepec-Solís, Laguna de Yuriria y presa La Purísima. La presa Tepuxtepec es una obra cuya finalidad es la generación de energía eléctrica, pero al situarse aguas arriba de la presa Solís, forma parte importante del sistema hidráulico general. A partir de octubre de 2009, esta presa es administrada por la Comisión Federal de Electricidad en coordinación con la Comisión Nacional del

Agua, y su programa de operación se ajusta en función de las necesidades de agua que tiene la Jefatura del Distrito. La presa La Purísima se abastece del río Guanajuato y es fuente principal y única del módulo La Purísima. La Laguna de Yuriria es un vaso de almacenamiento que se abastece de un canal alimentado directamente del río Lerma.

Mapa 2. Localización del DR011

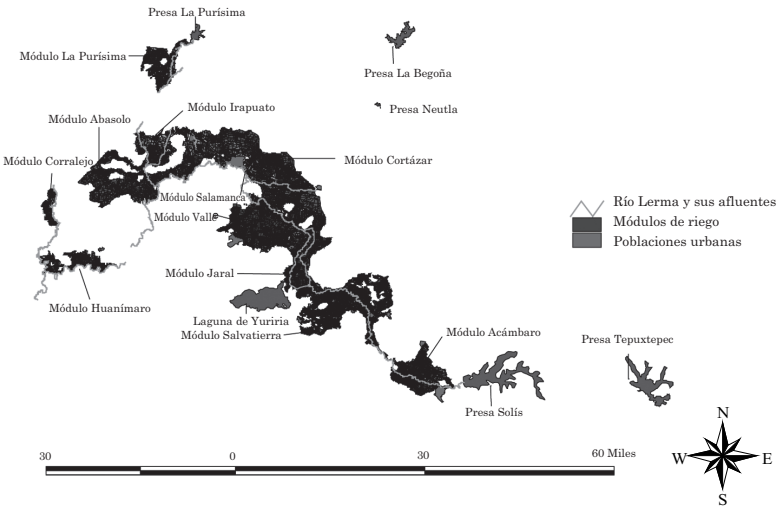


Fuente: Conagua, 2007c.

El DR011 (mapa 3) tiene alrededor de 450 kilómetros de canales primarios y 1 192 kilómetros de canales secundarios; el canal más importante del DR011 es el canal primario Antonio Coria, que cuenta con 118 kilómetros. Este canal abastece a los módulos de Cortazar, Irapuato, Abasolo y Corralejo. El canal primario Bajo Salamanca abastece al módulo Salamanca. De la presa derivadora Lomo de Toro,

donde nace el canal Antonio Coria, parte el canal principal Brazo Izquierdo, de 20 kilómetros de longitud, que abastece a los módulos Jaral del Progreso, Valle de Santiago y parte de Salamanca. El canal principal Huanímaro que abastece al módulo del mismo nombre, también parte de la presa Lomo de Toro, pero se integra al río Lerma hasta la presa derivadora Markazuza de donde se lleva el agua al canal Huanímaro. El módulo Corralejo se encuentra entubado casi en su totalidad, y el módulo Acámbaro se riega con el canal principal San Cristóbal, el cual sale directamente de la presa Solís. De la presa derivadora Chamácuaro que se encuentra sobre el río Lerma, salen los canales principales San Nicolás margen derecha del río y el canal Ardillas por la margen izquierda, para regar el módulo Salvatierra.

Mapa 3. DR011: módulos de riego, poblaciones urbanas y afluentes



Fuente: Conagua, 2007c.

Breve descripción de la investigación: módulos, muestra, cultivos, segmentación de usuarios[1]

El diseño del trabajo de campo que sustenta esta investigación partió de la información que sobre unidades de producción, tenencia de la tierra, ubicación geográfica, sistemas de riego, equipo de bombeo, identificación del propietario, superficie física y de riego y fecha de levantamiento de los datos, proporcionó la Comisión Nacional del Agua en archivos formato Arcview GIS 3.2 para los 11 módulos del DR011.

Esta información permitió seleccionar las unidades más cercanas a los diferentes brazos del río Lerma, de los siete módulos que colindan con estos cuerpos de agua: Cortazar, Salvatierra, Jaral del Progreso, Valle de Santiago, Salamanca, Salvatierra y Acámbaro. Se hicieron diferentes tratamientos estadísticos a la información (anexo 1) y se encontró que en general, la superficie del DR011 está altamente fraccionada. Por esta razón, se decidió que el tamaño de las unidades de producción sería un segundo criterio de selección, después de la cercanía a los cuerpos de agua.

La información de la Conagua no incluía el patrón de cultivos, por lo que fue necesario recurrir directamente a los siete módulos seleccionados para obtener los directorios correspondientes y poder seleccionar a los usuarios de acuerdo con la superficie de cada cultivo y el tipo de riego. El número total de cuestionarios que se aplicaron (145) estuvo en función del número de personas involucradas en el levantamiento y el presupuesto disponible. La encuesta se levantó entre junio y diciembre de 2008, periodo en el cual se tomaron 58 muestras de agua en 12 puntos importantes de confluencia de canales (véase capítulo 4 sobre contaminación del agua por plaguicidas).

[1] Véase nota metodológica (anexo 1).

El presente trabajo solo incluye la información que se refiere a los cuatro cereales más importantes en Guanajuato: maíz, trigo, sorgo y cebada, los cuales representan 90% de la superficie sembrada y 79% en la muestra calculada (cuadros 4 y 5).

Cuadro 4. Principales cereales en el DR011. Total y muestra del año agrícola 2007 2008

	Superficie sembrada		
	DR011 (hectáreas)	Muestra (hectáreas)	Muestras/DR011 (%)
Total	171 819.00	4 157.55	2.42
Subtotal	155 237.00	3 287.61	9.47
Maíz	30 955.00	1 015.37	3.28
Sorgo	49 549.00	755.18	1.52
Trigo	49 890.00	712.95	1.43
Cebada	24 843.00	804.11	3.24

Fuente: Pérez Espejo, 2007.

Cuadro 5. Principales cereales en el DR011. Total y muestra del año agrícola 2007 2008

	Superficie sembrada			
	DR011 (hectáreas)	%	Muestra (hectáreas)	(%)
Total	171 819.00	100.00	4 157.55	100.00
Subtotal	155 237.00	90.35	3 287.61	79.08
Maíz	30 955.00	18.02	1 015.37	24.42
Sorgo	49 549.00	28.84	755.18	18.16
Trigo	49 890.00	29.04	712.95	17.15
Cebada	24 843.00	14.46	804.11	19.34

Fuente: Pérez Espejo, 2007.

Bibliografía

Conagua [2006] Estadísticas del agua en México. Edición 2006. SINA. México

_____ [2007a], *Estadísticas hidroagrícolas de los Distritos de Riego*, México, Semarnat.

_____ [2007b] "Formulación del Programa Hídrico por Organismo de cuenca, Visión 2030, de la Región Hidrológico-Administrativa VIII, Lerma-Santiago-Pacífico" (*online text*), México, Comisión Nacional del Agua, <http://www.conagua.gob.mx/OCLSP07/NotaP/FINALaa-ResumenEjecutivo.pdf>, 4 de agosto 2011.

_____ [2007c], *Distritos de riego de la República Mexicana,* Sistema Integrado de Gestión Administrativa, Comisión Nacional del Agua.

_____ [2009a], *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año agrícola 2007/08*, México, Comisión Nacional del Agua, p. 309.

_____ [2011], *Distritos de Riego*, México, Subdirección General de Infraestructura Agrícola, <http://www.conagua.gob.mx/atlas/atlas.html?seccion=2&mapa=4>, acceso 14 de noviembre.

Cotler, H., Mazari, M., y De Anda, J. [2006], *Atlas de la cuenca Lerma-Chapala. Construyendo una visión conjunta*, México, Semarnat, INE, UNAM, Instituto de Ecología.

Cruz, F., V., Valdivia, R., Alcalá, y C., Scott A. [2002], "Pro-ductividad del agua en el DR011, Alto Río Lerma", *Agrociencia*, México, (36), pp. 483-439.

INE [2012], *Localización de la cuenca Lerma-Chapala, México*, México, Instituto Nacional de Ecología, <http://www2.ine.gob.mx/emapas/lch_localiza.html>, acceso 11 de enero.

INEGI [2010], *Sistema de cuentas nacionales de México. Producto Interno Bruto por entidad federativa 2005-2009,* México, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, p. 363.

Kloezen, Wim H., Garcés-Restrepo, Carlos,y Johnson III, Sam H. [1997], "Los impactos de la transferencia del

manejo del riego en el Distrito de Riego Alto Río Lerma, México", *Informes de investigación,* México, Instituto Internacional para el Manejo de la Irrigación, <http://publications.iwmi.org/pdf/H_22446.pdf>, 15, pp. 5-34.

Pérez Espejo, Rosario [2007], *Politicas agroambientales para el control de la contaminación del agua*, Proyecto PAPIIT IN 35107 (ed.), México, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM.

Sagarpa [2011], *Guanajuato. Indicadores estatales agroeconómicos*, Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios (ed.), México, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: p. 6.

Salcedo, Irma [2005], "Buscando la organización después de la transferencia en los Distritos de Riego de México", *Geografía Agrícola*, México, (35), pp. 151-160.

Sandoval-Minero, Ricardo y Almeida-Jara, Raúl [2006], "Public policies for urban wastewater treatment in Guanajuato, Mexico", Cecilia Tortajada Asit K. Biswas, Benedito Braga, Diego J. Rodríguez (ed.), *Water quality management in the Americas*: *Springer*, Agencia Nacional de Aguas, pp. 147-166.

Semarnat [2001], *Programa Nacional de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2001-2006*, México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, p. 164.

_____ [2006], "Acuerdo por el que se da a conocer el estudio técnico de los recursos hídricos del área geográfica Lerma-Chapala", *Diario Oficial de la Federación,* México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 8-50, <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/EstTecLermaChapalar.pdf>, acceso 13 de octubre de 2011.

Vargas-Velázquez, Sergio [2010], "Aspectos socioeconómicos de la agricultura de riego en la cuenca Lerma-Chapala", revista *Economía, Sociedad y Territorio*, México, El Colegio Mexiquense, A.C., X (32), pp. 231-263.

Vulnerabilidad del agua y análisis de información sobre uso de atrazina

*Anne M. Hansen**
*Luis Carlos González-Márquez***

En este capítulo se recopiló información del ciclo agrícola 2003-2004 y se analizó el uso de atrazina en los distritos de riego DR011 (Alto Río Lerma) y DR085 (La Begoña) del estado de Guanajuato, encontrando aplicaciones de aproximadamente 116.5 t en el DR011 y 2.1 t en el DR085, correspondiendo principalmente a los cultivos de maíz y sorgo. Se estimó el riesgo de infiltración de atrazina mediante índices de lixiviación. Para evaluar la atenuación natural del herbicida, se utilizaron coeficientes de adsorción, mineralización

*Trabaja en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Bajo su cargo se creó el Laboratorio de Hidrogeoquímica. Imparte cursos y dirige tesis de posgrado en Ingeniería Ambiental y en Ciencias de la Tierra. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI), con nivel II. Es miembro fundador del Instituto Nacional de Geoquímica, y de 1994 a 1996 fue presidente de dicha asociación. Contacto: ahansen@tlaloc.imta.mx

**Es Profesor Investigador en la Universidad de Occidente, adscrito al departamento de Ingeniería y Tecnología. Forma parte del (SNI), como candidato a investigador nacional, y es investigador honorífico del Sistema Sinaloense de Investigadores y Tecnólogos. Es parte del cuerpo académico en Formación, Manejo y Preservación del Medio Ambiente.

y contenido de carbono reportados para suelos mexicanos. Los índices de lixiviación estimados para atrazina en las áreas de aplicación del herbicida en los distritos de riego, indicaron riesgos que varían entre alto y moderado.

Introducción

El uso de plaguicidas en la agricultura desempeña un papel esencial para el control de las plagas y enfermedades de las plantas. Sin embargo, estos también pueden producir efectos indeseables para el ambiente, tales como la destrucción colateral de algunas especies, el desarrollo de inmunidad por las plagas, la acumulación en la cadena alimenticia, así como la acumulación en cuerpos de agua [Barceló y Hennion, 1997; Gilliom *et al.,* 2006].

Atrazina es un herbicida pre y posemergente usado para el control selectivo de malezas en zonas agrícolas de México [Hansen *et al.,* 2006; Hernández-Antonio y Hansen, 2011]. Pertenece al grupo de las triazinas, es moderadamente soluble e hidrofóbica. Su nombre químico, según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés), es 6-cloro-N_2-etil-N_4-isopropil-1, 3, 5-triazina-2, 4-diamina. Los principales productos de degradación de atrazina son hidroxiatrazina, desisopropilatrazina y desetilatrazina [ATSDR, 2004].

Desde la década de los años sesenta, se ha usado ampliamente el herbicida atrazina para control de hierbas de hoja ancha [Guillén-Garcés *et al.,* 2007]. Sin embargo, se relaciona el uso de este herbicida con diferentes riesgos para la salud, tales como la genotoxicidad o capacidad de causar daño en el material genético, y posible carcinotoxicidad, que puede causar cáncer en animales o humanos [USEPA, 2011]. Por ello, se ha prohibido el uso de atrazina en varios países europeos; sin embargo, su uso no se ha prohibido ni restringido en la mayoría de los países asiáticos, africanos y americanos [Kegley *et al.,* 2010]. En Estados

Unidos se utilizó atrazina en cultivos de maíz, pero actualmente su uso está restringido para reducir los riesgos de contaminar fuentes de agua para consumo humano [USEPA, 2011]. En México se utiliza atrazina sin restricción alguna en cultivos de sorgo, caña, maíz, y piña, y su uso está registrado por la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Químicas [Cicoplafest, 2004].

Tanto atrazina como sus productos de degradación (metabolitos), son altamente móviles debido a su baja afinidad con los componentes del suelo y sus pequeñas constantes de adsorción [Mersie y Seybold, 1996]. Asimismo, las formulaciones de este herbicida contienen emulsificantes, que facilitan la suspensión en el agua y su movilidad. Debido a estas propiedades, se considera que tanto la atrazina como sus metabolitos pueden llegar a contaminar el agua tanto superficial como subterránea [Goolsby y Battaglin, 1995]. Se ha detectado atrazina y sus metabolitos en agua drenada [Moorman *et al.,* 1994], y las concentraciones en agua subterránea [Belluck *et al.,* 1991] y agua superficial [Kolpin y Kalkhoff, 1993] pueden representar un riesgo para la salud [Hernández-Antonio y Hansen, 2011]. En México, son relativamente escasos los estudios sobre la distribución geográfica de plaguicidas en muestras ambientales y se centran principalmente en plaguicidas organoclorados [Alegría *et al.,* 2006; Benítez y Bárcenas, 1996; Caldas *et al.,* 1999; Gutierrez-Galindo *et al.,* 1998; Hernández-Romero *et al.,* 2004; Osuna *et al.,* 1998; Ramírez *et al.,* 2008; Rueda *et al.,* 1997; Van Afferden *et al.,* 2005; Wong *et al.,* 2008].

Se han desarrollado diferentes estudios para caracterizar y evaluar la migración de atrazina en diferentes suelos de nuestro país [González-Márquez y Hansen, 2009; Guillén-Garcés *et al.,* 2007; Hansen y Van Afferden, 2001; Raymundo *et al.,* 2009; M. Van Afferden y Hansen, 2001]. Mediante estudios experimentales y simulación numérica, se evaluaron los procesos de atenuación natural del herbicida y su

migración en el perfil de suelo. Los resultados indican que la atrazina puede presentar vidas medias que varían entre pocos días y varios años, y que algunos componentes del suelo, tales como el contenido de nutrientes nitrogenados y la salinidad, pueden afectar la persistencia y por ende, el riesgo de contaminar el agua subterránea por la lixiviación del herbicida.

En este trabajo se utilizó un índice de lixiviación para estimar el potencial riesgo de contaminar el agua subterránea por uso de atrazina.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo es la estimación de riesgos de contaminación del agua subterránea por uso de atrazina en el DR011 (Alto Río Lerma) y el DR085 (La Begoña).

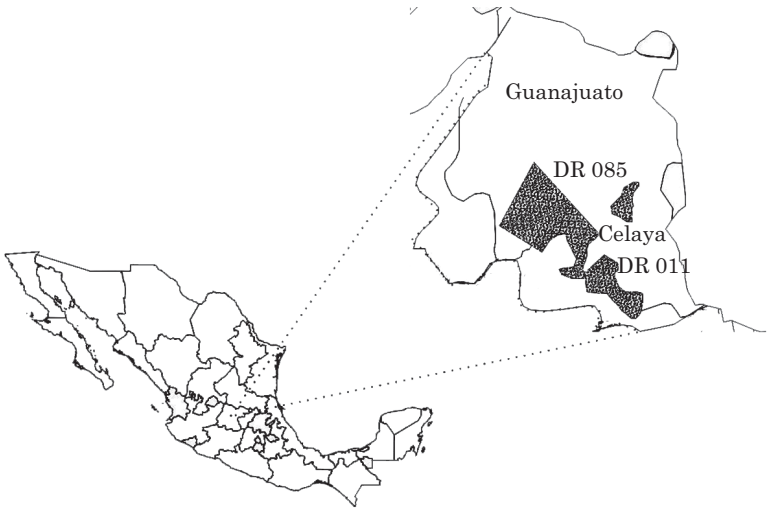
Descripción del área de estudio

En el mapa 1 se muestran las zonas agrícolas de los DR011 y 085 en el estado de Guanajuato.

Se puede apreciar que estas zonas agrícolas se ubican cerca de cuerpos de agua, abarcando suelos adecuados para esta actividad. La atrazina se utiliza principalmente en los cultivos de maíz, sorgo, caña de azúcar y piña [Conagua, 2004], por lo que estos cultivos se utilizaron como indicadores del uso del herbicida.

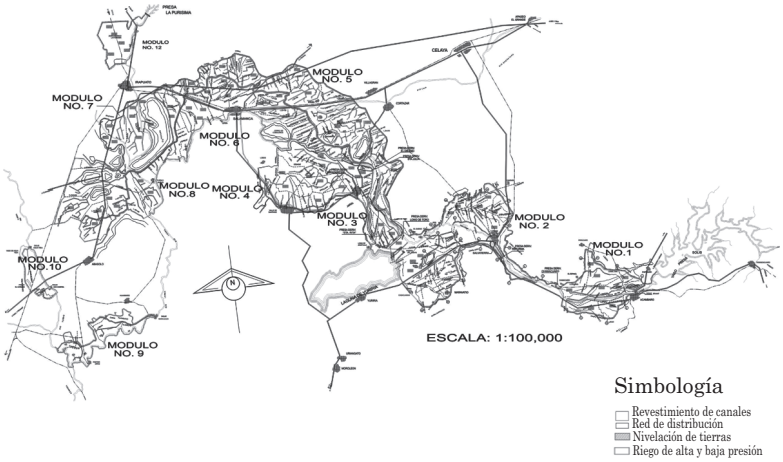
El clima en la región es predominantemente semicálido subhúmedo, con lluvias en verano, siendo la precipitación del mes más seco menor que 40 mm. Los distritos de riego se encuentran sobre las márgenes de los principales ríos del estado, río de la Laja, río Lerma y río Turbio. En el mapa 2 y mapa 3 se muestran los DR011 y 085, respectivamente, divididos en módulos, y señalando los principales ríos y ciudades del estado.

Mapa 1. Distritos de riego en el estado de Guanajuato



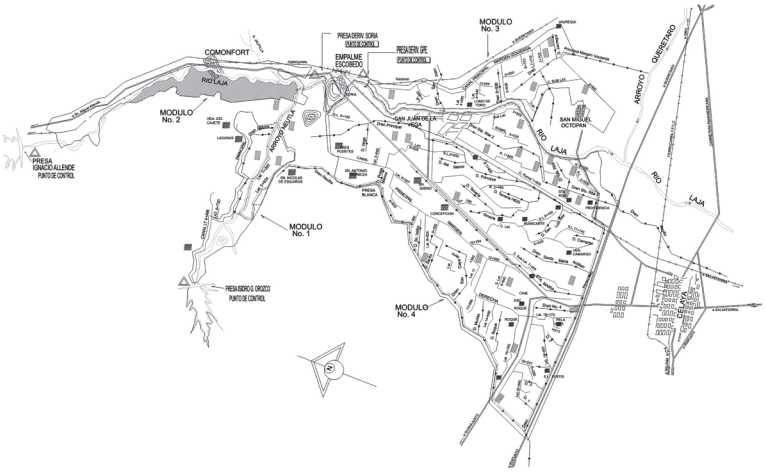
Fuente: Conagua e IMTA, 2002.

Mapa 2. DR011 Alto Río Lerma



Fuente: Conagua e IMTA, 2002.

Mapa 3. DR085 La Begoña



Fuente: Conagua e IMTA, 2002.

Información hidroagrícola

La superficie de riego en el DR011 es de 112 772 hectáreas (ha). Las presas Solís, La Purísima y el lago Yuriria son los cuerpos de agua que abastecen el distrito a través de los canales principales Acámbaro, Salvatierra, Jaral-Valle, Cortázar y Abasolo. En el DR085, la superficie de riego es de 10 822 ha. Las fuentes de agua que abastecen el distrito son la presa Ignacio Allende y la presa Isidro G. Orozco, así como mediante el bombeo de corrientes. La distribución se hace a través del canal principal Margen Derecha y el canal principal Margen Izquierda. En el cuadro 1 se presentan los volúmenes utilizados.

En el cuadro 2 se presenta el número de pozos para uso agrícola y humano, así como la profundidad del manto freático en los DR011 y 085. Se puede observar que el módulo Abasolo del DR011 presenta el mayor número de pozos totales, mientras que el módulo Cortazar del mismo distrito de riego presenta la mayor cantidad de pozos para consumo humano.

Cuadro 1. Volúmenes de agua extraída en los DR011 y 085

Distrito de riego	Fuentes de abastecimiento de agua	Volumen anual utilizado (millones de m^3)
DR011	Presa Ignacio Allende	189.3
	Presa Isidro G. Orozco	4.6
	Bombeo corrientes	53
DR085	Presa Solís	790
	Lago Yuriria	28
	La Purísima	31

Fuente: Conagua e IMTA, 2002.

Cuadro 2. Fuentes de abastecimiento de agua en los DR011 y 085

Distrito de riego	Módulo	Profundidad del manto freático (m)	Número de pozos para uso agrícola	Número de pozos para consumo humano	Total de pozos
DR011	Acámbaro	30	92	19	111
	Salvatierra	40	196	48	244
	Jaral	85	164	3	167
	Valle	60	245	62	307
	Cortazar	70	292	0	292
	Salamanca	60	195	0	195
	Irapuato	60	165	0	165
	Abasolo	50	277	50	327
	Huanímaro	30	68	20	88
	Corralero	30	26	5	31
	La Purísima	60	52	0	52
DR085	Margen derecha	70	68	0	68
	Margen izquierda	70	8	0	8
	Comonfort	80	36	0	36
	Neutra	80	5	0	5

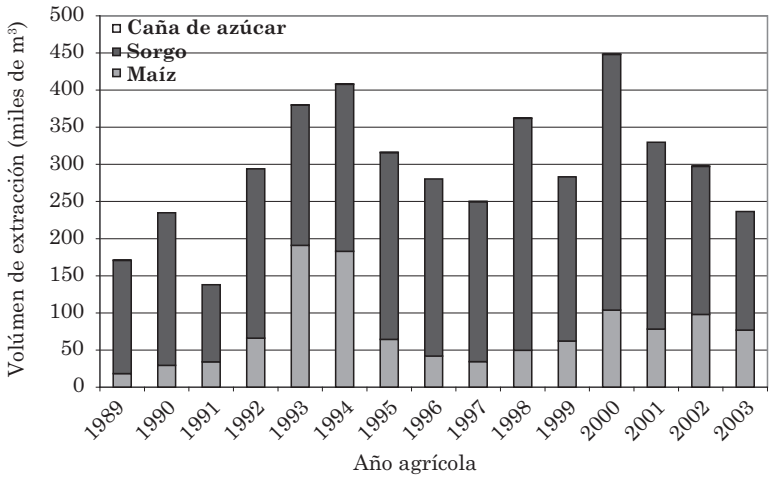
Fuente: Conagua e IMTA, 2002.

En la gráfica 1 y gráfica 2 se muestra la evolución de extracción de agua en los distritos de riego por año y para los cultivos en los que se aplica atrazina. Aun cuando en el DR011 se cultiva caña de azúcar, los volúmenes de riego asignados a este cultivo son mínimos y actualmente tienden a desaparecer (véase anexo 2, cuadro 11). Por otro lado, el maíz y sorgo siguen ciclos de incremento y decaimiento en el consumo de agua de tres a cuatro años.

USO DE ATRAZINA

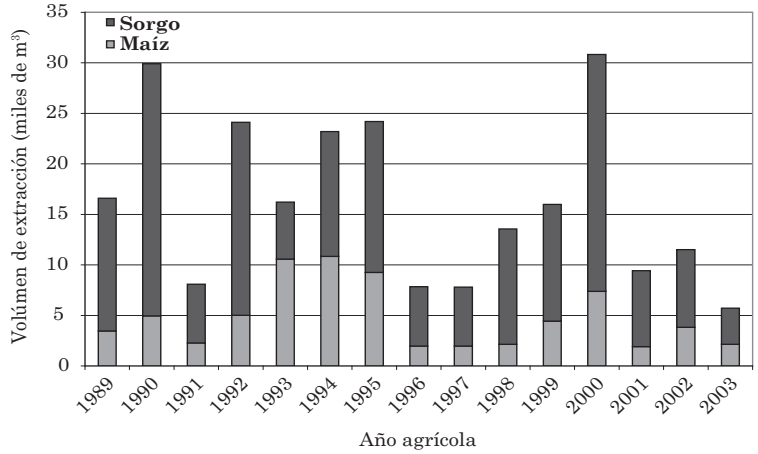
De acuerdo con Conagua [2007], en los últimos tres años para ambos distritos, los cultivos más importantes en los ciclos de primavera-verano, son maíz y sorgo (véase anexo 2: cuadro 12, cuadro 13, cuadro 14, cuadro 15 y cuadro 16), en el ciclo de otoño-invierno también se cultivan, pero no son los más importantes (véase anexo 2: cuadro 17).

Gráfica 1. Volúmenes de extracción de agua en el DR011



Fuente: Conagua, 2007.

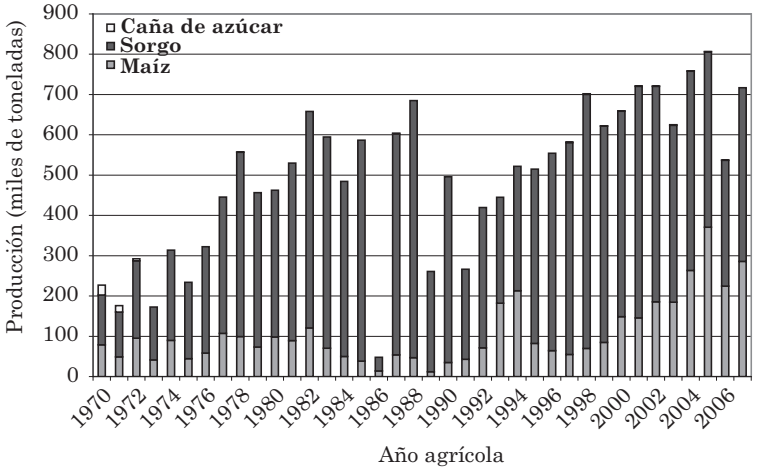
Gráfica 2. Volúmenes de extracción de agua en el DR085



Fuente: Conagua, 2007.

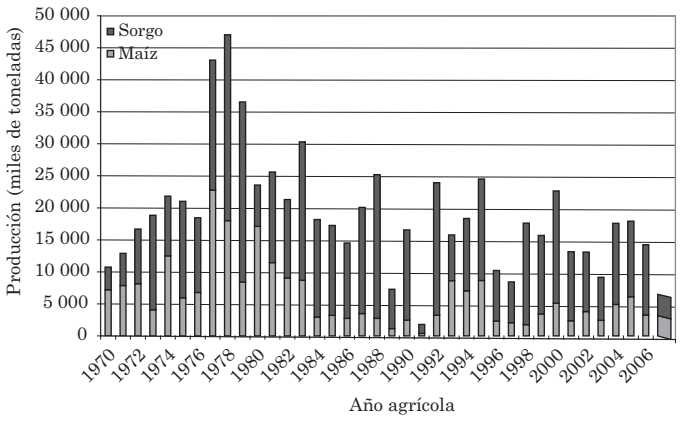
La producción de maíz y sorgo se ha incrementado desde los años setenta en el DR011 (gráfica 3). En la gráfica 4 se presenta la evolución de cultivos de maíz y sorgo en el DR085 en el mismo periodo.

Gráfica 3. Producción histórica de maíz, sorgo y caña de azúcar en el DR011



Fuente: Conagua, 2007.

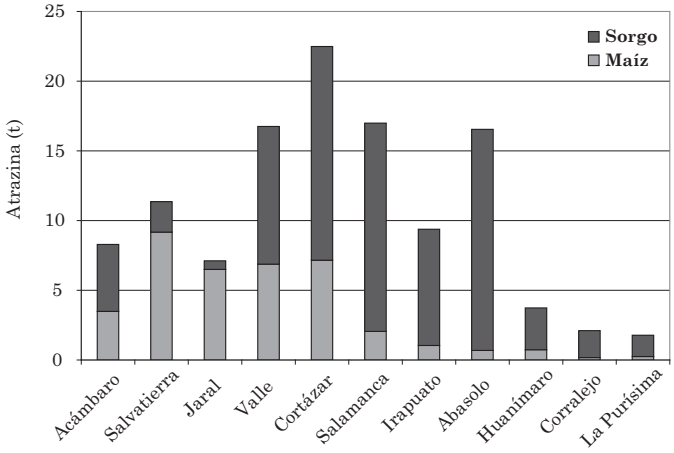
Gráfica 4. Producción histórica de maíz y sorgo en el DR085



Fuente: Conagua, 2007.

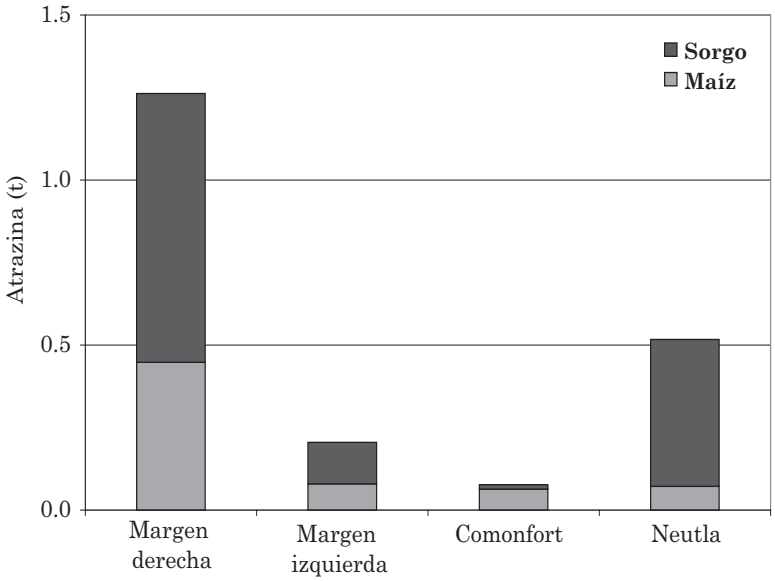
Durante el periodo 2003-2004 se reportó un uso de atrazina de cerca de 116.5 t en el DR011, mientras que para el DR085, el consumo fue de 2.1 t. El uso del herbicida en los diferentes módulos de los distritos de riego se presenta en la gráfica 5 y gráfica 6.

Gráfica 5. Uso de atrazina en el DR011, periodo 2003-2004



Fuente: Conagua, 2004.

Gráfica 6. Uso de atrazina en el DR085, periodo 2003-2004.



Fuente: Conagua, 2004.

En la gráfica, se puede observar que se presentó mayor uso de atrazina en el DR011 y se aplicó mayor cantidad del herbicida en el módulo Cortazar, de aproximadamente 22.5 t, principalmente en los cultivos de maíz y el sorgo [Conagua, 2004].

De acuerdo con Sagarpa, Delegación Guanajuato [Sagarpa, 2008], en el año 2007 se vendieron aproximadamente 79 500 litros de atrazina en el estado, mismos que fueron utilizados como se muestra en el cuadro 3. Los nombres comerciales más comunes de los plaguicidas que contienen atrazina como ingrediente activo son: Gesaprim autosuspensible con 480 g de ingrediente activo por litro (i.a./L) y Gesaprim calibre 90 GDA con 900 g de ingrediente activo por kilo (i.a./kg) en formulación de gránulos solubles en agua.

Cuadro 3. Uso de atrazina en los distritos de riego en el estado de Guanajuato, 2007

Área de uso	Volumen (L)
Celaya, Comonfort y Querétaro (DR085)	10 000
Irapuato, Salamanca, Abasolo y Pénjamo (DR011, módulos 3, 4, 5)	20 000
León, San Francisco del Rincón, Manuel Doblado (DR011, módulos, 5, 7, 12)	4 500
Bajío de Guanajuato (DR011, módulos 7, 8, 9, 10)	45 000
TOTAL	79 500

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, en los módulos 7, 8, 9 y 10 del DR011 se aplica mayor cantidad de atrazina, siendo maíz y sorgo los principales cultivos de aplicación del herbicida. Estos cultivos son los más importantes de la temporada de primavera-verano. En los cultivos de caña de azúcar también se aplica atrazina, pero en el DR011 se cultiva en cantidades mínimas.

Estimación de riesgos de contaminación del agua subterránea por uso de atrazina

La estimación de riesgos de contaminar el agua subterránea por plaguicidas es un tema importante, tanto desde el punto de vista ecológico como de salud humana. Sin embargo, la interpretación de los procesos involucrados en la migración de plaguicidas al suelo mediante ecuaciones matemáticas es muy compleja [Paraiba y Spadotto, 2002], debido a que el transporte de los plaguicidas a través de las zona no saturada se ve afectado por un gran número de procesos físicos, químicos y bilógicos (adsorción, desorción, degradación química y biológica, volatilización, fotólisis, etcétera).

Sin embargo, hay dos formas para estimar el destino ambiental de plaguicidas [Kogan *et al.,* 2007]:

Modelos matemáticos

Estos modelos consideran la lixiviación de plaguicidas en la zona vadosa, incluyendo el transporte y la atenuación natural de los plaguicidas. Modelos de este tipo son GLEAMS, Leachm, PELMO (Pesticide Leaching Model) y PRZM (Pesticide Root Zone Model), que se utilizan en estudios de regulación e investigación de plaguicidas. Requieren de un elevado número de datos de partida, así como datos experimentales de los principales procesos involucrados en la migración de plaguicidas (adsorción y degradación), para obtener resultados confiables.

Índices de lixiviación (IL)

Estos modelos, tales como el GUS (Groundwater Ubiquity Score) [Gustafson, 1993] y el PLP (potencial de lixiviación) [NCCES, 1997], por lo general requieren menor cantidad de datos y, debido a que son más fáciles de manejar, pueden ser usados como referencia rápida para establecer prioridades relacionadas con la lixiviación de plaguicidas.

La mayoría de los IL consideran como factores principales para calcular el potencial de lixiviación de plaguicidas los procesos de atenuación natural de estos, mediante los coeficientes de adsorción (kd y K_{oc}) y degradación, así como la persistencia (DT_{50}). Con estos parámetros se estima el riesgo de lixiviación de los plaguicidas. Sin embargo, los procesos de adsorción y degradación de un determinado plaguicida dependen de diversos factores, como el tipo de suelo, las concentraciones de nutrientes, la salinidad, humedad, temperatura, condiciones redox, adaptación de los microorganismos al plaguicida, etc. Por tanto, el uso de estos modelos puede generar resultados poco consistentes con lo que pasa en el campo. Sin embargo, proporcionan de manera rápida los potenciales de lixiviación de los plaguicidas en zonas en las que no se cuenta con suficientes datos para realizar una simulación mediante modelos matemáticos.

Uno de los IL más utilizados es el GUS [Gustafson, 1993]. El índice GUS se determina a partir de qué tan fácil se transportan los plaguicidas en el perfil del suelo debido a la percolación del agua, y de qué tan rápido se transforman sus metabolitos por la biodegradación y las reacciones químicas en el suelo. El índice GUS se basa en la aplicación de una función obtenida a partir de valores de plaguicidas detectados en las aguas subterráneas, y se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$\text{GUS} = \log(DT_{50}) \times (4 - \log(K_{oc}))$$

donde:

GUS es el índice de lixiviación del plaguicida,
DT_{50} es la vida media del plaguicida,
K_{oc} es el coeficiente de partición del plaguicida en la fracción de carbono orgánico del suelo.

Altos valores de GUS indican plaguicidas altamente lixiviables (GUS > 2.8), bajos valores indican plaguicidas no lixiviables (GUS < 1.8), mientras que los valores intermedios, 1.8 < GUS < 2.8, representan plaguicidas "de transición".

Otro IL es el PLP, índice que considera la vida media del plaguicida (DT_{50},), el carbono orgánico (K_{oc}) del suelo, así como la tasa de aplicación y la fracción del plaguicida que alcanza el suelo durante su aplicación. El PLP es calculado a partir de la siguiente ecuación.

$$\text{PLP} = (DT_{50} \times R \times F)/K_{oc}$$

donde:

PLP es el potencial de lixiviación del plaguicida,
DT_{50} es la vida media del plaguicida,
K_{oc} es el coeficiente de partición del plaguicida en la fracción de carbono orgánico del suelo
R es la tasa de aplicación del plaguicida
F es la fracción del plaguicida que alcanza el suelo durante su aplicación en campo

Los valores del PLP varían entre 0 y 100. Índices entre 0 y 20 representan potenciales de lixiviación muy bajos (MB), entre 20 y 39, índices bajos (B), entre 40 y 59, moderados (M), entre 60 y 79, altos (A), mientras que índices entre 80 y 100, representan potenciales de lixiviación muy altos (MA).

Se estimaron los riesgos de infiltración de atrazina en los DR011 y 085, considerando el índice PLP, por incluir este mayor cantidad de parámetros que afectan la lixiviación de plaguicidas al agua subterránea. Asimismo, se emplearon promedios de coeficientes de adsorción y de mineralización del herbicida, reportados en la literatura [González-Márquez y Hansen, 2009; Guillén-Garcés *et al.,* 2007; Hansen *et al.,* 2006], así como valores promedio de contenido de carbono para suelos minerales [Tinsley, 2004]. En el cuadro 4 se presentan los datos utilizados para la estimación, así como los valores estimados del índice PLP en el DR011.

Los valores de PLP en los módulos del DR011 varían entre 40 y 60. Los potenciales de lixiviación en los módulos Salvatierra y Corralejo fueron altos, mientras que fueron moderados para el resto del distrito. En el DR085, los potenciales de lixiviación fueron moderados (cuadro 4). Estos resultados indican riesgos de lixiviación alto y moderado en las áreas de aplicación de atrazina, respecto a la lixiviación del herbicida.

Mediante los índices de lixiviación se puede estimar de manera rápida el riesgo de contaminar cuerpos de agua subterránea. Sin embargo, para estimar la concentración de atrazina que podría alcanzar al agua subterránea, así como los tiempos de arribo, es necesario utilizar modelos matemáticos más complejos que requieren caracterizar los principales componentes involucrados en la atenuación natural de la atrazina, así como las características de los tipos de suelo y las condiciones climáticas de la zona de estudio.

Cuadro 4. Índices de lixiviación de atrazina en los DR011 y 085

DR	Módulo	Suelos dominantes	Aplicación (kg/ha)	DT_{50} (d)	K_{oc}	F	PLP	Impacto del PLP
11	Acámbaro	arcilloso	2.00	1 180.4	58.6	1	40	M
	Salvatierra	arcilloso	3.00	1 180.4	58.6	1	60	A
	Jaral	arcilloso	2.00	1 180.4	58.6	1	40	M
	Valle	arcilloso	2.50	1 180.4	58.6	1	50	M
	Cortazar	arcilloso	2.50	1 180.4	58.6	1	50	M
	Salamanca	arcilloso	2.50	1 180.4	58.6	1	50	M
	Irapuato	arcilloso	2.50	1 180.4	58.6	1	50	M
	Abasolo	arcilloso	2.50	1 180.4	58.6	1	50	M
	Huanímaro	arcilloso	2.00	1 180.4	58.6	1	40	M
	Corralero	arcilloso	3.00	1 180.4	58.6	1	60	A
	La Purísima	arcilloso	2.50	1 180.4	58.6	1	50	M
85	Margen derecha	arcilloso	2.00	1 180.4	58.6	1	40	M
	Margen izquierda	arcilloso	2.00	1 180.4	58.6	1	40	M
	Comonfort	arcilloso	2.00	1 180.4	58.6	1	40	M
	Neutra	arcilloso	2.00	1 180.4	58.6	1	40	M

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Mediante la aplicación de índices de lixiviación se estimó el riesgo de contaminación de cuerpos de agua subterránea. Los principales factores que influyen en el riesgo de lixiviación de la atrazina en los módulos Salvatierra y Corralejo fueron las dosis de aplicación y la vida media del herbicida.

Por lo anterior, se recomienda aplicar solo la cantidad de atrazina necesaria. Asimismo, para que la atrazina tenga tiempo para ejercer su efecto herbicida y para reducir el riesgo de infiltración, se recomienda aplicarla días después del riego.

Para evaluar las concentraciones de atrazina transportadas al agua subterránea, así como los tiempos de arribo, es necesario utilizar modelos matemáticos más complejos, que incluyen los principales procesos involucrados en la atenuación natural de atrazina, tales como la adsorción y degradación, así como de las características de los suelos y las condiciones climáticas de la zona de estudio. Para ello, se recomienda evaluar la atenuación natural del herbicida en los suelos del área de estudio.

Bibliografía

Alegria, Henry, Bidleman, Terry F., y Figueroa, Miguel Salvador [2006], "Organochlorine pesticides in the ambient air of Chiapas, México", *Environmental Pollution,* 140 (3), pp. 483-491.

ATSDR [2011], *Atrazina*, Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, <http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts153.html>, acceso 11 de octubre.

Barceló, D. y Hennion, M.C. [1997], *Pesticides and their degradation products in water*, Ámsterdam, Países Bajos, Elsevier Science.

Belluck, D. A., Benjamin, S. L., y Dawson, T. [1991], "Groundwater contamination by atrazine and its metabolites: Risk assessment, policy and legal implication", Coats J. R. Somasundaram L. (ed.), *Pesticide Transformation Products: Fate and Significance in the Environment,* Washington, DC, American Chemical Society, pp. 254-273.

Benítez, J. A. y Bárcenas, C. [1996], "Patrones de uso de los plaguicidas en la zona costera del Golfo de México.", G. J. L. Rojas A. V. Botello, J. Benítez y L. D. Zárate (ed.), *Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias,* Campeche, Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México (EPOMEX)), 155-167.

Caldas, E. D., Coelho, R., Souza, L. C. K. R., y Silva, S. C. [1999], "Organochlorine Pesticides in Water, Sediment, and Fish of Paranoá Lake of Brasilia, Brazil", *Bulletin of Environmental Contamination y Toxicology,* 62 (2), pp.199-206.

Cicoplafest [2004], *Catálogo oficial de plaguicidas*, México, Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas, Secretaría de Salud, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Economía, <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas%20y%20Fertilizantes/CatalogoPlaguicidas.aspx>, acceso 29 de noviembre de 2011.

Conagua [2004], "Uso de atrazina en los distritos de riego de Guanajuato. Comunicación personal", Gerencia estatal de Guanajuato, Subjefatura de Ingeniería de Riego y Drenaje (ed.), Guanajuato, Guanajuato, Comisión Nacional del Agua.

Conagua [2007], *Estadísticas hidroagrícolas de los distritos de riego*, México, Semarnat.

Conagua e IMTA [2002], "SINHDR Versión 3 (datos de 2002 actualizados a 2007)", México D.F., Semarnat.

Gilliom, R. J., Barbash, J. E., Crawford, C. G., Hamilton, P. A., Martin, J. D., Nakagaki, N., Nowell, L. H., Scott, J. C., Stackelberg, P. E., Thelin, P. G. , y Wolock, D. M. [2006], "The Quality of our nation's waters- Pesticides in the nation's streams and ground water, 1992-2001", *Circular 1291,* U.S. Geological Survey, 172, <http://pubs.usgs.gov/circ/2005/1291/>, acceso 26 de octubre de 2011.

González-Márquez, L. C. y Hansen, A. M. [2009], "Adsorción y mineralización de atrazina y relación con parámetros de suelos del DR 063 Guasave, Sinaloa", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Sinaloa, (26), pp. 587-599.

Goolsby, D. A. y Battaglin, W. A. [1995], "Occurrence and distribution of pesticides in rivers of the midwestern United States", E. M. K. Leovey M. L. Leng, P. L. Zubkoff (ed.), *Agrochemical Environmental Fate: State of the Art,* Florida, Estados Unidos, Lewis-Boca Raton, pp. 159-174.

Guillén-Garcés, Rosa Angélica, Hansen, Anne M., y Van Afferden, Manfred [2007], "Mineralization of atrazine in agricultural soil: Inhibition by nitrogen", *Environmental Toxicology y Chemistry,* Wiley-Blackwell, 26 (5), pp. 844-850.

Gustafson, D.I. [1993], *Pesticides in Drinking Water*, NuevaYork, Van Nostrand Reinhold, p. 288.

Gutiérrez-Galindo, E. A., Mendoza, L. M. Ríos, Muñoz, G. F., y Villaescusa Celaya, J. A. [1998], "Chlorinated hydrocarbons in marine sediments of the Baja California (México)-California (Estados Unidos) border zone", *Marine Pollution Bulletin,* 36 (1), p. 27.

Hansen, A. M. y Van Afferden, M. [2001], "Pesticide migration in Mexican agricultural soil. Landschaftökologie und Umweltforschung, heft 36", A. Herrmann y S. Schumann (ed.), *Extended Abstracts, International Workshop on Environmental Risk Assessment of Pesticides and Integrated Pesticide Management in Developing Countries*, University of Braunschweig.

Hansen, A. M., Van Afferden, M., Villada, M., y González-Márquez, L.C [2006], "Evaluación de los riesgos de la contaminación de mantos freáticos por la infiltración del herbicida atrazina a nivel nacional", Semarnat-IMTA (ed.), *Informe final del proyecto Semarnat-2002-C01-0275,* México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Hernández-Antonio, A. y Hansen, A.M [2011], "Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, México, (27), pp. 115-127.

Hernández-Romero, A. Héctor, Tovilla-Hernández, Cristian, Malo, Edi A., y Bello-Mendoza, Ricardo [2004], "Water quality and presence of pesticides in a tropical coastal wetland in southern Mexico", *Marine Pollution Bulletin,* 48 (11/12), pp. 1130-1141.

Kegley, S. E., Hill, B. R., Orme, S., y Choi, A. H. [2011], "PAN Pesticide Database", San Francisco, CA., Pesticide Action Network, <http://www.pesticideinfo.org/>, acceso 28 de noviembre.

Kogan, M., Rojas, S., Gómez, P., Suárez, F., Muñoz, J. F., y Alister, C. [2007], "Evaluation of six pesticides leaching indexes using field data of herbicide application in Casablanca Valley, Chile", *Water Science y Technology,* 56 (2), pp. 169-178.

Kolpin, Dana W. y Kalkhoff, Stephen J. [1993], "Atrazine degradation in a small stream in Iowa", *Environmental Science y Technology,* 27 (1), p. 134.

Mersie, W. y Seybold, C. A. [1996], "Adsorption and desorption of atrazine, deethylatrazine, deisopropylatrazine, hydroxyatrazine, and metolachlor in two soils from Virginia", *Journal of Environmental Quality,* 25 (6), p. 1179.

Moorman, T. B., Jayachandran, K., Kanwar, R. S., Somasundaram, L., Steinheimer, T. R., y Coats, J. R. [1994], "Occurrence of atrazine and degradates as contaminants of subsurface drainage and shallow groundwater", *Journal of Environmental Quality,* 23 (2), p. 311.

NCCES [1997], "Protecting Groundwater in North Carolina-A Pesticide and Soil Ranking System", Estados Unidos, North Carolina Cooperative Extension Service, <http://www.soil.ncsu.edu/publications/Soilfacts/AG–439–31/AG–439–31.pdf>.

Osuna, I., Galindo, J. G., y M. C., Riva [1998], "Efectos toxicológicos de plaguicidas organofosforados y organoclorados sobre camarones del género *Penaeus sp* en Sinaloa, México", *Boletín,* Sinaloa, México, Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial (114), pp. 61-70.

Paraiba, Lourival Costa y Spadotto, Claudio Aparecido [2002], "Soil temperature effect in calculating attenuation and retardation factors", *Chemosphere,* 48 (9), p. 905.

Ramírez, Q. Y., López, G. E., Barceló, Q. I. D., y Domínguez, E. Z. J [2008], "Caracterización de triazinas en la cuenca alta del río Lerma en el Estado de México", *XXXI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Santiago de Chile, XXXI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 12-15 de octubre, disco compacto.

Raymundo, R. E., Nikolski, G. L., Duwig, C., Prado, B. L. P., Hidalgo, C. I. M., Gavi, F. R., y B. S., Figueroa [2009], "Transporte de atrazina en un andosol y un vertisol de México", *Interciencia* (34), pp. 330-337.

Rueda, L. Q., Botello, A. V., y G. G., Díaz [1997], "Presencia de plaguicidas organoclorados en dos sistemas lagunares del estado de Chiapas, México", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, (13), pp. 55-61.

Sagarpa [2008], "Comunicación personal ", Jefatura de Programa de Sanidad Vegetal Delegación Guanajuato (ed.), Guanajuato, Guanajuato, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, pp.

Tinsley, I. J. [2004], *Chemical concepts in pollutant behavior*, Hoboken, NJ, Estados Unidos, John Wiley y Sons., p. 75.

USEPA [2011], *Atrazine*, United States Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/oppsrrd1/reregistration/atrazine >, acceso 28 de noviembre.

Van Afferden, M., Hansen, A. M., y Fuller, C. C. [2005], "Reconstrucción de la deposición atmosférica histórica de DDT en la laguna de Zempoala en el centro de México", *Ingeniería Hidráulica en México,* México, (20), pp. 71-83.

Van Afferden, M. y Hansen, A. M. [2001], "Influence of N-fertilization on Atrazine biodegradation and consequences for groundwater contamination", A. Herrmann y S. Schumann (ed.). *Extended Abstracts, International Workshop on Environmental Risk Assessment of Pesticides and Integrated Pesticide Management in Developing Countries*, University of Braunschweig, pp. 102-103.

Wong, Fiona, Alegria, Henry A., Jantunen, Liisa M., Bidleman, Terry F., Salvador-Figueroa, Miguel, Gold-Bouchot, Gerardo, Ceja-Moreno, Víctor, Waliszewski, Stefan M., y Infanzon, Raul [2008], "Organochlorine pesticides in soils and air of southern Mexico: Chemical profiles and potential for soil emissions", *Atmospheric Environment,* 42 (33), pp. 7737-7745.

Contaminación del agua por plaguicidas

*Marisela Bernal González**

El presente estudio se basa en el análisis de las muestras tomadas en siete módulos del Distrito de Riego 011, Alto Río Lerma (DR011) localizados en Guanajuato: Cortazar, Jaral del Progreso, Valle de Santiago, Salamanca, Huanímaro, Salvatierra y Acámbaro. Se procesaron y analizaron 66 muestras para determinar y cuantificar el porcentaje y concentración de 10 plaguicidas organoclorados (lindano, heptacloro, aldrin, epóxido de heptacloro, trasclordano, 4,4-DDE, dieldrín, 4,4-DDD, 4,4-DDT, y metoxiclor), seis plaguicidas carbámicos (carbofurán, profán, 3-OHcarbofurán, carbaril, baygón y clorprofán), y nueve plaguicidas pertenecientes a la familia de las triazinas (atrazinadesetil, simazina, atrazina, propazina, terbutilazina, prometrín, metribuzin, terbutrín, cianazina, metramitrón). Los resultados obtenidos muestran que la mayor presencia es de epóxido

*Técnica académica titular "A" tiempo completo, UNAM, PRIDE "C". Maestra en Ciencias Químicas (orientación Química Ambiental) y doctora en Ingeniería Ambiental (campo del conocimiento agua). Realizó una estancia académica de investigación en la Universidad de Umeå, en Suecia. Es auditora ISO 9000 N° 016.

de heptacloro, 4,4-DDD, metoxiclor, 4,4-DDT, profán, clorprofán, carbaril, baygón, simazina, prometrín, terbutrín, atrazinadesetil y propazina. Algunos compuestos no fueron detectados en las muestras debido a que el compuesto se degrada con el pH del agua, temperatura y presencia de luz solar; sin embargo, los resultados dan una idea general de los compuestos más utilizados en cada uno de los módulos.

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas, especialmente la agricultura cercana a los ecosistemas acuáticos, generan una gran cantidad de contaminantes, entre los que se encuentran los plaguicidas, usualmente presentes en mezclas complejas con otros compuestos.

Los plaguicidas más utilizados en México son de la familia de los carbamatos y las triazinas, que se distinguen por presentar una actividad herbicida bastante selectiva, tienen una moderada solubilidad en agua (polaridad) y, por ser biodegradables, tienden a ser de vida corta cuando están libres en el ambiente; por ello, es muy difícil darles seguimiento y asociarlos a daños ambientales [Flalkov *et al.,* 2003; Hernández *et al.,* 2001; Kochman *et al.,* 2002; Richter *et al.,* 2003].

Otro grupo mayormente utilizado, pero en vías de ser retirados del mercado, son los organoclorados (OC), cuya estructura química varía, teniendo en común la presencia de cloro en su molécula y un peso molecular de 291 a 545 g mol^{-1}. Actúan como insecticidas de ingestión y contacto, son sustancias no polares, liposolubles que tienden a acumularse en el tejido graso de los organismos vivos y en suelo; poseen una presión de vapor baja y son insolubles en agua [Ferrer, 2003].

Los efectos de estos compuestos en la salud están reportados en varios estudios por su uso intensivo en la agricultura. A continuación se presenta una breve descripción:

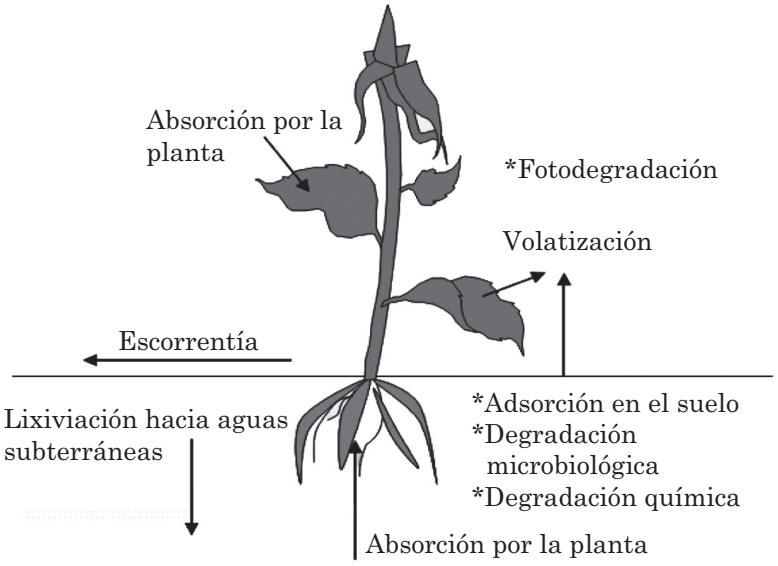
a) Los carbamatos tienen una estructura N- sustituida por el ácido esteárico carbámico ($R_1OCONR_2R_3$); su toxicidad se debe –igual que en los compuestos organofosforados–, a la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa. En los carbamatos esta inhibición es reversible y, por tanto, son menos tóxicos para los mamíferos. Los carbamatos se absorben por inhalación, ingestión, y algunos penetran por la piel, que es la ruta menos tóxica. Los carbamatos N-metilo son hidrolizados enzimáticamente por el hígado y los productos de degradación se excretan por los riñones y el hígado. Los síntomas iniciales de toxicidad son: depresión del sistema nervioso central, coma, convulsiones, hipotonía y efectos nicotínicos, hipertensión, depresión cardiorrespiratoria, disnea, broncoespasmos y broncorrea. Información reciente indica que los niños y adultos difieren en la presentación clínica; los infantes son más propensos a presentar los síntomas del sistema nervioso central mencionados.
b) Las triazinas son compuestos que absorben las plantas, sobre todo por la raíz, pero también por el follaje; una vez absorbidas migran a las partes aéreas y se acumulan en los brotes y hojas nuevas. En el aire se encuentran en forma de vapor, que reacciona con radicales hidroxilo, unidas a las partículas que se depositan eventualmente con la lluvia y el polvo. Son altamente persistentes en suelos, donde permanecen por más de un año en condiciones de baja humedad y temperaturas frías. Su movilidad varía de moderada a alta, sobre todo en suelos de zonas lluviosas con bajo contenido de arcilla y materia orgánica. Debido a su débil adsorción y su larga vida media (de 60 a más de 100 días), representan un riesgo elevado de contaminación para las aguas subterráneas. La hidrólisis química, seguida de la biodegradación son los principales

procesos responsables de su eliminación tanto en suelo como en agua. La hidrólisis es rápida en condiciones ácidas o básicas, pero lenta en pH neutro. En los cuerpos de agua su degradación es lenta, y no es de esperar que se unan fuertemente a los sedimentos. Muestran una baja tendencia a bio-acumularse en los peces, en los que se han encontrado niveles bajos de este plaguicida en cerebro, vesícula biliar, hígado y tracto digestivo.

c) Los organoclorados son sustancias no polares, liposolubles, que tienden a acumularse en el tejido graso de los organismos vivos, así como en suelo y capas subterráneas, además de ser insolubles en agua. Las vías de absorción potenciales son la inhalatoria, oral y la dérmica; la primera es, por lo general, de menor importancia, ya que el tamaño de los cristales evita que llegue a las profundidades del pulmón. Sin embargo, la inhalatoria puede existir en presencia de partículas pequeñas o por volatilización cuando el insecticida está en su fase gaseosa. La vía oral es la más importante y estudios controlados han demostrado que el pico máximo en sangre se alcanza tres horas después de la ingesta. Por último, la absorción dérmica es limitada; por ejemplo, la toxicidad del DDT por vía oral es 10 veces mayor que por vía dérmica. Los efectos de los organoclorados en la salud son daños neurológico, hepático y genético y efectos reproductivos. En humanos expuestos a altas dosis de DDT se producen síntomas neurológicos como parestesias, temblores, hiperexcitabilidad y convulsiones. Este hecho ha sido confirmado a nivel experimental y puede explicarse por alteraciones en los receptores muscarínicos y en los niveles de algunos neurotransmisores, provocando una deficiencia en la serotonina. Los metabolitos del DDT son el DDD y el DDE, los cuales se degradan hasta formar DDA que es excretado en la orina. El DDE se

excreta en la bilis, vía el ácido mercaptúrico del intestino; estos derivados se modifican por la flora intestinal y una vez modificados, se reabsorben nuevamente. La vida media para la eliminación de estos compuestos se encuentra ordenada de mayor a menor: DDE > DDT > DDD; la detección de mayores cocientes de DDD o DDT sobre DDE, podría ser indicativa de una exposición reciente.

Figura 1. Acción del plaguicida en el ambiente



Fuente: Gobierno del estado de Guanajuato, 2008.

La aplicación de plaguicidas sintéticos ha sido una práctica rutinaria en los últimos cincuenta años; debido a sus características químicas, estos compuestos son contaminantes persistentes que resisten en grado variable la degradación fotoquímica, química y bioquímica, por lo que su vida media en el ambiente puede ser elevada. Los informes

de la Organización de las Naciones Unidas estiman que de todos los plaguicidas usados en la agricultura, menos de 1% alcanza los cultivos (figura 1), el resto termina contaminando la tierra, aire y, principalmente, el agua. Como estos contaminantes habitualmente no son biodegradables y solo una pequeña cantidad de los residuos son tratados, hoy día existe un gran problema de acumulación, que se asocia a riesgos potenciales en la salud pública de consecuencias no predecibles en un futuro cercano.

Zona y programa de muestreo

Las muestras se tomaron en siete de los 10 módulos de riego que se encuentran en Guanajuato. Los índices técnicos en estos módulos y el programa de muestreo se presentan en el anexo 6, cuadro 40 y cuadro 41.

Resultados y discusión

La metodología mencionada en el anexo 6, se aplicó a las tres familias de plaguicidas: organoclorados, carbamatos y triazinas, y los resultados se presentan para cada uno de los módulos. Los compuestos organoclorados se identificaron con cromatografía de gases y las triazinas por cromatografía. Algunos compuestos no se mencionan, porque sus concentraciones son muy pequeñas y, en algunos casos, no fueron detectadas. Se recomienda consultar los resultados para cada punto de muestreo en el anexo 6, cuadro 41.

Módulo Cortazar (11 muestras)

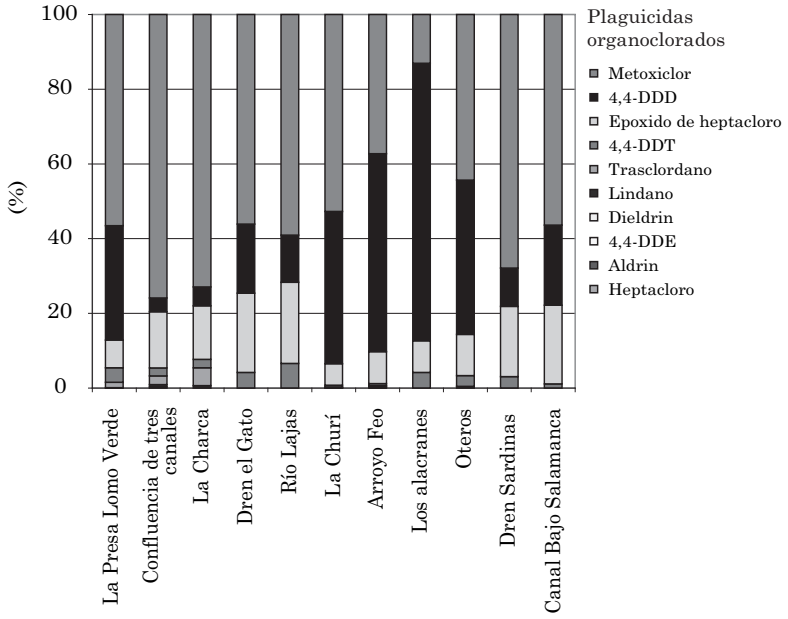
a) Compuestos organoclorados: el más utilizado y de mayor concentración en todos los puntos muestreados

(máximo de 0.65 y mínimo de 0.05 mg/L) fue el metoxiclor. El siguiente compuesto en orden de concentración es el 4,4-DDD, seguido del epóxido de heptacloro y el 4,4-DDT (gráfica 1).

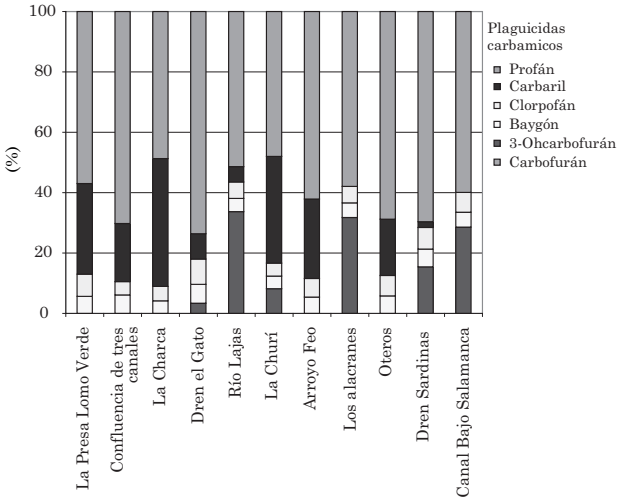
b) Carbamatos: el de mayor concentración en todos los puntos muestreados es el profán (máximo de 57.62 y mínimo de 47 mg/L); siguen por su concentración el carbaril, clorprofán y baygón (gráfica 2).

c) Triazinas: el compuesto presente en mayor concentración es la terbutilazina (máximo de 47.87 y mínimo de 6.1 mg/L), seguida de la simazina, prometrín, terbutrín y cianazina (gráfica 3).

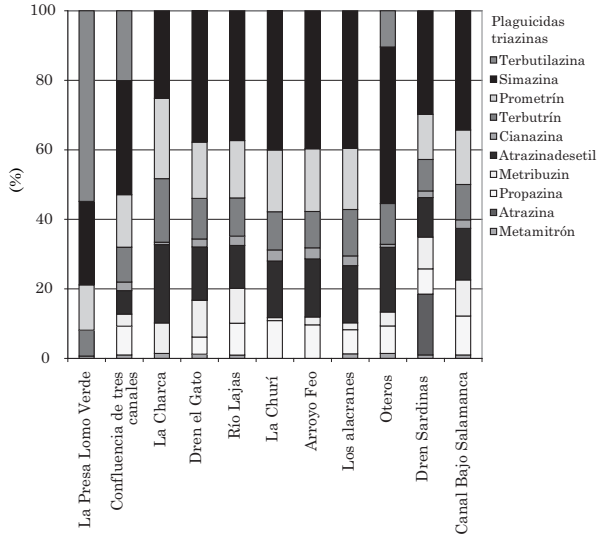
Gráfica 1. Composición de la mezcla de plaguicidas organoclorados utilizados en el módulo Cortazar



Gráfica 2. Composición de la mezcla de plaguicidas carbámicos utilizados en el módulo Cortazar



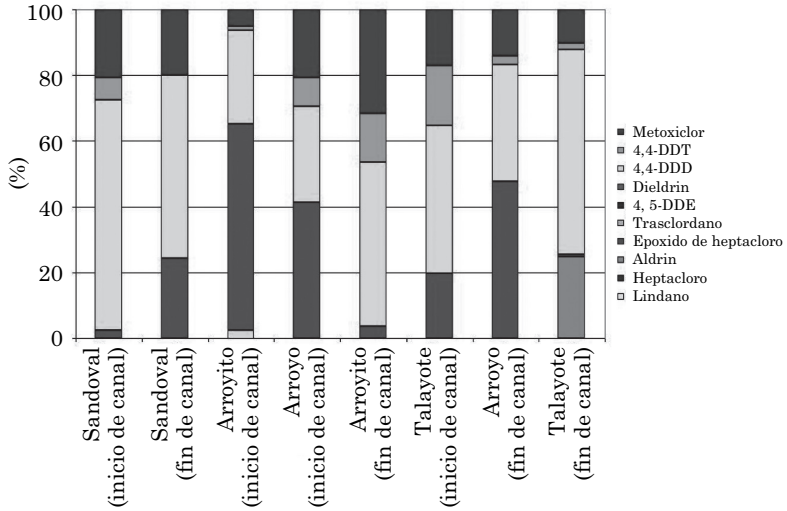
Gráfica 3. Composición de la mezcla de plaguicidas triazinas utilizados en el módulo Cortazar



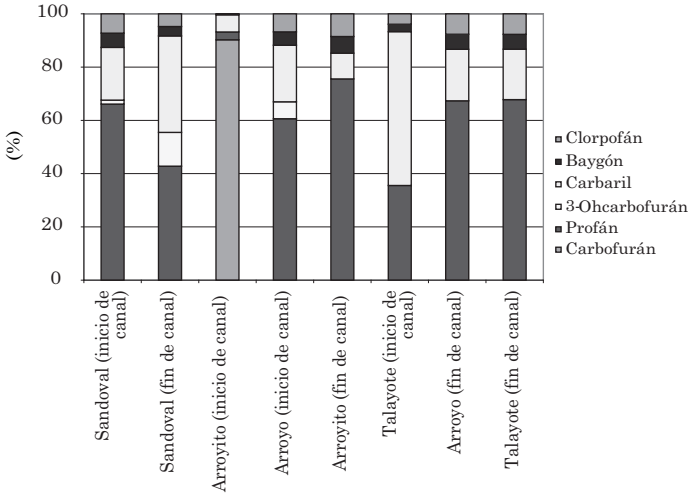
MÓDULO JARAL DEL PROGRESO (OCHO MUESTRAS)

a) Compuesto organoclorados: el de mayor concentración es el 4,4-DDD (máximo de 0.023 y mínimo de 0.005) mg/L; después el epóxido de heptacloro, el metoxiclor y por último el 4,4-DDT (gráfica 4).
b) Carbamato: la mayor concentración es del plaguicida profán (máximo de 59.4 y mínimo de 56.9 mg/L); le sigue el carbaril, baygón y clorprofán (gráfica 5).
c) Triazinas: el compuesto de mayor concentración es la atrazinadesetil (máximo de 11.47 y mínimo de 4.6 mg/L); en orden de concentración le sigue la propazina, el prometrín y el terbutrín (gráfica 6).

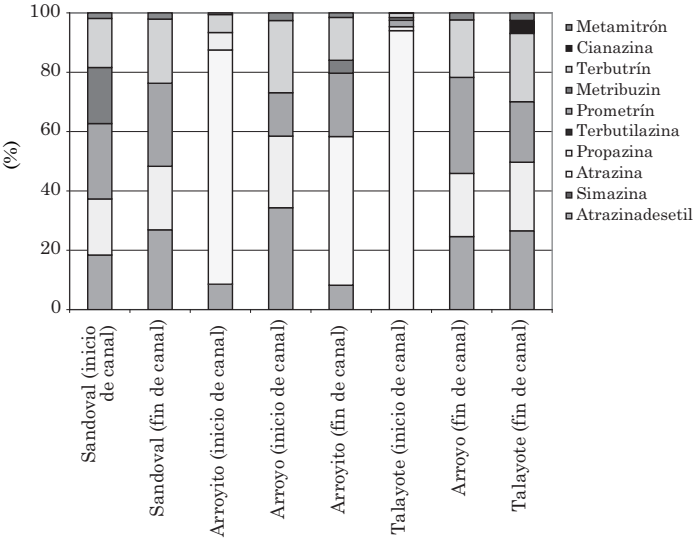
Gráfica 4. Composición de la mezcla de plaguicidas organoclorados utilizados en el módulo Jaral



Gráfica 5. Composición de la mezcla de plaguicidas carbámicos utilizados en el módulo Jaral del Progreso



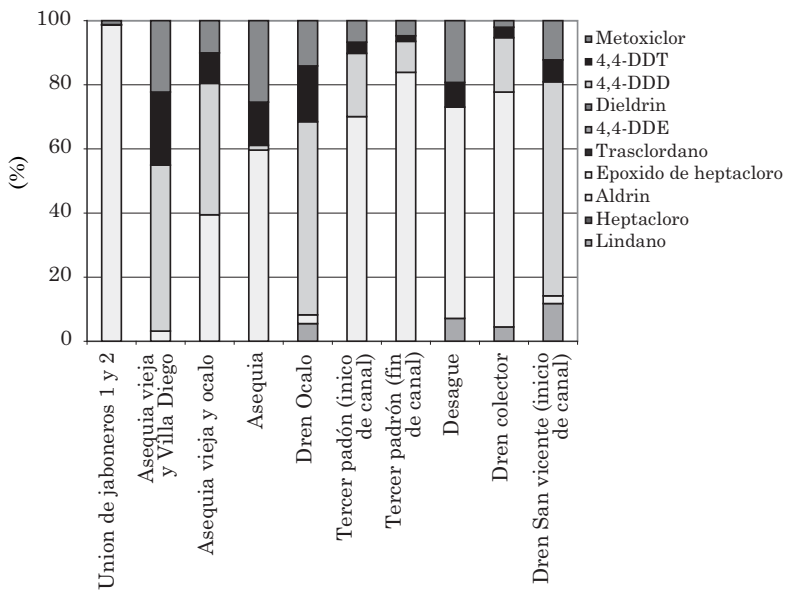
Gráfica 6. Composición de la mezcla de plaguicidas triazinas utilizados en el módulo Jaral Jaral del Progreso



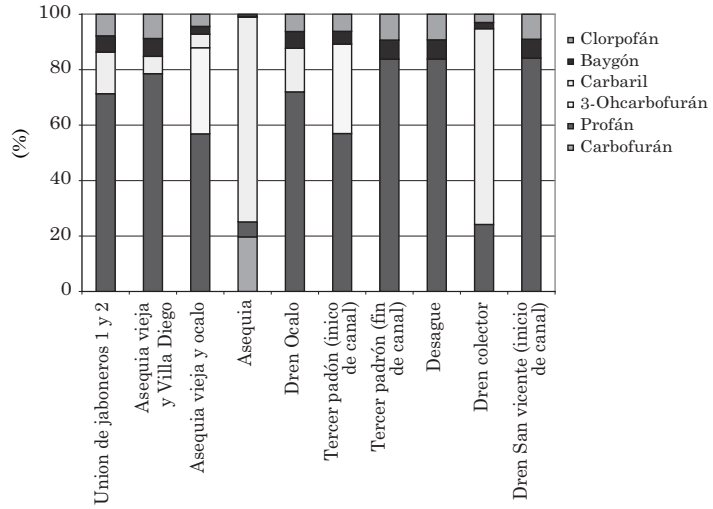
MÓDULO VALLE DE SANTIAGO (NUEVE MUESTRAS)

a) Compuestos organoclorados: el de mayor concentración es el epóxido de heptacloro (máximo de 0.086 y mínimo de 0.0005 mg/L); siguen en orden decreciente de concentración el 4,4-DDD, metoxiclor y 4,4-DDT (gráfica 7).
b) Carbamatos: la mayor concentración es del plaguicida profán (máximo de 59.4 y mínimo de 51.82 mg/L); le siguen el clorprofán, baygón y carbaril (gráfica 8).
c) Triazinas: el compuesto de mayor concentración es el prometrín (máximo de 10.35 y mínimo de 0.89 mg/L); le sigue en orden de concentración la metribuzin, el terbutrín y la propazina (gráfica 9).

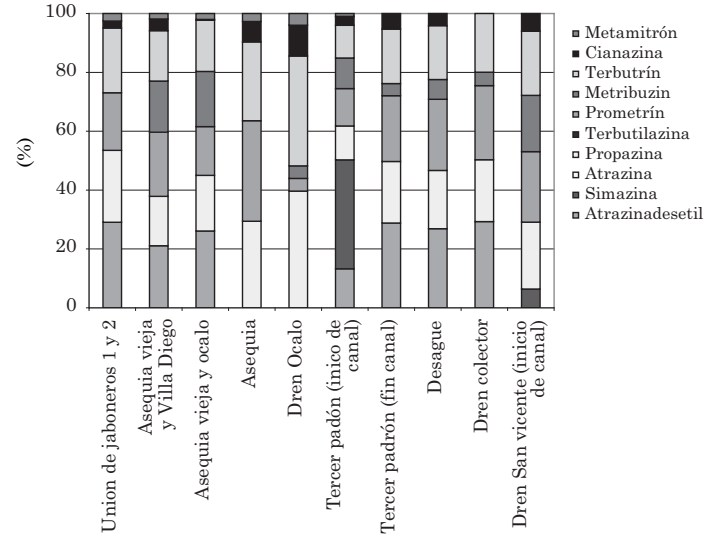
Gráfica 7. Composición de la mezcla de plaguicidas organoclorados utilizados en el módulo Valle de Santiago



Gráfica 8. Composición de la mezcla de plaguicidas carbámicos utilizados en el módulo Valle de Santiago



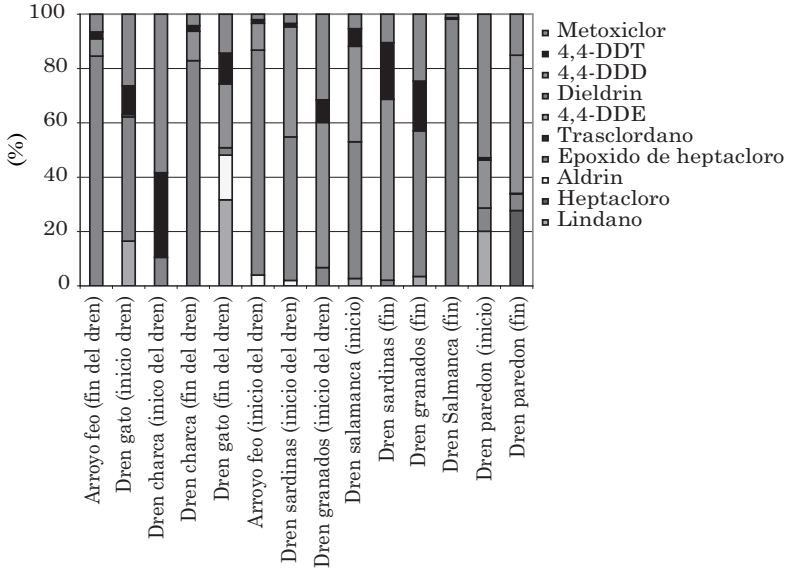
Gráfica 9. Composición de la mezcla de plaguicidas triazinas utilizados en el módulo Valle de Santiago



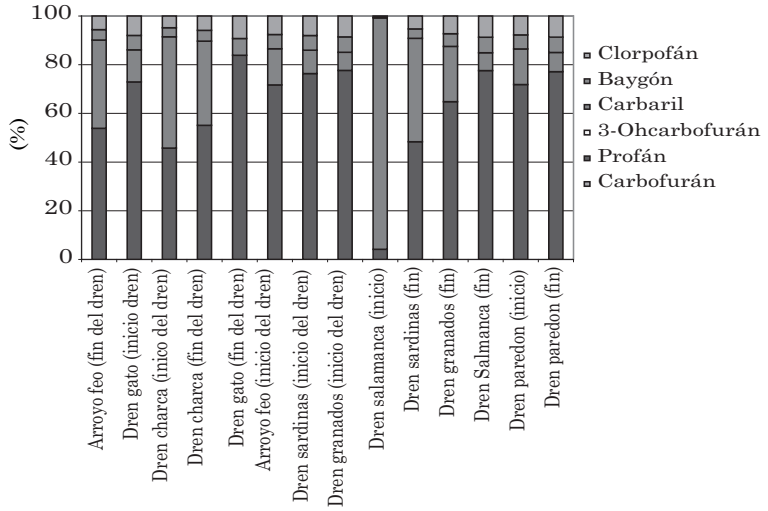
MÓDULO SALAMANCA (14 MUESTRAS)

a) Compuestos organoclorados: el de máxima concentración es el epóxido de heptacloro (de 0.28 a 0.00059 mg/L); los siguientes en importancia son el 4,4-DDD, el metoxiclor y el 4,4-DDT (gráfica 10).
b) Carbamatos: los de mayor uso son el profán, carbaril y baygón (gráfica 11).
c) Triazinas: en orden descendiente de importancia están la simazina, prometrín, terbutrín y atrazina-desetil (gráfica 12).

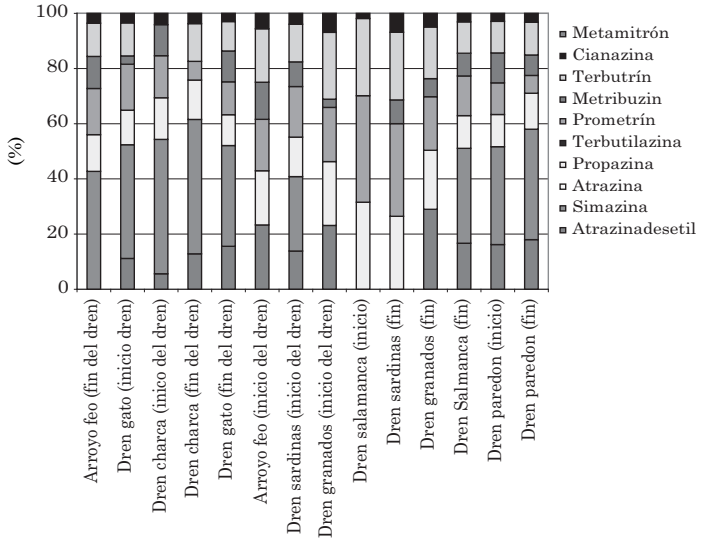
Gráfica 10. Composición de la mezcla de plaguicidas organoclorados utilizados en el módulo Salamanca



Gráfica 11. Composición de la mezcla de plaguicidas carbámicos utilizados en el módulo Salamanca



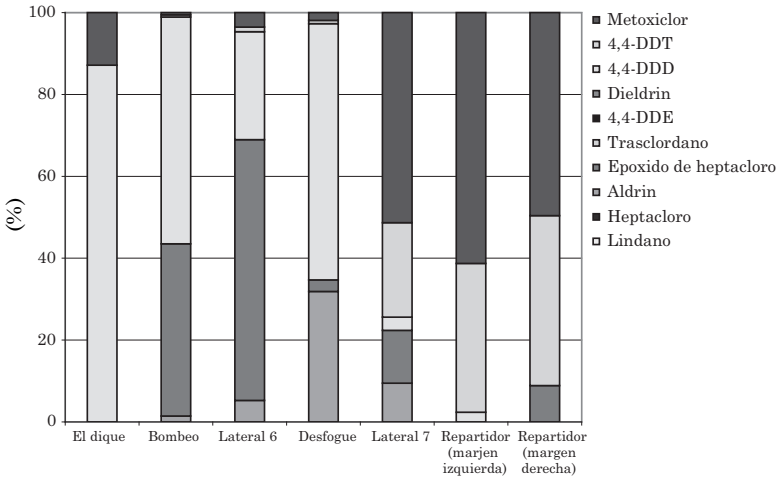
Gráfica 12. Composición de la mezcla de plaguicidas triazinas utilizados en el módulo Salamanca



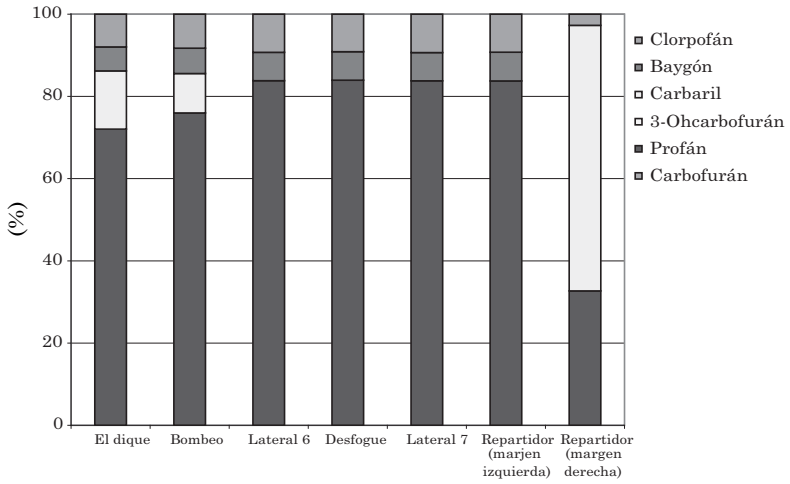
MÓDULO HUANÍMARO (SIETE MUESTRAS)

a) Compuestos organoclorados: el 4,4-DDD es el de mayor concentración en todos los puntos muestreados (máximo de 0.12 y mínimo de 0.09 mg/L); siguen en orden de concentración el metoxiclor, 4,4-DDT y epóxido de heptacloro (gráfica 13).
b) Carbamatos: el de mayor concentración en todos los puntos muestreados es el profán (máximo de 59.025 y mínimo de 52 mg/L); siguen en importancia de concentración el clorprofán, carbaril y el baygón (gráfica 14).
c) Triazinas: la mayor concentración es de simazina (máximo de 21.98 y mínimo de 12.2 mg/L); siguen el prometrín, terbutrín y propazina (gráfica 15).

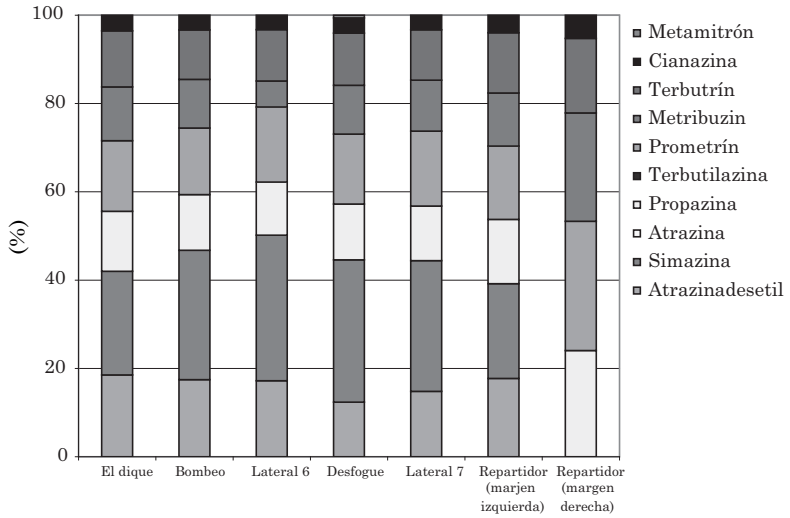
Gráfica 13. Composición de la mezcla de plaguicidas organoclorados utilizados en el módulo Huanímaro



Gráfica 14. Composición de la mezcla de plaguicidas carbámicos utilizados en el módulo Huanímaro



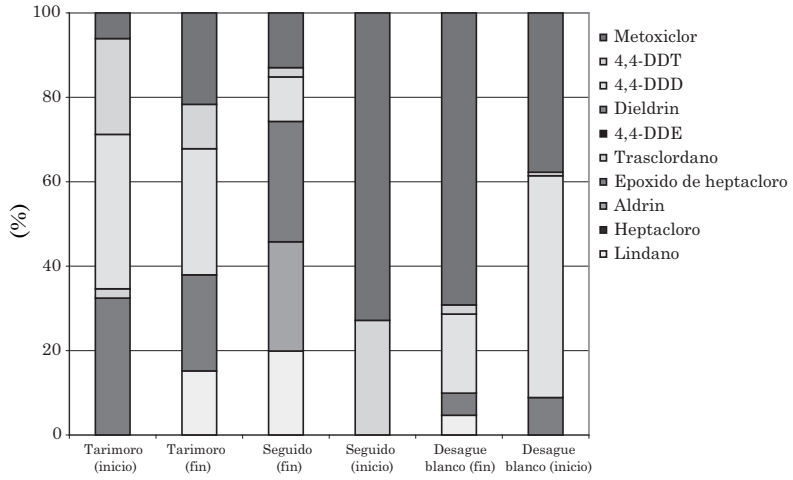
Gráfica 15. Composición de la mezcla de plaguicidas triazinas utilizados en el módulo Huanímaro



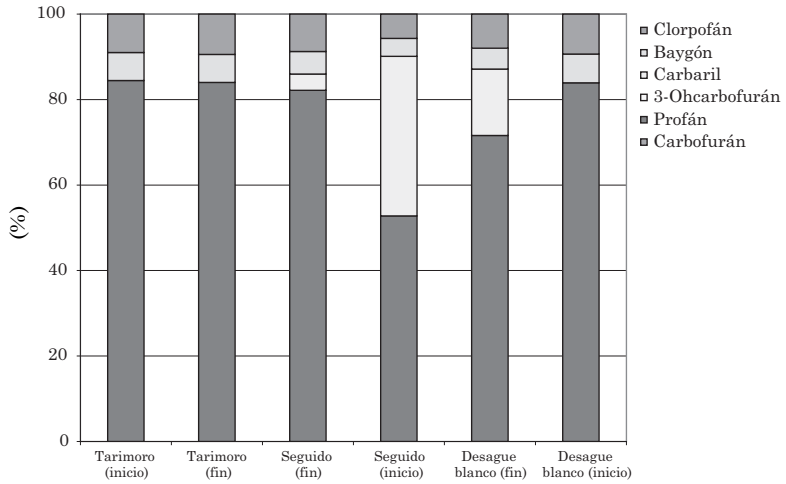
MÓDULO SALVATIERRA (SEIS MUESTRAS)

a) Compuestos organoclorados: los más empleados en las labores agrícolas en el momento del muestreo fueron el metoxiclor (el de mayor concentración en todos los puntos muestreados con un máximo de 0.034 y un mínimo de 0.0043 mg/L), el 4,4-DDD, seguido el 4,4-DDT y del epóxido de heptacloro (gráfica 16).
b) Carbamatos: el de mayor concentración en todos los puntos muestreados es el profán (máximo de 57.62 y mínimo de 47 mg/L); le siguen en importancia de concentración el clorprofán y baygón (gráfica 17).
c) Triazinas (figura 18): presentes en mayor concentración son la terbutrín (máximo de 8.2 y mínimo de 7.5 mg/L), prometrín, propazina y atrazinadesetil (gráfica 18).

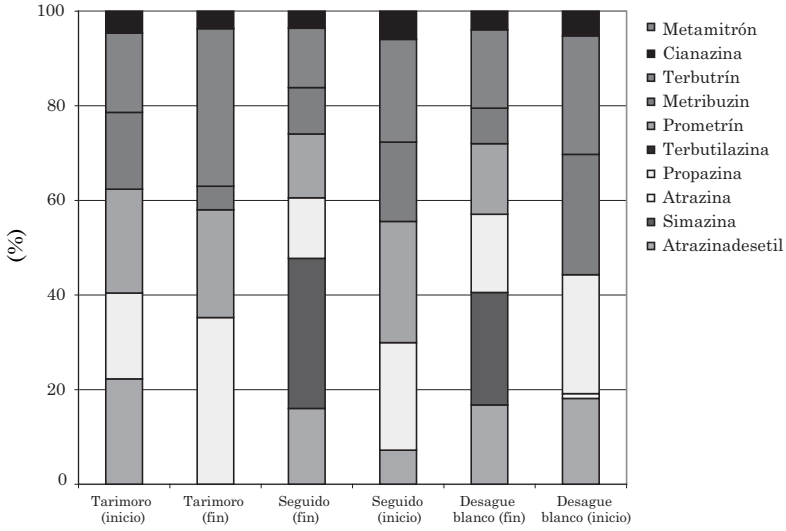
Gráfica 16. Composición de la mezcla de plaguicidas organoclorados utilizados en el módulo Salvatierra



Gráfica 17. Composición de la mezcla de plaguicidas carbámicos utilizados en el módulo Salvatierra



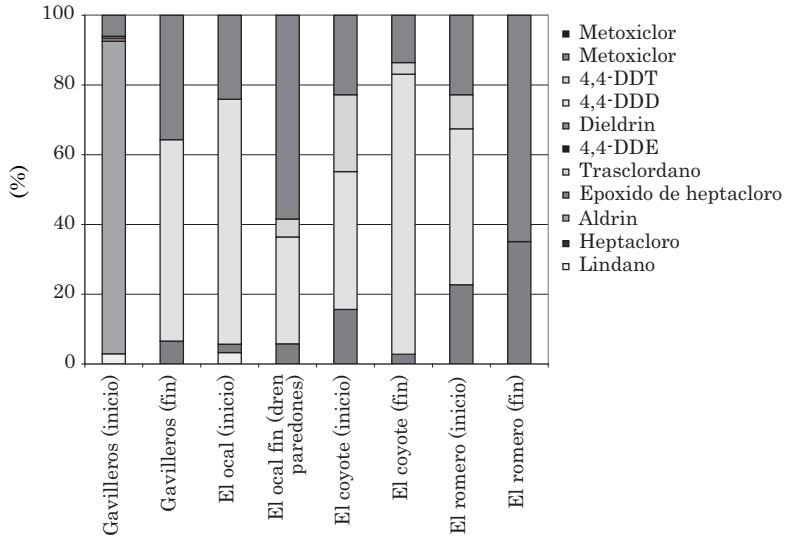
Gráfica 18. Composición de la mezcla de plaguicidas triazinas utilizados en el módulo Salvatierra



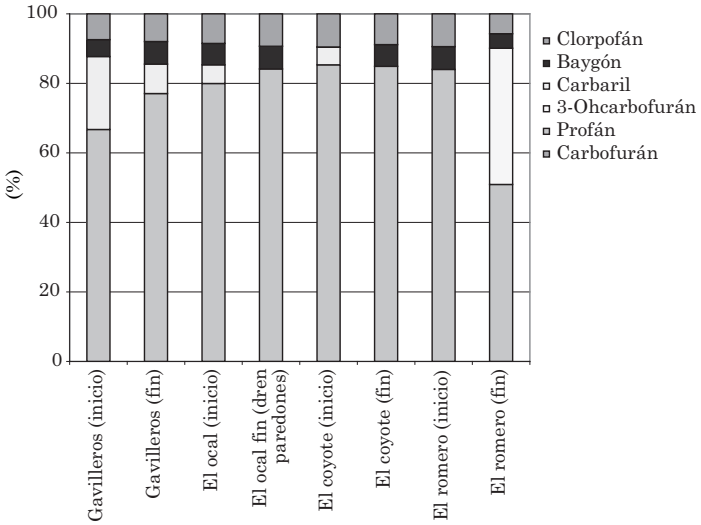
MÓDULO ACÁMBARO (OCHO MUESTRAS)

a) Compuestos organoclorados: el de mayor consumo es el 4,4-DDD cuya concentración máxima en las muestras fue de 0.65 y mínimade 0.05 mg/L.; le siguen, en función de su concentración el metoxiclor, epóxido de heptacloro y aldrín (gráfica 19).
b) Carbamatos: el de mayor concentración en todos los puntos muestreados es el profán (máximo de 59.40 y mínimo de 56.4 mg/L), en seguida se observan compuestos altamente utilizados como el clorprofán, el baygón y carbaril (gráfica 20).
c) Triazinas: la que se encuentra presente en mayor concentración es el terbutrín (máximo de 8.12 y mínimo de 5.58 mg/L); siguen el metribuzin, prometrín y atrazinadesetil (gráfica 21).

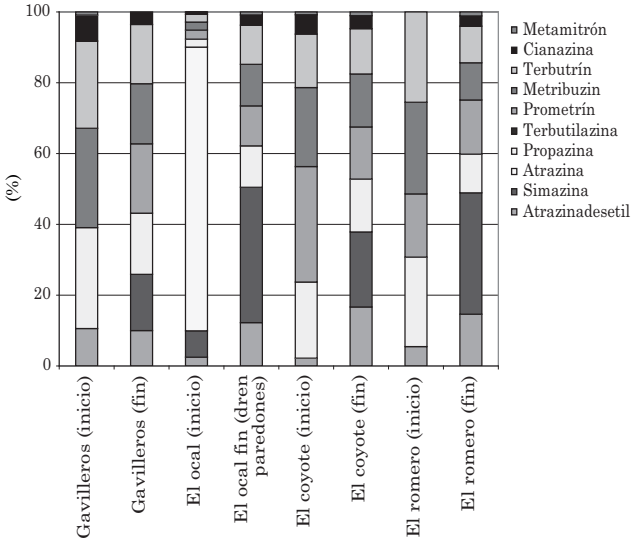
Gráfica 19. Composición de la mezcla de plaguicidas organoclorados utilizados en el módulo Acámbaro



Gráfica 20. Composición de la mezcla de plaguicidas carbámicos utilizados en el módulo Acámbaro



Gráfica 21. Composición de la mezcla de plaguicidas triazinas utilizados en el módulo Acámbaro



Conclusión

En esta investigación se analizaron 66 muestras para evaluar la posible presencia de 25 plaguicidas. Los resultados obtenidos señalan que los compuestos analizados e identificados de mayor aplicación en los seis módulos son cinco triazinas (simazina, prometrín, terbutrín, atrazinadesetil y propazina), cuatro carbamatos (profán, clorprofán, carbaril, baygón) y cuatro plaguicidas de la familia de los organoclorados (epóxido de heptacloro, 4,4-DDD, metoxiclor, 4,4-DDT). Como se puede observar en el cuadro 1, todos ellos rebasan los límites máximos permisibles establecidos en la legislación internacional y en la NOM-127-SSA-1994, aunque esta se refiere al agua de uso y consumo humanos, ya que en México no existe legislación en materia de aguas superficiales que considere dichos compuestos. El daño potencial al ambiente se puede apreciar al comparar las concentraciones de los diferentes compuestos con la LD50. Por lo que se puede concluir que de los 25 compuestos que se establecieron para iniciar este estudio, 13 son los de mayor uso en la zona, dato que se toma como base para continuar el estudio y dar seguimiento a estos compuestos en diferentes matrices ambientales: aire, agua y suelo, así como en sedimentos de los cuerpos de agua. Investigaciones de este tipo permiten conocer los efectos y daños que provocan los plaguicidas en el ambiente.

Los cuatro carbamatos encontrados en las muestras son muy usados en el control de plagas por su efectividad y gran actividad biológica; pueden actuar como insecticidas, herbicidas y fungicidas.

Entre las propiedades que inciden en el riesgo de los cuatro plaguicidas de la familia de los organoclorados identificados (epóxido de heptacloro, 4,4-DDD, metoxiclor, 4,4-DDT), se encuentran su movilización por aire y su presión de vapor baja (de peso molecular entre 291 y 545 g/mol) que los caracterizan como insecticidas de ingestión y de contacto.

Cuadro 1. Límites máximos permisibles de plaguicidas en agua para uso y consumo humano

Característica	**Límite permisible**
Aldrín y dieldrín (separados o combinados) **P**	0,03μg/L
Clordano (total de isómeros) **R**	0,20μg/L
DDT (total de isómeros) R	**1,00μg/L**
Gamma-HCH (lindano)	2,00μg/L
Hexaclorobenceno	1,00μg/L
Heptacloro y epóxido de heptacloro	**0,03μg/L**
Metoxicloro	**20,00μg/L**
2,4 – D	**30,00μg/L**

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994.

El resto de los compuestos (12) no se detectaron en las muestras, debido a que se degradan con el pH del agua, temperatura y presencia de luz solar. Un ejemplo de ello es la presencia de atrazinadesetil en varias de las muestras analizadas, compuesto que se considera un producto degradado de la triazina. Esto explica por qué algunos compuestos no fueron detectados en su estructura original, ya que es posible que sufrieran una degradación, lo que provoca una mayor abundancia de los metabolitos de los compuestos en estudio.

Módulo Cortazar: el mayor consumo es de cuatro plaguicidas organoclorados(metoxiclor, 4,4-DDD, epóxido de heptacloro y el 4,4-DDT); cuatro carbamatos (profán, carbaril, cloroprofán y baygón) y cuatro triazinas (simazina, prometrín, terbutrín y cianazina).

Módulo Jaral del Progreso: utilizan en mayor proporción cuatro plaguicidas organoclorados (4,4-DDD, epóxido de heptacloro, metoxiclor y 4,4-DDT), cuatro carbamatos

(profán, carbaril, baygón y clorprofán) y cuatro triazinas (atrazinadesetil, propazina, prometrín, y terbutrín).

Módulo Valle de Santiago: utilizan con mayor frecuencia cuatro plaguicidas organoclorados (epóxido de heptacloro, 4,4-DDD, metoxiclor, 4,4-DDT), cuatro carbamatos (profán, clorprofán, baygón y carbaril) y cuatro triazinas (prometrín metribuzin, terbutrín y propazina).

Módulo Salamanca: manejan cuatro plaguicidas organoclorados (epóxido de heptacloro, 4,4-DDD, metoxiclor, 4,4-DDT), cuatro carbamatos (profán, carbaril, baygón y clorprofán) y cuatro triazinas (simazina, prometrín, terbutrín y atrazinadesetil).

Módulo Huanímaro: utilizan cuatro plaguicidas organoclorados (metoxiclor, 4,4-DDD, epóxido de heptacloro), cuatro carbamatos (profán, clorprofán, carbaril y baygón) y cuatro triazinas (simazina, prometrín, terbutrín y propazina.

Módulo Salvatierra: están presentes en las muestras cuatro plaguicidas organoclorados (metoxiclor, 4,4-DDD, 4-4 DDT, epóxido de heptacloro), tres carbamatos (profán, clorprofán y baygón) y cuatro triazinas (terbutrín, prometrín, propazina y atrazinadesetil).

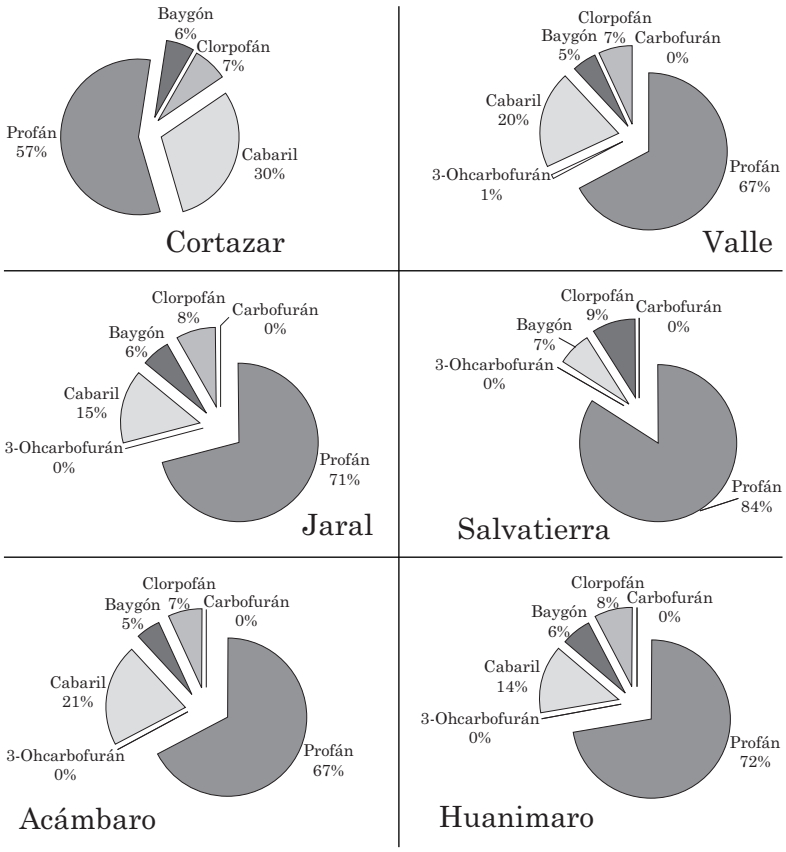
Módulo Acámbaro: la mezcla de compuestos con un alto uso en esta región están conformadas por cuatro plaguicidas organoclorados (4,4-DDD, metoxiclor, epóxido de heptacloro y aldrín), cuatro carbamatos (profán, clorprofán, baygón y carbaril) y cuatro triazinas (terbutrín, metribuzin, prometrín y atrazinadesetil).

En general, los compuestos de mayor presencia en los seis módulos son el epóxido de heptacloro, 4,4-DDD, metoxiclor, 4,4-DDT, profán, clorprofán, carbaril, baygón y simazina, prometrín, terbutrín y propazina. Uno de los compuestos presentes en las muestras analizadas es la atrazinadesetil considerado como un producto de degradación de las triazinas; esto nos da la pauta del porqué algunos compuestos no fueron detectados en las muestras, lo que se puede atribuir a que el compuesto sufre degradaciones debido al pH

del agua, a la temperatura y a la presencia de luz solar; sin embargo, los resultados nos dan una idea general de los compuestos más utilizados en cada uno de los módulos.

En cuanto al muestreo establecido en el cuadro 41, este se llevó a cabo en el orden descrito, ya que se quería dar seguimiento a los plaguicidas considerados en la investigación en función de la corriente de los drenes de agua. Como resultado, en la figura 2 se muestra que a medida

Figura 2. Concentración de plagicida profán



que seguimos el curso del agua, la concentración del plaguicida profán va en aumento. Este comportamiento se presenta para los puntos de muestro más cercanos, y la concentración en Cortazar < Valle < Jaral < Salvatierra, y las dos concentraciones registradas en Acámbaro y Huanímaro, no se pueden correlacionar debido, probablemente, a que se encuentran muy alejadas del primer sitio de muestreo que fue Cortazar.

Bibliografía

AMIFAC [2004], Programa de Recolección de Envases Vacíos de Agroquímicos "Conservemos un Campo Limpio", México, Asociación Mexicana de la Industria Fitosanitaria A. C, acceso 17 de febrero.

Cesaveg [2008], folleto "Campaña de manejo fitosanitario de trigo", Guanjuato, Guanajuato, Sagarpa-Senasica-Gobierno del estado de Guanajuato, <http://www.cesaveg.org.mx/html/principal.htm>.

Cicoplafest [2004], *Catálogo oficial de plaguicidas*, México, Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas, Secretaría de Salud, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Economía, <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas%20y%20Fertilizantes/CatalogoPlaguicidas.aspx>, acceso 29 noviembre 2011.

Chalak, Ali, Balcombe, Kevin, Bailey, Alastair, y Fraser, Iain [2008], "Pesticides, Preference Heterogeneity, and Environmental Taxes", *Journal of Agricultural Economics,* 59 (3), pp. 537-554.

Ferrer, A. [2003], "Intoxicación por plaguicidas. Pesticide poisoning", *Anales del Sistema Sanitario de Navarra,* Navarra, España, 26 (1), pp. 155-171.

Flalkov, B. A., Gordin, A. , y Amirav, A. [2003], "Extending the range of compounds amenable for gas chromato-

graphy-mass spectrometric analysis", *J. Chromat. A.,* 991, pp. 213-240.

Gobierno del estado de Guanajuato [2008], "Decreto gubernativo No. 79/Norma Técnica Ambiental NTA-IEE-005/2007 que establece las especificaciones para la gestión integral de los residuos agrícolas (esquilmos), así como para la prevención y control de la contaminación generada por su manejo inadecuado", *Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Guanajuato,* Guanajuato, Guanajuato, CXLVI (133).

Hernández, F., Sancho, J. V., Pozo, O., Lara, A., y Pitarch, E. [2001], "Rapid direct determination of pesticides and metabolites in environmental water simples at sub – mg/L level by on-line solid-phase extraction-liquid chromatography-electrospray tandem mass", *J. Chromat. A.,* 939, pp. 1-11.

INE [2010], "Sistema de consulta de plaguicidas: lista de plaguicidas prohibidos en México", México, *Diario Oficial de la Federación,* enero 3, 1991, < http:www.ine.gob.mx/sistemas/plaguicidas/lprohibi.html>, acceso 7 de abril.

Kochman, M., Gordin, A., Goldshlag, P., Lehotay, S. J., y Amirav, A. [2002], "Fast high-sensitivity multipesticides analysis of complex mixtures with supersonic gas chromatography-mass spectrometry", *J. Chromat. A.,* 974, pp. 185-212.

Kolbert, Elizabeth [2007], "Human nature", *The New Yorker*, Estados Unidos, pp. 22-23.

Muñoz Piña, Carlos y Ávila Forcada, Sara [2005], "Los efectos de un impuesto ambiental a los plaguicidas en México", *Gaceta Ecológica,* México, Conagua-Semarnat, 074 (enero-marzo), pp. 43-53.

OMS "The WHO Recommended classification of Pesticides by Hazard", *Corrigendum* 28 junio 2006, World Health Organization, <http://www.who.int/ipcs/publications/corrigendum/en/>, acceso 7 de abril de 2009.

Pimentel, D. y Greiner, A. [1997], "Environmental and Socio-Economic Cost of Pesticides Use", D. Pimentel (ed.), *Techniques for reducing use: environmental and economic benefits,* Reino Unido, John Wiley y Sons), pp. 51-78.

Pimentel, David [2005], "Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States", *Environment, Development and Sustainability*, Estados Unidos, 7, pp. 229-252.

Richter, P., Sepúlveda, B., Oliva, R., Calderón, K., y Sequel, R. [2003], "Screening and determination of pesticides in soil using continuous subcritical water extraction and gas chromatography–mass spectrometry", *J. Chromat. A.,* 994, pp. 169-177.

Sagarpa [2009], *Sistema de productos integrados. Cebada*, México, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, < http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Publicaciones/SistemaProducto/Paginas/SistemasProductoIntegrados.aspx>, acceso 23 de marzo.

Sánchez Saldaña, Kimy Betanzos Ocampo, Percy [2006], "Aspectos socioeconómicos y culturales en el uso de agroquímicos y plaguicidas en los Altos de Morelos, México", *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica,* México, 3, 33-47, <http://www.redibec.org/IVO/rev3_03.pdf>, acceso agosto de 2011.

Susmita, D., Craig, M., y Manuil, H. [2007], "A Pinch or a Pint? Evidence of Pesticide Overuse in Bangladesh", *Journal of Agricultural Economics,* 51 (1), pp. 91-114.

PARTE II

PERCEPCIÓN Y POLÍTICAS AGROAMBIENTALES EN EL DR011

Percepción de los productores agrícolas sobre la calidad y gestión del agua

*Alonso Aguilar Ibarra**

En este apartado presentamos un análisis sobre las percepciones de los agricultores en el DR011 Alto Río Lerma, respecto a: 1. La contaminación agrícola, 2. La disminución voluntaria de pesticidas y fertilizantes y 3. El papel del gobierno en el cambio de las prácticas agrícolas. Los resultados indican que, en general, todos los productores niegan que la agricultura sea una causa importante de contaminación del río Lerma, pero aseguran que, para cambiar las prácticas agrícolas, éstas deben ser apoyadas con recursos provenientes del gobierno. Sin embargo, las percepciones intragrupales difieren según el régimen de

*Doctor en Ciencias Agronómicas por el Instituto Nacional Politécnico de Toulouse, Francia. Investigador titular en el Instituto de Investigaciones Económicas, en la Unidad de Economía y Medio Ambiente. Es tutor y profesor del posgrado en Economía, Ha sido consultor nacional e internacional en temas de economía de recursos naturales. Contacto: (52) (55) 56230100, ext. 42431, e-mail: <aaguilar@iiec.unam.mx>.

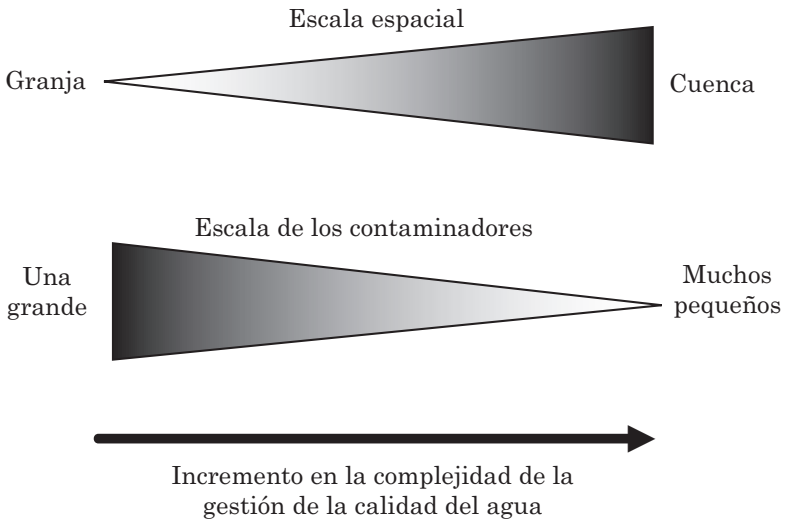
propiedad y el nivel de educación. Se recomienda enfatizar los programas de capacitación de los productores sobre los impactos ambientales de la agricultura, así como disminuir los incentivos económicos, como son los subsidios al agua y a los fertilizantes, que evitan que los agricultores perciban a la contaminación agrícola del agua como un grave problema ambiental.

Introducción

Los diferentes usos del suelo, sobre todo la agricultura, la urbanización, la deforestación y la minería son las fuentes principales de contaminación difusa [Harding *et al.,* 1998]. El drenado continuo de partículas contaminantes por medio de las precipitaciones y los ríos, resulta en su depósito final en lagos, zonas húmedas y mantos freáticos. Muchos de estos tienen un origen natural, pero al acumularse en el medio acuático, generan contaminación.

Gran parte de estos compuestos se depositan paulatinamente en los sedimentos y se adsorben en partículas húmicas, minerales y arcillas de las lagunas costeras [Botello *et al.,* 2004]. Por ejemplo, las actividades agrícolas, en los últimos años, al aumentar el uso de pesticidas y fertilizantes han provocado un incremento en los niveles de fósforo y nitrógeno en los ecosistemas acuáticos [Mander y Forsberg, 2000]. Así, cuencas con un uso de suelo dedicado a la agricultura entre 50 y 85% y con áreas urbanas que comprenden entre 10 y 20%, presentan efectos adversos en la biodiversidad acuática. Esto ha sido demostrado por Berkman y Rabeni [1987] en Missouri, Lyons [2001] y Wang *et al.* [2000] en Wisconsin, y Aguilar Ibarra *et al.* [2005] en Francia. Además, estos problemas de contaminación afectan la calidad de los productos destinados al consumo humano.

Figura 1. Esquema conceptual del incremento en la complejidad del análisis y gestión de la calidad del agua en una cuenca de vocación agrícola



Fuente: Elaboración propia.

La gestión de la contaminación difusa en una cuenca representa, sin embargo, un reto mayúsculo. De hecho, la complejidad en la gestión de la calidad del agua, así como de los costos de transacción, aumenta con la escala espacial y las características de los contaminadores (figura 1). Por un lado, si se adopta un enfoque de comando y control, el costo de la inspección y vigilancia será mayor cuando hay que monitorear a muchos pequeños agricultores que solo algunos grandes agricultores. Por otra parte, si es adoptado un enfoque voluntario, el importe por los pagos a muchos agricultores podría ser muy cuantioso para las autoridades.

Los retos de diseño, aceptación e implementación de instrumentos económicos y reglamentaciones para controlar la contaminación del agua de origen agrícola han conducido a numerosos países a optar por medidas de tipo voluntario. La idea es inducir a los agricultores a cambiar algunas

prácticas agrícolas nocivas para el ambiente. El enfoque de cumplimiento voluntario combina la persuasión pública con la asistencia técnica para motivar y facilitar la adopción de medidas de control. Las iniciativas o medidas voluntarias han tenido gran aceptación por parte de los productores y son de amplio uso en Europa y en Estados Unidos.

En contraste, los países en desarrollo carecen de políticas agroambientales para hacer frente a los problemas de calidad del agua. Como consecuencia, los programas voluntarios de control de la contaminación del agua no se hallan tan difundidos como en los países desarrollados. Un ejemplo digno de mención es el Programa de Ríos Limpios (Prokasih), en Indonesia [O 'Connor, 1994], aunque está dirigido al control de la contaminación puntual de origen industrial, y de hecho, la contaminación por la agricultura es de tipo difuso, no se conoce quién, ni cuánto se contamina. Este sigue siendo un tema bastante descuidado en los países con menor desarrollo, tanto por funcionarios gubernamentales como por la academia. En realidad, la mayoría de los trabajos relacionados con el tema del agua en este tipo de naciones se relacionan más con el suministro o con los problemas de salud. Muy pocos estudios, dada la magnitud del problema, tratan específicamente la contaminación de origen agrícola [por ejemplo Agrawal *et al.,* 1999; Ibarra y Espejo, 2008; Zhang *et al.,* 2006].

Por ello, el presente capítulo se centra en la percepción de la calidad del agua por parte de productores agrícolas. Los aspectos que se analizan son: la percepción comunitaria de la contaminación agrícola, la disposición a disminuir el uso de pesticidas y fertilizantes de manera voluntaria y la percepción del papel del gobierno en el cambio de las prácticas agrícolas. Es importante conocer estas percepciones, porque de ello depende el éxito o fracaso de las políticas o programas voluntarios para remediar el problema. La siguiente sección, por consiguiente, hará un breve recuento de los trabajos efectuados sobre la aceptación y percepción

de este tipo de medidas que se han registrado en la literatura especializada. Después, se detallarán los métodos de la presente investigación en el DR011 Alto Río Lerma, localizado en el estado de Guanajuato, y finalizará con la discusión de los resultados y conclusiones respectivas.

Antecedentes sobre el análisis de la percepción de productores agrícolas hacia la calidad del agua

Es por demás conocido que el diseño de medidas agroambientales eficaces, tales como los programas voluntarios, requiere conocer la percepción y actitudes de los agricultores antes y después de su aplicación [Ajayi, 2007; Barbier y Bishop, 1995; Barnes *et al.,* 2009; Davies y Hodge, 2006; Defrancesco *et al.,* 2008; Kraft *et al.,* 1996; Vanslembrouck *et al.,* 2002; Wei *et al.,* 2007]. De hecho, Wossink [2005] considera que un conocimiento más profundo de las percepciones de los agricultores es uno de los principales temas de investigación vigentes en el análisis de políticas agroambientales. Por tanto, el análisis de la percepción de los agricultores hacia los temas de la calidad del agua y la aplicación potencial de las políticas agroambientales mediante programas voluntarios, es de suma importancia para hacer frente a la contaminación de origen agrícola, no solo en países industrializados, sino también en las economías emergentes.

Sin embargo, los factores que llevan a los productores agrícolas a aceptar o adoptar estos programas no son del todo comprendidos, ni siquiera en los países industrializados [Defrancesco *et al.,* 2008]. En general, los factores que han registrado influencia en la aceptación de los programas agro-ambientales incluyen:

1) Sensibilización o preocupación sobre cuestiones ambientales que afectan de manera directa la productividad de las explotaciones agrícolas, o bien, que los

agricultores mantengan un sentido de resguardo hacia los recursos naturales.
2) Acceso a fuentes de información, créditos y capacitación.
3) Costos de transacción tanto públicos como privados. [Davies y Hodge, 2006; Defrancesco *et al.,* 2008; Ducos *et al.,* 2009; Falconer, 2000; He *et al.,* 2008; Knowler y Bradshaw, 2007; Lichtenberg y Zimmerman, 1999; Wei *et al.,* 2007; Wossink, 2005].

Por el contrario, la reticencia a participar en programas agroambientales se debe, entre otros factores, a:

1) La aversión al riesgo, el aumento potencial de costos o la percepción de dificultades técnicas en la aplicación de nuevas prácticas agroambientales.
2) La falta de confianza en los funcionarios públicos, como por ejemplo, el escepticismo hacia los indicadores de calidad del agua.
3) La tenencia de la tierra, ya que los agricultores que son dueños de la tierra están menos dispuestos a adoptar nuevas prácticas que los agricultores que rentan [Barnes *et al.,* 2009; Davies y Hodge, 2006; Kraft *et al.,* 1996; Wossink, 2005].

Estos aspectos son de interés especial, porque en nuestro país no existen políticas agro-ambientales que tengan el objetivo de reducir la contaminación difusa que se genera debido a las prácticas agrícolas. Y dado que hay una necesidad urgente de aplicar este tipo de políticas [Pérez Espejo *et al.,* 2011], es necesario analizar los factores que la literatura identifica como los más comunes entre los agricultores para aceptar o rechazar su aplicación. Dentro de estos, el nivel de capacitación (i.e. educación), así como la tenencia de la tierra (i.e. régimen de propiedad) son temas fundamentales que caracterizan al campo mexicano [Thompson y Wilson, 1994]. En efecto, por un lado, hay

que considerar en promedio un bajo nivel educativo, y por otro, un régimen complejo de propiedad de la tierra, el cual se caracteriza por ejidos, tierras comunales y unidades privadas.

El presente estudio complementa el análisis de los aspectos de percepción hacia la contaminación agrícola de Pérez *et al.* [2011], para incluir los temas de educación y tenencia de la tierra en la percepción de la contaminación del agua, el uso de plaguicidas y fertilizantes y la intervención gubernamental en el cambio de las prácticas agrícolas.

Métodos

Las hipótesis a probar son: el nivel educativo y el régimen de propiedad de la tierra son factores relevantes para determinar la percepción de los agricultores acerca de la contaminación agrícola, su disposición a disminuir el uso de plaguicidas y fertilizantes de manera voluntaria y sobre la intervención gubernamental en el cambio de prácticas agrícolas.

Para poner a prueba esta hipótesis, se llevaron a cabo encuestas en campo dirigidas a los productores agrícolas [Pérez Espejo *et al.,* 2011]. Dado que este tipo de análisis solo puede llevarse a cabo en el nivel local, la zona de estudio elegida fue el DR011 Alto Río Lerma. Este se encuentra en la cuenca del mismo nombre, en el estado de Guanajuato, entidad que se encuentra entre las 10 principales del país con el mayor PIB agropecuario y entre las más importantes por la extensión de su superficie agrícola-ganadera.

Para medir la percepción de los agricultores hacia la calidad del agua y para estimar la aceptación de programas voluntarios para el control de la contaminación de origen agrícola, se empleó la escala de Likert. Ésta es una forma semicuantitativa de medir la percepción de los individuos que se ha utilizado con frecuencia en estudios de

percepción de agricultores [Barnes *et al*., 2009; Cates *et al*., 2006; Davies y Hodge, 2006; Keraita *et al*., 2008; Petit y Werf., 2003; Rahman *et al*., 2006; Wei *et al*., 2007].

La escala de Likert refleja variables de tipo ordinal, es decir, categorías ordenadas de manera ascendente. Por ejemplo, el rango de respuestas va de 1 a 5, donde 1 significa totalmente en desacuerdo o nada importante, y 5 significa totalmente de acuerdo o muy importante. 3 denota indiferencia. En un diseño experimental, este tipo de variables categóricas son útiles para comparar los diversos tratamientos o las poblaciones muestreadas [Bryman y Cramer, 2004]. En el presente estudio, los reactivos para la escala de Likert se muestran en el cuadro 1. Se utilizaron pruebas de X^2 para determinar si existen diferencias significativas para las respuestas entre: (i) nivel de educación y (ii) régimen de propiedad. Los niveles de educación analizados fueron: analfabeta, primaria, secundaria, bachillerato-instrucción técnica-preparatoria y licenciatura, completa o trunca. El régimen de propiedad se analizó para ejidos y propietarios privados.

Cuadro 1. Reactivos para la escala de Likert

	¿Qué tan de acuerdo está con las siguientes frases, donde 1 significa que está totalmente en desacuerdo y 5 si está totalmente de acuerdo?	1	2	3	4	5
a)	La agricultura es una causa importante de contaminación del río Lerma.					
b)	Estoy dispuesto a disminuir el uso de pesticidas y fertilizantes de manera voluntaria.					
c)	El cambio de prácticas agrícolas debe ser apoyado con participación del gobierno.					

Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

Si bien las causas directas de la contaminación agrícola del agua radican en la escorrentía de nutrientes hacia el agua [Hooda *et al.,* 2000] y en la capacidad de autodepu-

ración del ecosistema acuático, las causas indirectas y primordiales tienen su origen en la toma de decisiones de los productores agrícolas [e.g. Barnes *et al.,* 2009]. Éstas se verán influenciadas por diversos factores ya mencionados en la segunda sección del presente capítulo. Los resultados por porcentajes de las respuestas de los agricultores encuestados y analizados por medio de las pruebas de X^2 se muestran en el cuadro 2 para percepciones según el régimen de propiedad y en el cuadro 3 para percepciones según el nivel de educación.

Cuadro 2. Resultados para percepciones según el régimen de propiedad (%)

a) La agricultura es una causa importante de contaminación del Río Lerma			
	Ejidal (n = 63)	Pequeño propietario (n-63)	
1	55.6	47.6	Prueba de X2: $p < 0.01$
2	7.9	20.6	
3	15.9	14.3	
4	11.1	11.1	
5	9.5	6.3	
b) Estoy dispuesto a disminuir el uso de pesticidas y fertilizantes de manera voluntaria			
	Ejidal (n = 57)	Pequeño propietario (n-62)	
1	29.8	33.9	Prueba de X2: $p < 0.01$
2	12.3	9.7	
3	15.8	17.7	
4	8.8	9.7	
5	33.3	29.0	
c) El cambio de prácticas agrícolas debe ser apoyado con dinero del gobierno			
	Ejidal (n = 64)	Pequeño propietario (n-63)	
1	9.4	7.9	Prueba de X2: $p < 0.01$
2	0.0	3.2	
3	3.1	17.5	
4	7.8	7.9	
5	79.7	63.4	

Fuente: Elaboración propia.

En las secciones siguientes se muestran y discuten los resultados para los siguientes reactivos de la escala de Likert: a) La agricultura es una causa importante de contaminación del río Lerma; b) Estoy dispuesto a disminuir el uso de pesticidas y fertilizantes de manera voluntaria; c) El cambio de prácticas agrícolas debe ser apoyado con participación del gobierno.

Cuadro 3. Resultados para percepciones según el nivel de educación (%)

a) La agricultura es una causa importante de contaminación del Río Lerma						
	Analfabeto (n = 11)	Primaria (n = 45)	Secundaria (n = 18)	Bachiller (n = 15)	Lic (n = 16)	
1	63.6	44.4	44.4	66.7	37.5	Prueba de X^2: $p < 0.01$
2	0.0	15.6	50.0	13.3	18.8	
3	9.1	22.2	0.0	13.3	12.5	
4	9.1	8.9	5.6	0.0	18.8	
5	18.2	8.9	0.0	6.7	12.5	
b) Estoy dispuesto a disminuir el uso de pesticidas y fertilizantes de manera voluntaria						
	Analfabeto (n = 8)	Primaria (n = 42)	Secundaria (n = 20)	Bachiller (n = 15)	Lic (n = 16)	
1	50.0	31.0	25.0	26.7	31.3	Prueba de X^2: $p < 0.01$
2	12.5	11.9	5.0	20.0	12.5	
3	0.0	11.9	25.0	13.3	12.5	
4	12.5	7.1	5.0	13.3	6.3	
5	25.0	38.1	40.0	26.7	37.5	
c) El cambio de prácticas agrícolas debe ser apoyado con dinero del gobierno						
	Analfabeto (n = 11)	Primaria (n = 39)	Secundaria (n = 19)	Bachiller (n = 15)	Lic (n = 16)	
1	0.0	2.6	5.3	13.3	18.8	Prueba de X^2: $p < 0.01$
2	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	
3	0.0	0.0	15.8	13.3	12.5	
4	0.0	7.7	5.3	0.0	6.3	
5	100.0	89.7	73.7	73.3	50.0	

Fuente: Elaboración propia.

a) La agricultura es una causa importante de contaminación del río Lerma

Para este reactivo hubo diferencias significativas ($p < 0.01$ para prueba de X^2) tanto para el régimen de propiedad como para el nivel educativo. Sin embargo, en general, la percepción de los productores fue que su actividad no es una de las principales causas de contaminación del río Lerma. De hecho, éste es un resultado que se ha encontrado frecuentemente en otros estudios [Barnes *et al.,* 2009; Keraita *et al.,* 2008; Lichtenberg y Lessley, 1992; Lichtenberg y Zimmerman, 1999; Popp y Rodriguez, 2007; Wei *et al.,* 2007] que indican que los agricultores piensan que si hay problemas de calidad del agua en una cuenca, es debido a otros usuarios y que, incluso, ellos son los principales afectados por esta situación.

Wei *et al.* [2007] atribuyen estas actitudes en gran medida a las políticas de subsidio del agua, que generan una percepción falsa de gratuidad del recurso. Y de cualquier manera, los costos de transacción tienen que ser pagados por otros sectores de la sociedad [Ducos *et al.,* 2009], lo que genera políticas ineficientes tanto para la generación de alimentos como para la protección ambiental. Barnes *et al.* [Barnes *et al.,* 2009] consideran que el hecho de que los principales nutrientes que contaminan el agua (los nitratos, por ejemplo) no se puedan observar por los productores, así como la falta de información de parte de las agencias a cargo de la gestión del agua, genera una percepción errónea del problema. Y esto es importante porque, cuando los agricultores están conscientes de ello, su aceptación de políticas agro-ambientales es mayor [Defrancesco *et al.,* 2008; Wei *et al.,* 2007].

b) Estoy dispuesto a disminuir el uso de pesticidas y fertilizantes de manera voluntaria.

De manera similar que en el reactivo anterior, las diferencias para el régimen de propiedad y educación fueron

significativas ($p < 0.01$ para prueba de X^2) entre los grupos. Pero los datos observados dentro de ellos indican un resultado ambiguo debido a la falta de definición en las respuestas. En otras palabras, las proporciones que hay entre los agricultores que están dispuestos a cambiar sus prácticas de manera voluntaria (los que contestaron con calificaciones entre 1 y 2) y los que no lo están (los que respondieron con calificaciones entre 4 y 5), son muy similares.

Es un hecho que los cambios de prácticas no son fáciles de aceptar, tal y como se describe en la segunda sección de este capítulo. Hay diversos factores que influyen en esta decisión, y que ni el régimen de propiedad, ni el nivel educativo son determinantes por sí solos para explicar los resultados. Así, tenemos que coincidir con Lichtenberg y Zimmerman [Lichtenberg y Zimmerman, 1999] quienes apuntan que la relación entre la información y los supuestos de los agricultores con respecto a la calidad ambiental es bastante compleja, y que otros factores deben ser considerados para poder realizar un análisis más completo [Barnes *et al.,* 2009; Davies y Hodge, 2006; Defrancesco *et al.,* 2008; Vanslembrouck *et al.,* 2002].

c) El cambio de prácticas agrícolas debe ser apoyado con aportaciones del gobierno.

Otra vez se manifiesta una diferencia significativa entre los dos tipos de tenencias y los diferentes niveles de educación ($p < 0.01$ para prueba de X^2). En general, se observa que los productores están de acuerdo con la ayuda gubernamental para cambiar sus prácticas agrícolas. Este es un resultado predecible, pero lo interesante es la diferencia que hay para el régimen de propiedad y el nivel educativo. Por un lado, los ejidatarios se muestran más favorables (87.5% respondieron de acuerdo o muy de acuerdo) a la intervención gubernamental que los pequeños propietarios (71.4%). Hay poca información en la literatura sobre el aspecto de régimen de propiedad y la evidencia

empírica es ambigua [Defrancesco *et al.,* 2008]. Los resultados de este estudio contrastan con los de Kraft *et al.* [1996], quienes encontraron que los agricultores que eran propietarios de sus tierras fueron más reticentes a participar en programas voluntarios que los que la rentaban. Sin embargo, es difícil llevar a cabo esta comparación, ya que el hecho de pertenecer a un ejido no significa que la tierra sea rentada. Aquí se evidencia una oportunidad de investigación para profundizar en la influencia del régimen de propiedad y las actitudes de los productores hacia las políticas ambientales en México.

Por otro lado, conforme aumenta el nivel educativo, disminuye esta proporción desde 100% entre los analfabetos hasta 56.3% para quienes tienen nivel licenciatura (completa o trunca). La evidencia al respecto también es más clara: los productores con más educación asumen sus responsabilidades en mayor medida y están dispuestos a participar en programas agro-ambientales en otras partes del mundo [He *et al.,* 2008; Knowler y Bradshaw, 2007; Kraft *et al.,* 1996; Wei *et al.,* 2007]. Este resultado tiene importantes implicaciones de política pública, ya que el costo de transacción para aplicar medidas agroambientales, presumiblemente diferirá según el nivel de capacitación o educación de los usuarios.

Conclusiones

La literatura sobre la aplicación de medidas –agroambientales en todo el mundo coincide en que la su percepción y aceptación por parte de los productores determina su nivel de éxito. Por ello, la investigación al respecto se ha centrado en los últimos años en conocer los factores que influencian tanto la percepción de los agricultores como su participación en programas encaminados a lograr una agricultura sustentable.

En este capítulo se presentó un análisis sobre las percepciones de agricultores en al DR011 Alto Río Lerma, localizado en el estado de Guanajuato, desde el punto de vista del régimen de propiedad y el nivel educativo.

En general, todos los productores niegan que la agricultura sea una causa importante de contaminación del río Lerma, pero apoyan que, para cambiar las prácticas agrícolas, éstas deben ser apoyadas mediante la participación gubernamental. Sin embargo, las percepciones intragrupales difieren según el régimen de propiedad y el nivel de educación. Así, en comparación con los ejidatarios, un porcentaje mayor de propietarios tiene mayor conciencia del problema de la calidad del agua debido a la agricultura, y un porcentaje menor (con respecto a los ejidatarios) está de acuerdo con que el gobierno financie los cambios de las prácticas agrícolas. En este último rubro, también hubo diferencias en lo que se refiere al nivel educativo, ya que los agricultores con mayor educación consideraron en menor proporción que el gobierno debe apoyar el financiamiento.

En contraste, en lo que se refiere al nivel educativo y la percepción de la agricultura como un problema ambiental, los resultados son ambiguos. Lo mismo sucedió con las respuestas sobre el cambio voluntario de uso de pesticidas y fertilizantes, tanto con el régimen de propiedad como con el nivel educativo. Esto puede indicar que otros factores intervienen en la percepción, y presumiblemente en la toma de decisiones sobre prácticas agrícolas, y por consiguiente, merecen una mayor atención por parte de la academia.

Por último, se recomienda enfatizar los programas de educación y la capacitación de los productores sobre los impactos ambientales de la agricultura. Pero no solo es cuestión de capacitación, también los incentivos económicos dirigidos a la productividad, como los subsidios al agua y a los fertilizantes evitan que los agricultores perciban a la contaminación agrícola del agua como un grave problema ambiental.

Bibliografía

Agrawal, G. D., Lunkad, S. K., y Malkhed, T. [1999], "Diffuse agricultural nitrate pollutin of groundwaters in India", *Water Science and Technology,* IWA Publishing, 39 (3), pp. 65-75.

Ajayi, O. C. [2007], "User Acceptability of Sustainable Soil Fertility Technologies: Lessons from Farmers: Knowledge, Attitude and Practice in Southern Africa", *Journal of Sustainable Agriculture,* 30, pp. 21-40.

Barbier, E. B. y Bishop, J. T. [1995], "Economic values and incentives affecting soil and water conservation in developing countries", *Journal of Soil and Water Conservation,* 50 (2), pp. 133-137.

Barnes, A. P., Willock, Joyce, Hall, C., y Toma, L. [2009], "Farmer perspectives and practices regarding water pollution control programmes in Scotland", *Agricultural Water Management,* 96 (12), <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2009.07.002>, pp. 1715-1722.

Berkman, H. E. y Rabeni, C. F. [1987], "Effect of siltation on fish communities", *Environmental Biology of Fishes,* 18, pp. 285-294.

Botello, A.V. S., Villanueva–Fragoso, y Rosales–Hoz, L. [2004], "Distribución y contaminación de metales en el Golfo de México", Instituto Nacional de Ecología (ed.), *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, Semarnat, 2: pp. 683-712.

Bryman, A. y Cramer, D. [2004], "Constructing variables", M. Hardy y A. Bryman (ed.), *Handbook of data analysis,* Londres, Reino Unido, SAGE Publications, pp. 17-34.

Cates, S. C., Chvosta, J., y Wossink, A. [2006], "'Swine producers' perceptions of alternative waste management systems", *Journal of Sustainable Agriculture,* 29 (1), pp. 53-74.

Davies, B. B. y Hodge, I. D. [2006], "Farmers' preferences for new environmental policy instruments: determining the acceptability of cross compliance for biodiversity

benefits", *Journal of Agricultural Economics,* 57 (3), pp. 393-414.

Defrancesco, Edi, Gatto, Paola, Runge, Ford, y Trestini, Samuele [2008], "Factors affecting farmers' participation in agri-environmental measures: a northern Italian perspective", *Journal of Agricultural Economics,* 59 (1), pp. 114-131.

Ducos, G., Dupraz, P., y Bonnieux, F. [2009], "Agri-environment contract adoption under fixed and variable compliance costs", *Journal of Environmental Planning and Management,* 52 (5), pp. 669-687.

Falconer, K. [2000], "Farm-level constraints on agri-environmental scheme participation: a transactional perspective", *Journal of Rural Studies,* 16, pp. 379-394.

Harding, J. S., Benfield, E. F., Bolstad, P. V., Helfman, G. S., y Jones, E. B. D. [1998], "Stream biodiversity: the ghost of land use past", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States, National Academy of Sciences of the United States,* 95: pp.14843-14847

He, X., Li, F., y Cao, H. [2008], "Factors Influencing the Adoption of Pasture Crop Rotation in the Semiarid Area of China's Loess Plateau", *Journal of Sustainable Agriculture,* 32, pp. 161-180.

Hooda, P. S., Edwards, A. C., Anderson, H. A., y Miller, A. [2000], "A review of water quality concerns in livestock farming areas", *The Science of The Total Environment,* Elservier Science B.V., 250 (1-3), pp. 143-167.

Ibarra Aguilar, A., Dauba, F., y Lim, P. [2005], "Influence of non-point source pollution on riverine fish assemblages in south west France", *Ecotoxicology,* 14 (5), pp. 573-588.

Ibarra, Alonso Aguilar y Espejo, Rosario H. Pérez [2008], "La contaminación agrícola del agua en México: Retos y perspectivas", *Problemas del desarrollo*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 39 (153), pp. 205-215.

Keraita, B., Drechsela, P., y Konradsen, F. [2008], "Perceptions of farmers on health risks and risk reduction measures in wastewater-irrigated urban vegetable farming in Ghana", *Journal of Risk Research,* 11 (8), pp. 1047-1061.

Knowler, D. y Bradshaw, B. [2007], "Farmers' adoption of conservation agriculture: a review and synthesis of recent research", *Food Policy,* 32, pp. 25-48.

Kraft, S. E., Lant, C., y Gillman, K. [1996], "WQIP: An assessment of its chances for acceptance by farmers", *Journal of Soil and Water Conservation,* 51 (6), pp. 494-498.

Lichtenberg, E. y Lessley, B. V. [1992], "Water quality, cost–sharing, and technical assistance: perceptions of Maryland farmers", *Journal of Soil and Water Conservation,* 47 (3), pp. 260-264.

Lichtenberg, E. y Zimmerman, R. [1999], "Information and farmers' attitudes about pesticides, water quality, and related environmental effects", *Agriculture, Ecosystems and Environment,* 73, pp. 227-236.

Lyons, J., Piette, R. R., y Niermeyer, K. W. [2001], "Development, validation, and application of a fish–based index of biotic integrity for Wisconsin's large warmwater rivers", *Transactions of the American Fisheries Society,* 130, pp. 1077-1094.

Mander, Ü. y Forsberg, C. [2000], "Nonpoint pollution in agricultural watersheds of endangered coastal seas", *Ecological Engineering,* 14, pp. 317-324.

O'Connor, D. [1994], "Managing the environment with rapid industrialization: lessons from the East Asia experience", Development Centre Studies (ed.), París, Francia, OCDE, p. 243.

Pérez Espejo, Rosario, Ibarra Aguilar, Alonso, y Escobedo-Sagaz, José Luis [2011], "Agriculture and water pollution: farmers perceptions in central Mexico", *International Journal of Water Resources Development,* Routledge, 27 (1), pp. 253-263.

Petit, J. and Werf., H. M. G. v. d. [2003], "Perception of the environmental impacts of current and alternative modes of pig production by stakeholder groups", *Journal of Environmental Management,* 68, pp. 377-386.

Popp, J. y Rodriguez, G. [2007], "The role of stakeholders' perceptions in addressing water quality disputes in an embattled watershed", Mobile, Alabama, Southern Agricultural Economics Association,

Rahman, M. Z., Yamao, M., y Fardous, T. [2006], "Farmer's perception of Village and Farm Forestry Program towards sustainable forestry development: An empirical study from Bangladesh ", *Journal of sustainable forestry,* 22, pp. 171-188.

Thompson, Gary D. y Wilson, Paul N. [1994], "Ejido Reforms in Mexico: Conceptual Issues and Potential Outcomes", *Land Economics,* Wisconsin, Estados Unidos, Universtity of Wisconsin Press, 40 (4).

Vanslembrouck, I., G., Huylenbroeck, Van, y Verbeke, W. [2002], "Determinants of the willingness of Belgian farmers to participate in agri-environmental measures", *Journal of Agricultural Economics,* 53 (3), pp. 489-511.

Wang, L., Lyons, J., Kanehl, P., Bannerman, R., y Emmons, E. [2000], "Watershed urbanization and changes in fish communities in southeastern Wisconsin streams", *Journal of the American Water Resources Association,* 36, pp. 1173-1175.

Wei, Y. P., White, R. E., Chen, D., Davidson, B. A., y Zhang, J. B. [2007], "Farmers' Perception of Sustainability for Crop Production on the North China Plain", *Journal of Sustainable Agriculture,* 30, pp. 129-147.

Wossink, Ada [2005], Farm policy developments and emerging research issues: an international perspective, Edmonton, Canadá, University of Alberta, p. 12.

Zhang, Weiwen, Shi, Minjun, y Huang, Zuhyi [2006], "Controlling non-point-source pollution by rural resource recycling. Nitrogen runoff in Tai Lake valley, China, as an example", *Sustainability Science,* primavera, 1 (1), pp. 83-89.

Programas, normas y calidad del agua en Guanajuato

Rosario Pérez Espejo
Consuelo González Rodríguez

En este capítulo se analiza la estructura legal federal y los lineamientos de los planes y programas nacionales en la que se sustentan los programas hidroagrícolas voluntarios que se aplican en Guanajuato. También, las leyes estatales en las que se basa la escasa normatividad que tiene un efecto indirecto en la calidad del agua. Se hace un resumen de los programas hidroagrícolas orientados a mejorar la eficiencia del riego, se mencionan sus características, fuentes de financiamiento y efectos negativos en la calidad del agua. Se presta particular atención a una norma sobre manejo y quema de esquilmos por su efecto en las prácticas agrícolas, y se muestra el marco institucional en el que programas y normas se ponen en marcha.

Introducción

La investigación económica ha realizado diversos ejercicios con la finalidad de diseñar medidas de control ambiental para el sector agrícola; algunos de los resultados

de esas investigaciones se presentaron en el capítulo 1, en el que también se señala que en la mayor parte del mundo las políticas para el control de la contaminación agrícola del agua se basan en programas voluntarios. De manera excepcional, algunos países aplican normas o instrumentos económicos –por lo general impuestos– para regular las descargas no puntuales de la agricultura (DNP) y mejorar la calidad del suelo y agua.

El objetivo de este capítulo es analizar los programas (federales y estatales) voluntarios y el instrumento normativo estatal (Norma Técnica Ambiental 005, NTA 005) en marcha en Guanajuato, que de manera directa o indirecta, afectan la calidad del agua. Los programas voluntarios se inscriben en el objetivo número uno tanto del Programa Nacional Hidráulico 1996-2001, como del Programa Nacional Hídrico 2007-2012: el mejoramiento de la eficiencia y productividad del agua en el sector agrícola. El instrumento de política agroambiental, la NTA 005[1] es una norma sobre el manejo y quema de esquilmos agrícolas. Interesa, particularmente, conocer el marco legal en el que se inscriben los programas y el instrumento señalados anteriormente y la forma como operan en el espacio de estudio.

Marco normativo federal y estatal

Leyes y programas federales

Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012
Programa Nacional Hídrico 2007-2012
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
Ley de Aguas Nacionales
Ley de Desarrollo Rural Sustentable

[1] Norma Técnica Ambiental-iee-005/2007 (nta 005). Establece las especificaciones para la gestión integral de los residuos agrícolas (esquilmos), así como para la prevención y control de la contaminación generada por su manejo inadecuado, emitida en agosto de 2008 [Gobierno del estado de Guanajuato, 2008].

En México, los temas relativos a la calidad del agua son tratados en un vasto cuerpo normativo en los niveles federal, estatal y excepcionalmente municipal, en los que se incluyen leyes, reglamentos, programas y normas (véase anexo 3). Sin embargo, la relación específica entre la agricultura y la calidad del agua,[2] es considerada solo en dos artículos no vinculantes de la legislación en vigor. A continuación se presentan algunas observaciones a este marco normativo que se relacionan con la calidad del agua:

a) Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012

En el mayor nivel de la normatividad nacional, el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 (PND), se reconoce que existen problemas de salud generados por la contaminación del agua y pone énfasis en la participación de todos los usuarios –incluyendo los agrícolas– para mejorar su manejo y tratamiento y lograr la conservación de los ecosistemas terrestres y acuáticos.

Señala, explícitamente, la necesidad de usar de manera eficiente el agua en la agricultura para reducir su consumo y evitar los procesos de salinización. Para ello, propone como estrategia la modernización y rehabilitación de la infraestructura hidroagrícola, tarea indispensable para tecnificar el riego y evitar las pérdidas en la extracción y transporte del agua.

b) Programa Nacional Hídrico 2007-2012 (PNH)

El PNH [Conagua, 2008] tiene ocho objetivos; el primero de ellos, "Mejorar la productividad del agua en el sector agrícola", se refiere a la relación agua agricultura. Sin embargo, la contaminación del agua por la agricultura, tema

[2] El uso agrícola del agua tiene un vasto espacio en la Ley de Aguas Nacionales, pero los efectos del sector agropecuario en la calidad del agua son prácticamente ignorados.

marginal en el PND, tampoco se aborda en este objetivo del PNH, ni en las siete estrategias mencionadas para alcanzarlo.

El PNH, instrumento básico de la política del agua, no especifica los sectores económicos y espacios geográficos donde se van a aplicar sus estrategias, y tampoco menciona los instrumentos que se pueden utilizar para alcanzar sus objetivos.

c) Ley General del Equilibrio y la Protección al Ambiente, Ley de Aguas Nacionales y Ley de Desarrollo Rural Sustentable.

De manera ambigua, sin vínculo con programas operativos y sin efectos en la práctica, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y la Ley de Aguas Nacionales (LAN), sujetan a regulación la aplicación de insumos que contaminan los cuerpos de agua, en sus artículos 120 y 96 respectivamente.

LGEEPA

Art. 120. Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetos a regulación federal o local:
III. Las descargas derivadas de actividades agropecuarias;
IV. La aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas; ["Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente," 2007].

LAN

Art. 96. En las zonas de riego y en aquellas zonas de contaminación extendida o dispersa, el manejo y aplicación de sustancias que puedan contaminar las aguas nacionales superficiales o del subsuelo, deberán cumplir con las normas, condiciones y disposiciones que se desprendan de la presente Ley y sus reglamentos.
"La Comisión" promoverá en el ámbito de su competencia, las normas o disposiciones que se requieran para hacer compatible el uso de los suelos con el de las aguas, con el objeto de preservar la calidad de las mismas dentro de un ecosistema, cuenca hidrológica o acuífero [Semarnat, 2004].

A le fecha, no existen programas federales o locales que regulen las descargas no puntuales agrícolas (inciso III) o la aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas (inciso IV) del artículo 120 de la LGEEPA. Tampoco se cuenta con normas, "condiciones o disposiciones" en las zonas de riego, que permitan cumplir con el artículo 96 de la LAN sobre descargas difusas agrícolas. Vincular los artículos mencionados con los instrumentos correspondientes es una de las tareas más difíciles y necesarias aún pendientes en el sector hídrico.

En la Ley de Desarrollo Rural Sustentable (LDRS), ley de espíritu productivista y burocrático, la contaminación agrícola del agua es un tema ausente; es sorprendente que no aparezcan, en todo el cuerpo de la LDRS, las palabras contaminación, plaguicidas o fertilizantes. También en este caso, como sucede con la LAN y el PNH, la LDRS privilegia la inversión en la ampliación de la infraestructura hidroagrícola y la tecnificación del riego, como "instrumentos fundamentales" para el desarrollo rural sustentable.

Ni en el nivel nacional, ni en el estado de Guanajuato, los múltiples y costosos programas de tecnificación y modernización del riego han tenido como resultado el ahorro del agua, sino lo contrario: un aumento en la demanda del líquido debido a que la superficie cultivada se expande. Sus efectos en la reducción de la contaminación del agua también son negativos, dado que a una superficie mayor de riego, corresponde un uso creciente de plaguicidas y fertilizantes.

Leyes estatales

Ley de Aguas del estado de Guanajuato
Ley para la Protección y Preservación del Ambiente del estado de Guanajuato
Ley para la Gestión Integral de Residuos del estado y los municipios de Guanajuato
[Instituto de Ecología, 2010]

La LAN y la LGEEPA tienen su correlato en el nivel estatal en las leyes de Aguas para el estado de Guanajuato (LAG) y para la Protección y Preservación del Ambiente del estado de Guanajuato (LPPAG). Este estado tiene leyes sobre ganadería, agrupaciones agrícolas, aparcería agrícola y ganadera y de desarrollo forestal sustentable, pero no de desarrollo rural sustentable.

El ámbito de acción de la LAG son las aguas de jurisdicción estatal, de mucho menor importancia que las federales; su objetivo principal son los servicios públicos doméstico, comercial y de servicios e industrial, de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales. Esta ley no menciona el uso agrícola del agua porque tanto pozos como agua superficial son de jurisdicción federal.

En este nivel de la administración pública, ni la LAG ni la LPPAG en sus artículos sobre aprovechamiento sustentable del agua de jurisdicción estatal, cumplen con el artículo 120 de la LGEEPA de sujetar a regulación local las descargas difusas agropecuarias y la aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas.

Sin embargo, la LPPAG tiene importantes disposiciones sobre la preservación y aprovechamiento sustentable del suelo, el control de la contaminación no agrícola del agua y el establecimiento de normas técnicas. Corresponde al Instituto de Ecología del estado (IEG) establecer las normas técnicas ambientales obligatorias que deben observar las actividades que causen un daño al ambiente (artículo 8, apartado XIV y 50 apartado IV de la LPPAG).

Los artículos 102, 103 y 104 sobre aprovechamiento sustentable de los elementos naturales de la LPPAG, señalan los criterios ecológicos que deben considerar las actividades agropecuarias para preservar el suelo de manera sustentable:

Ley para la Protección y Preservación del Ambiente del estado de Guanajuato:

Artículo 102. Para la preservación y aprovechamiento sustentable del suelo se consideran los siguientes criterios:
III. Los usos productivos de suelo deben evitar prácticas que favorezcan la erosión, degradación o modificación de las características topográficas.
IV. En las acciones de preservación y aprovechamiento sustentable del suelo, deberán considerarse las medidas necesarias para prevenir o reducir su erosión, deterioro de las propiedades físicas, químicas o biológicas y la pérdida de la vegetación natural;

Artículo 103. Los criterios ecológicos para la preservación y aprovechamiento sustentable del suelo se consideran en:
I. Los apoyos a las actividades agrícolas que otorgue el Gobierno del Estado, de manera directa o indirecta, sean de naturaleza crediticia, técnica o de inversión, para que promuevan la progresiva incorporación de cultivos compatibles con la preservación del equilibrio ecológico y la restauración de los ecosistemas;

Artículo 104. Quienes realicen actividades agrícolas y pecuarias, deberán llevar a cabo las prácticas de preservación, aprovechamiento sustentable y restauración necesarias para evitar la degradación del suelo... y, en su caso, lograr su rehabilitación ... [Ley para la Protección y Preservación del Ambiente del estado de Guanajuato, 2000].

Se hace referencia a estos artículos porque todas las medidas que se toman en relación con la calidad del suelo tienen un impacto en la calidad del agua.

El artículo 125 de esta ley permite utilizar aguas residuales tratadas de jurisdicción estatal en la industria y la agricultura; en este último caso, se estipula que se promoverán acciones para mejorar la calidad del recurso, reglamentar los cultivos y las prácticas de riego. Esto no se ha hecho y las prácticas de riego no están reguladas ni en el nivel federal, ni en el estatal.

De especial importancia es la Ley para la Gestión Integral de Residuos del estado y los municipios de Guanajuato (LGIRG), porque junto con otras dos leyes estatales, la Ley Orgánica del Poder Ejecutivo y la LPPAG, integran el fundamento legal de la Norma Técnica Ambiental, NTA-IEE-005/2007 (NTA 005) sobre gestión integral de los residuos agrícolas.

La LGIRG se refiere, casi en su totalidad, a los residuos sólidos urbanos y solo marginalmente a los residuos agrícolas que considera de manejo especial y tiene, entre sus objetivos, la prevención de la contaminación y la remediación de suelos contaminados con residuos.

Programas voluntarios hidroagrícolas

Como ya se mencionó, en la legislación sobre el recurso hídrico y en la planeación del desarrollo, la sustentabilidad del agua se hace depender en gran medida de la modernización de la infraestructura hidroagrícola y la tecnificación del riego, y en mucho menor medida del manejo del recurso y en nada en las prácticas agrícolas sobre uso de insumos que lo contaminan.

En este sentido, y a pesar de la importancia que la agricultura de riego tiene en Guanajuato, el estado no tiene programas específicos que atiendan el problema de contaminación del agua por agroquímicos, pero en cambio, impulsa diversos programas cuyo objetivo es la tecnificación del riego y que impactan de diversas formas la calidad del agua; asimismo de manera marginal, se promueven programas sobre uso sustentable de recursos naturales, pero no en el DR011.

En Guanajuato operan cinco tipos de programas hidroagrícolas en función del origen de los recursos involucrados:

1. Se derivan de un convenio de coordinación entre la Federación (vía Conagua) y el gobierno del estado.
2. Surgen de un convenio de coordinación entre la Federación (vía la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Sagarpa) y el gobierno del estado.
3. Se financian solo con recursos estatales.
4. Reciben apoyos federales mediante la delegación de la Sagarpa en el estado.
5. Programas y servicios que promueve la Sociedad de Responsabilidad Limitada, SRL que representa a los once módulos del distrito de riego.

Estos programas se manejan en la Subsecretaría de Riego de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del estado de Guanajuato (SDA) y, como muchos otros programas que significan un subsidio, carecen de prioridades, dependen de la demanda, y la población objetivo no está definida [S.R.L. de I.P. de C.V., 2008].

El programa de Uso Sustentable de los Recursos Naturales está a cargo de la Comisión Nacional de Zonas Áridas y opera solo en el norte del estado.

Programas estatales en coordinación con Conagua

1.1 Rehabilitación y modernización de Distritos de Riego
1.2 Desarrollo parcelario
1.3 Uso pleno de la infraestructura hidroagrícola
1.4 Uso eficiente del agua y la energía eléctrica

En 2008, Guanajuato operó cuatro programas en coordinación con Conagua bajo el rubro de Activos productivos, mediante el Fideicomiso Irrevocable de Inversión y Administración para la Ejecución de Programas Hidroagrícolas[3] (FIDEA). Se trata de programas de infraestructura hidráulica que opera la Dirección de Infraestructura Hidráulica de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Guanajuato. Dos de estos programas solo están en marcha en el DR011 y los otros dos en las Unidades de Riego para el Desarrollo Rural (Urderales). Estos son programas que significan subsidios y transferencias y que están sujetos a reglas de operación.

Rehabilitación y modernización de distritos de riego

En 2008 se le asignó un monto de 78.4 millones de pesos (70% de una inversión en programas para agua superficial

[3] El FIDEA ya no existe, excepto en Guanajuato donde se solicitó que siguiera operando para efectos administrativos.

de alrededor de 112 millones de pesos) que aportaron por partes iguales Conagua y la SDA.[4] Su objetivo es incrementar la eficiencia en el riego[5] apoyando cambios en la infraestructura y entubado[6] (con ello se dio capacidad al canal principal Coria); rehabilitación electromecánica[7] y equipamiento; cableado; mantenimiento; adquisición de nuevos equipos; instalación de tubería para conducción, entubamiento lateral y en cabecera de parcela; revestimiento de canales y capacitación en programas de riego. Este programa solo opera en el DR011.

Desarrollo parcelario

Recibió 17% de los recursos por partes iguales de la Conagua y la SDA. Sus objetivos son mantener el funcionamiento de la infraestructura hidráulica en condiciones adecuadas, mediante la adquisición de maquinaria y equipo para la conservación de las obras existentes; mejorar el servicio de riego e incrementar el uso eficiente del agua. Financia la adquisición de maquinaria y equipo diversos de conservación (tractores-bulldozer, excavadoras hidráulicas de largo alcance, retroexcavadoras-cargadoras, motoconformadoras, camiones de volteo, grúas hidráulicas sobre camión, etc. Para nivelación de tierras se financia la adquisición de tractores agrícolas, transmisor-receptor láser, escrepas acarreadoras y/o niveladoras. Este programa solo opera en el DR011.

Uso pleno de la infraestructura hidroagrícola

Representa alrededor de 7% de los recursos y participan Conagua (50%), SDA (25%) y usuarios (25%); difiere de los

[4] En riego por goteo el usuario aporta 25%, la SDA 25% y Conagua 50 por ciento.

[5] Estimada en 40 por ciento.

[6] El módulo de Jaral del Progreso está 100% entubado y se reportó un aumento en la eficiencia en el uso del agua de solo 2 por ciento.

[7] Su eficiencia se estima en menos de 40 por ciento.

dos anteriores, en que este programa solo opera en las Urderales.[8] Su objetivo es propiciar el ahorro de agua y la energía eléctrica mediante la rehabilitación de plantas de bombeo y de pozos y equipos de bombeo para el riego agrícola. En Guanajuato beneficia a 248 pequeños almacenamientos de agua.

Uso eficiente del agua y la energía eléctrica

Como el anterior, solo opera en las Urderales.[9] Participan Conagua con 50%, SDA 25% y usuarios 25%; representa alrededor de 6% de los recursos que se asignan a la rehabilitación electromecánica (mejoramiento del equipo de bombeo) y al equipamiento. En Guanajuato opera únicamente en los acuíferos de Laguna Seca, Jaral de Berrios y en el río La Laja. Sus resultados no son un ahorro de agua, sino un ahorro mínimo de energía.

En 2009, Conagua fusionó los programas Uso Eficiente del Agua y la Energía y Uso Pleno de la Infraestructura Hidroagrícola en un solo programa (Programa S217 Modernización y Tecnificación de Unidades de Riego), con el fin de lograr una mayor eficiencia en el uso del agua e incrementar la productividad agrícola en las Urderales [Semarnat, 2009].

En Guanajuato, la mayoría de los acuíferos están sobreexplotados y los pozos destruidos y colapsados; pozos de los que se bombeaban 60 litros por segundo, ahora solo proporcionan 16 litros por segundo. Por falta de recursos para rehabilitarlos, en las Urderales se han tenido que hacer cambios en el uso del suelo pasando de agrícola a ganadero; de la producción de hortalizas a los pastizales por falta de agua.

[8] En algunos estados también beneficia pozos privados.
[9] *Ibidem*.

Programas estatales en coordinación con la Sagarpa

Tecnificación del riego

Es un programa de riego con agua subterránea que opera la Dirección para la Eficiencia del Agua de Uso Agrícola de la SDA; está en marcha en todo el estado mediante el Fideicomiso Fondo de Fomento Agropecuario en el que participan la Federación por conducto de la Sagarpa y la SDA. Estas instituciones aportan 50% de la inversión (60.5% y 39.5% respectivamente) y los usuarios 50% restante. Su objetivo es el ahorro del agua subterránea mediante la instalación de sistemas para la tecnificación del riego. Hasta 2009 se habían autorizado 119 proyectos en beneficio de 3 092 hectáreas, con una inversión de aproximadamente 44.6 millones de pesos. También se han apoyado 5 200 sistemas de riego en pozos presurizados. Se estima que con el programa se ha logrado un ahorro de agua de 20%, pero no hay un proyecto específico que evalúe los resultados de la tecnificación del riego en el estado.

Programas financiados por la Subsecretaría de Riego de la SDA

Programa de capacitación y asesoría técnica de riego

Se creó en 2007 con presupuesto del estado; la SDA transfiere los recursos para su operación a los Consejos Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS). Está en marcha en Celaya e Irapuato con 16 técnicos y dos coordinadores. Se capacita a 300 productores cada año en el ciclo –otoño-invierno en 2 700 hectáreas (150 ha por técnico en un año). Técnicos y productores realizan mediciones puntuales para calcular la eficiencia del reparto de agua y se han logrado ahorros de 11.3 miles m^3 en promedio en 1 200 hectáreas. Se estima que los mayores ahorros de agua se obtienen con asistencia técnica más que con tecnificación del riego.

Los COTAS, con apoyo de Comisión Estatal de Aguas de Guanajuato (CEAG) y la Conagua, instalan medidores; en los más de 5 mil sistemas de riego apoyados debería haber un medidor pero, según información de los funcionarios de los módulos, los propios productores los descomponen.

PROGRAMAS A CARGO DE LA SAGARPA

4.1 Programa Especial de Energía para el Campo en Materia de Energía Eléctrica de Uso Agrícola
4.2 Agricultura protegida
4.3 Uso sustentable de recursos naturales para la producción primaria

La Delegación de la Sagarpa en el estado de Guanajuato, solo tiene funciones normativas y de coordinación de los programas que reciben recursos federales.

Programa Especial de Energía para el Campo en Materia de Energía Eléctrica de Uso Agrícola

Lo operan los Centros de Apoyo al Desarrollo Rural (CADER) y tiene como propósito beneficiar a los agricultores con una tarifa de estímulo a la energía eléctrica (cuota energética)[10] para el bombeo y rebombeo en procesos primarios [SHyCP, 2003]. A este programa de subsidio generalizado para la agricultura de riego se atribuye el sobreúso del agua en la agricultura y la sobreexplotación de los acuíferos, dado que el ahorro en energía eléctrica se traduce, por lo general, en una expansión de la superficie cultivada.

[10] Cuota energética = (*hp* x 0.746 x 365 x 24) x 0.75 + 438, donde: *hp*: capacidad del motor de la bomba, expresado en *hp*; (0.746): Constante para convertir los hp en kW; (365 días): el tiempo máximo en el año que podría operar el equipo; (24 horas): el tiempo máximo en el día que podría trabajar el equipo; (0.75): proporción del tiempo estimado de la operación del equipo; (438): al consumo promedio anual correspondiente al alumbrado del local donde se encuentra instalado el equipo de bombeo [SHyCP, 2003].

Existen varias propuestas para modificar este subsidio: reducir la tarifa a la tercera parte;[11] eliminarlo como parte de una eliminación generalizada de subsidios a todos los agroexportadores [Usabiaga Arroyo, 2009] y el diseño de varios escenarios de modificación de la tarifa[12] [Muñoz Piña y Ávila Forcada, 2005].

Agricultura protegida

Inscrito en el Programa de Fomento Agrícola tiene como objetivo el ahorro de agua con la instalación de invernaderos, macrotúneles y malla-sombra. Con los invernaderos se logra un ahorro sustancial de agua, pero el efluente es mucho más concentrado en sales y no recibe ningún tratamiento. Acerca de este programa que se inició en 2003 y representa 95% de los recursos asignados al fomento agrícola, no se tiene información: no se sabe cuántos invernaderos se han apoyado y cuántos hay en el estado, no hay seguimiento de lo ejercido y muchas instalaciones ya están destruidas. Contribuye a este desorden el hecho de que otras entidades, la Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol), la Secretaría de Economía de Guanajuato y algunas presidencias municipales también apoyan la instalación de invernaderos sin que haya planteamientos claros sobre su necesidad, ni seguimiento de lo realizado.

Los macrotúneles son instalaciones mucho menos complejas que protegen de plagas y evitan el uso de insecticidas y herbicidas; su costo es 30 veces menor que el de un invernadero, pero los recursos que se han destinado a este

[11] Información proporcionada por el ingeniero Valentín Vázquez Aguilar, del Departamento de Fomento Agrícola de la Sagarpa, en entrevista en el marco del proyecto de investigación PAPITT 35107: Política ambiental, agricultura y contaminación del agua, Guanajuato, noviembre 24 del 2009.

[12] Esta última propuesta se describe en el apartado sobre Propuesta de política agroambiental.

programa son mínimos. La malla-sombra es el más simple de los apoyos y consiste en un toldo de plástico con diferente capacidad para filtrar los rayos del sol.

Uso sustentable de los recursos naturales

Su objetivo es contribuir a la conservación, uso y manejo sustentable del suelo, agua y vegetación utilizados en la producción primaria; lo opera la Comisión Nacional de las Zonas Áridas (Conaza) en áreas de temporal y está dirigido a población en pobreza extrema, marginalidad alta, media y baja. Se apoya en la construcción de pequeñas obras: bordos de mampostería, terrazas de piedra, curvas de nivel, ollas de agua, tinas ciegas y plantaciones de especies nativas para reforestar, que ayudan a preservar el suelo y de manera indirecta, las fuentes y calidad del agua.

En Guanajuato, solo opera en el norte del estado, en los distritos de Desarrollo Rural de la Sagarpa 01, Dolores Hidalgo y 02 San Luis de la Paz y su prioridad son 13 municipios de la zona noreste del estado: Atargea, Allende, Doctor Mora, Dolores Hidalgo, Ocampo, San José Iturbide, San Luis de la Paz, San Felipe, Tierra Blanca, Santa Catarina, Victoria, Zichú, San Diego de la Unión.

Programas y servicios de la Sociedad de Responsabilidad Limitada

La Sociedad de Responsabilidad Limitada,[13] integrada por los tres directivos de cada uno de los módulos de riego, es el contacto entre autoridades (principalmente Conagua,

[13] Se crea en diciembre de 1996, cuando se transfiere a los usuarios la red mayor; la red menor se transfirió en 1992 cuando se formaron los 11 módulos de riego que están representados en la SRL. El Consejo Directivo de la SRL está integrado por los tres directivos de cada uno de los 11 módulos de riego.

SDA y Sagarpa con las que integra el Comité Hidráulico del DR011), instituciones públicas y privadas como Insituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Asociación para la Agricultura Sostenible en Base a Siembra Directa A.C. (Asodid) y los usuarios del distrito; es, además, la instancia mediante la cual fluyen fondos para el programa conservación y rehabilitación de la red mayor y para algunos servicios que se ofrecen a los usuarios del DR011.

El programa fundamental es el de conservación y/o rehabilitación de la red mayor, que se opera en coordinación con un grupo técnico de la Conagua encargado de la supervisión de las actividades involucradas en este programa.

Además del programa anterior, la SRL ofrece algunos servicios a sus agremiados que podrían constituir programas formales para los agremiados, siempre y cuando se superaran un conjunto de problemas que la misma SRL reconoce tener, entre ellos escasa organización y administración internas, falta de capacitación y formación de sus cuadros directivos, carencia de un departamento técnico para gestar proyectos productivos, falta de seguimiento y evaluación de proyectos gubernamentales, y falta de estructuras de medición para el ahorro del agua [S.R.L. de I.P. de C.V., 2008].

Los servicios que ofrece la SRL se agrupan bajo los siguientes rubros: a) Innovación y desarrollo tecnológico, que involucra la producción de semilla registrada y certificada y proyectos en coordinación con instituciones de investigación, particularmente con el INIFAP; b) Financiamiento, para la gestión de créditos agrícolas y orientación financiera por medio de la unión de crédito "Agropecuaria de Guanajuato S.A. de C.V."; c) Servicios agrícolas y transferencia de tecnología, que proporciona asistencia técnica para siembra directa, cultivos alternativos, empleo de insumos agrícolas, nivelación de tierras y gestión de apoyos federales y estatales; d) Estudios y proyectos: diseño y

evaluación y proyectos productivos; e) Comercialización, fundamentalmente de agricultura por contrato e instrumentos derivados.

Normas y calidad del agua: la NTA 005

Nuestro país cuenta con un marco normativo que regula la calidad del agua para las descargas puntuales de aguas residuales, integrado por las normas oficiales mexicanas 001, 002 y 003,[14] ninguna de ellas aplicable a la agricultura.

Las ganaderías intensivas, particularmente la ganadería porcina y los establos lecheros, deben cumplir con la NOM 001 y podría aplicar a cualquier otra rama de la ganadería que se mantuviera en confinamiento y que empleara el agua en sus procesos de limpieza. Se argumenta que la avicultura, actividad por demás altamente concentrada, trabaja "en seco", es decir, no usa el agua para el manejo de la pollinaza, y por eso no está sujeta al cumplimiento de la NOM 001, pero la ganadería de campo, cualquiera que sea la especie en producción y los corrales de engorda, generan descargas difusas que como las agrícolas, no están reguladas.

Sin embargo, el estado de Guanajuato cuenta con una norma sobre manejo y quema de esquilmos agrícolas única en el país, la Norma Técnica Ambiental, NTA-IEE-005/2007 (NTA 005) [Gobierno del estado de Guanajuato, 2008], obligatoria para todos los agricultores y grupo de personas que realicen quema de esquilmos.

[14] La NOM-001-Semarnat-1996 establece límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a bienes y aguas de la nación; la NOM-002-Semarnat, 1997 indica los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal; la NOM-003-Semarnat-1997 regula los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

La NTA 005 tiene como objetivo establecer las especificaciones para la gestión integral de los residuos agrícolas (esquilmos), y su intención es modificar las prácticas de manejo convencional (barbecho tradicional, falta de rotación, quema de esquilmos, etc.) que tienen efectos negativos en el ambiente y la salud de la población, e impulsar un manejo sustentable que los mitigue.

Su referencia en el nivel federal es la NOM-015-Semarnat/Sagarpa-1997 que regula el uso del fuego en terrenos forestales y agropecuarios y, en el estado de Guanajuato, la operación y difusión de las dos normas, la estatal y la federal, generan malentendidos entre los productores acerca de lo que es posible quemar y lo que está prohibido. Los anuncios por la radio local mencionan, indistintamente, que se permite la quema controlada en zonas forestales y pastizales de acuerdo con la norma federal (NOM 015) y que se prohíbe la quema de esquilmos de acuerdo con la norma estatal (NTA 005).

La LAPPG señala que corresponde al Instituto de Ecología del estado de Guanajuato (IEG) establecer normas técnicas ambientales de carácter obligatorio (artículo 8, fracción XIV) y asigna a la Procuraduría de Protección al Ambiente del estado de Guanajuato (PPAG) verificar su cumplimiento (artículo 9, fracción XI).

Las recomendaciones y prohibiciones de la NTA 005 reflejan parte de los compromisos contraídos por México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y coinciden con algunas de las recomendaciones de la FAO sobre mitigación y adaptación al cambio climático para lograr la seguridad alimentaria.

Características de la NTA 005

La NTA 005 es una lista parcial de buenas prácticas agrícolas para el manejo de esquilmos que regula las siguientes

actividades: 1. Manejo del suelo; 2. Rotación de cultivos; 3. Labranza de conservación; 4. Empacado de esquilmos; 5. Aprovechamiento de esquilmos y subproductos en la alimentación del ganado; 6. Elaboración de sustratos a partir de las pacas de esquilmos para la producción de hongos comestibles; 7. Producción de humus mediante lombricultura; 8. Aprovechamiento para elaborar materiales de construcción; 9. Elaboración de composta; 10. Producción de biocombustibles y, 11. Manejo de esquilmos. Esta última disposición hace obligatorio el empaque de al menos 70% de los esquilmos agrícolas para su reutilización, y la reincorporación de 30% restante al suelo. Prohíbe la quema de residuos agrícolas en cualquier época del año.

La PPAG solo se encarga de la parte de la NTA 005 que se refiere a la quema de esquilmos y no hay en Guanajuato ninguna dependencia o institución que impulse o vigile el cumplimiento de las 10 disposiciones generales sobre buenas prácticas agrícolas de esta norma que, desde nuestro punto de vista, deberían estar a cargo de la SDA.

El detalle de las características de esta norma y los resultados de la investigación en el DR011 relativos a su aplicación, se expondrán con detalle en el capítulo 10, sobre sustentabilidad de las prácticas agrícolas.

Conclusiones

México, y Guanajuato en particular, cuentan con el marco legal y las instituciones para establecer programas específicos de mejoramiento de la calidad del agua en las zonas agrícolas de riego, que coadyuven a reducir la contaminación difusa agrícola.

Sin embargo, ni en el nivel federal, ni en el local, se han creado las medidas específicas, sean estas programas, normas, "condiciones o disposiciones" que regulen las descargas no puntuales agrícolas, la aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas. La vinculación de los

preceptos contenidos en leyes federales sobre el tema, que considere instrumentos y programas específicos agroambientales es una tarea pendiente.

Los programas hidroagrícolas en marcha en el DR011 privilegian la eficiencia y modernización del riego que supone un ahorro de agua; sin embargo, sus resultados han sido lo opuesto: una ampliación de la superficie en explotación, el aumento en la demanda de agua y de los agroquímicos que contaminan el recurso.

Guanajuato es el único estado en el país que cuenta con una norma que regula las prácticas agrícolas sobre manejo y quema de esquilmos. En la práctica, la parte de la norma que se refiere a la quema de esquilmos, es vigilada por la Procuraduría de Protección al Ambiente de Guanajuato, en la medida de sus escasos recursos. Pero la parte que corresponde al manejo de esquilmos no está a cargo de ninguna institución, por lo que se requiere un esfuerzo de coordinación entre el Instituto de Ecología y la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, para que se puedan promover y vigilar esas prácticas.

Para hacer operables los artículos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente que delegan en los gobiernos locales la regulación de la aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas en las zonas de riego, se requiere, en una primera etapa, establecer programas voluntarios de educación y asistencia técnica que sean masivos y eficientes. Se ha demostrado que establecer normas y vigilarlas son procesos complicados que deben ir acompañados de programas más sencillos que estén vinculados y sujetos a los programas de subsidios.

Bibliografía

Conagua [2008], *Programa Nacional Hídrico 2007-2012*, México, Comisión Nacional del Agua, p. 137.

Gobierno del estado de Guanajuato [2008], "Decreto Gubernativo No. 79/Norma Técnica Ambiental NTA-IEE-005/2007 que establece las especificaciones para la gestión integral de los residuos agrícolas (esquilmos), así como para la prevención y control de la contaminación Generada por su manejo inadecuado", *Periodico Oficial del Gobierno del Estado de Guanajuato,* Guanajuato, Guanajuato, CXLVI (133).

Instituto de Ecología [2010], "Normatividad ambiental", Guanajuato, Guanajuato, Gobierno del estado de Guanajuato, <http://ecologia.guanajuato.gob.mx/sitio/normatividad–ambiental>, acceso 7 de diciembre.

Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente [2007], *Diario Oficial de la Federación,* México, Cámara de Diputados, 98.

Ley para la protección y preservación del ambiente del estado de Guanajuato [2000], *Periodico Oficial del Gobierno del Estado de Guanajuato,* Guanajuato, Guanajuato, CXXXVIII (11), 65.

Muñoz Piña, Carlos y Ávila Forcada, Sara [2005], "Los efectos de un impuesto ambiental a los plaguicidas en México", *Gaceta Ecológica,* México, Conagua-Semarnat, 074 (enero-marzo), pp. 43-53.

Semarnat [2004], "Decreto por el que se adiciona un párrafo segundo al artículo décimo cuarto transitorio del decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales", *Diario Oficial de la Federación*, México, Cámara de Diputados, p. 18.

_____ [2009], "Evaluación de diseño del Programa S217 modernización y tecnificación de unidades de riego", México, Semarnat-Gobierno Federal, p. 87.

SHyCP [2003], "Acuerdo que autoriza el ajuste a las tarifas para suministro y venta de energía eléctrica", *Diario Oficial de la Federación*, México, Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

SRL, Coneval [2008], "Crecimiento y desarrollo del DR011". Consejo Nacional de Evaluación para la Política Social <http://www.coneval.gob.mx/evaluaciones/>.

Usabiaga Arroyo, Javier B. [2009], Panel de discusión. "Políticas agroalimentarias bajo un entorno de crisis económica global", *Primer foro sobre enofque de la política agroalimentaria en un escenario de crisis económica global*, México D. F., Sagarpa, 28-29 octubre.

PARTE III

PRÁCTICAS AGRÍCOLAS Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Uso del agua en la agricultura

Andrea Santos Baca[*]

El agua, además de ser un elemento esencial para la vida en todas sus formas, es clave en los diferentes procesos de producción, especialmente en la agricultura. La agricultura de riego es la destinataria de la mitad o más del agua dulce extraída en todo el mundo. En México, la administración de agua dulce para la agricultura se realiza en diferentes niveles: Comisión Nacional del Agua, Organismos de Cuenca, Distritos de Riego y Módulos de Riego. Este trabajo analiza las prácticas de riego de los usuarios del DR011, a partir de datos de una encuesta realizada en 2008 a 145 usuarios. El objetivo es mostrar la incidencia del tipo de riego (pozo y gravedad) y el tamaño de productor (chico, mediano y grande) en el manejo del agua. Los indicadores empleados para el análisis son: lámina y lámina relativa de riego, escala de sobrerriego y costos asociados al riego.

* Licenciada en Economía por la Facultad de Economía UNAM, estudiante de maestría en Ciencias Sociales en Flacso-México.

Introducción

De acuerdo con la FAO, aproximadamente 3 600 km^3 de agua dulce son extraídos para consumo humano, lo que equivale a 580 m^3 por habitante al año. En todas las regiones, con excepción de Europa y América del Norte, la agricultura de riego es el sector que consume la mayor parte del agua que se extrae, con frecuencia la mitad o más. El agua que necesitan los cultivos varía entre 1 000 m^3 y 3 000 m^3 por tonelada de cereal que se cosecha [FAO, 2002].

La agricultura es, además, una fuente importante de contaminación de agua, porque si bien, la calidad del agua extraída pudiera ser buena, en su retorno al sistema hidrológico lleva consigo contaminantes de los insumos agrícolas: sales, insecticidas, herbicidas, potasio y nitrógeno, que estimulan la proliferaciones de algas y la eutrofización de los cuerpos de agua, además de la permanencia de algunos químicos [FAO, 2002].

En México, como en muchas partes del mundo, el agua está sobreexplotada, y su uso en la agricultura, industria y los hogares es poco eficiente. En la agricultura de riego, el agua se desperdicia en todas y cada una de las fases, existen filtraciones en los canales que conducen el agua hasta las parcelas y se aplican volúmenes del líquido que exceden las necesidades de los cultivos.

La administración, distribución y manejo del agua en nuestro país está organizada en 13 Organismos de Cuenca (OC) y 85 Distritos de Riego (DR). En el año agrícola 2007-2008, en los trece OC hubo poco más de 453 mil usuarios, se regó una superficie de 2.5×10^6 hectáreas (ha) y se distribuyeron 31.0×10^9 metros cúbicos (m^3) de agua [Conagua, 2009]. 65.9% del volumen de agua distribuida a los DR proviene de las presas de almacenamiento y 10% de agua del subsuelo. En el ciclo mencionado, se distribuyeron 20.49×10^9 m^3 de agua de presas para regar una superficie de 1.79×10^6 ha, 70.7% de la superficie total de riego.

La mayor parte de los DR (91.9%) se cultiva solo una vez al año (ciclo 2006-2007) y únicamente en los OC III y VIII la superficie que fue sembrada dos veces fue significativa, siendo importantes los segundos cultivos[1] en Sinaloa, Guanajuato, Michoacán y Sonora [Conagua, 2009].

A nivel nacional, la lámina de riego (LR) bruta promedio a nivel de fuente de abastecimiento fue de 122 cm pero varía de menos de 60 cm a más de 200 cm en la mayoría de los OC. Por ejemplo, en el OC VIII, donde se encuentra el DR011, la LR bruta promedio fue de 119 cm variando de 91cm en riego por pozo[2] a 132 en riego por gravedad [Conagua, 2009].

De los usuarios de los DR 50% se concentran en tres OC: II Noroeste (19.8%), VIII Lerma-Santiago-Pacífico (18.2%) y IV Balsas (12.8%). Alrededor de dos millones de hectáreas regadas, equivalentes a 80% de la superficie y 74.3% del volumen distribuido se concentran en cinco OC: I, II, III, VI y VIII [Conagua, 2009].

Los estados y región con un mayor número de usuarios son Sinaloa, Hidalgo, Michoacán, Sonora y la Región Lagunera, que en conjunto representan 56% de los usuarios. Sinaloa, Sonora y Tamaulipas concentran 56% de la superficie de riego y Sinaloa, Sonora, Baja California 15% del agua distribuida. En Guanajuato se encuentran 5% de los usuarios, 4% de la superficie de riego, y recibe 4% del agua distribuida [Conagua, 2009]. 22 grandes DR de un total de 85, concentran 77.6% de la superficie regada y entre estos se encuentra el DR011 Alto río Lerma, que ocupa 32.2% de la superficie de riego del OC VIII (alrededor

[1] Segundos cultivos es definido como: cultivos que se siembran en parcelas, en los cuales ya se establecieron primeros cultivos de otoño-invierno o de primavera-verano en un mismo año agrícola [Conagua, 2009].

[2] Cuando se indique gravedad se refiere al riego con agua proveniente de presa (gravedad-presa) y pozo cuando el riego sea con aguas subterráneas (pozos) por medio de bombeo.

Cuadro 1. Información general DR011 año agrícola 2007/2008

	Gravedad	Pozos	Bombeo corrientes	Total
Número de usuarios	14 878	7 895	2 481	25 254
Superficie regada (ha)	56 583	36 227	10 217	103 028
Vol. Dist. (miles m^3)	769 348	352 271	67 780	1 189 400
Lámina Bruta[1] (cm)	136	97.2	66.3	115.4

Fuente: Conagua, 2009.

[1] Lámina bruta: Espesor de una capa de agua, expresado en centímetros, que ocuparía un cierto volumen de agua extraído de la fuente de abastecimiento en una superficie dada de riego.

de 100 mil ha) y se le destina 30% del agua de este organismo, poco más de mil millones de metros cúbicos.

En el DR011, 54.9% de la superficie se riega por gravedad, 35.1% por pozos, y el resto es bombeo directo de corrientes (cuadro 1). Este DR tiene dos características que lo hacen diferente a los demás: la elevada proporción de riego con agua del subsuelo: 35% contra no más de 10% en el resto del país, y la gran superficie –60%– que se cultiva dos veces en una año agrícola [Conagua, 2009]. Para el DR011 la lámina de riego bruta (lámina de riego extraída de la fuente de abastecimiento) fue de 115 cm, inferior en cinco centímetros respecto de la nacional.

El uso del agua en el DR011

El objetivo de este apartado es analizar, a partir de la encuesta levantada, las diferentes formas de uso del agua por parte de los agricultores del DR011 en función de su tamaño (chico, mediano y grande) y el tipo de riego que emplean (gravedad o pozo particular u oficial).

A los agricultores que riegan por gravedad se les preguntó el número de riegos que realizan, la cantidad de horas que dura cada riego y un dato aproximado del "gasto" del canal que les distribuye el agua. En general, no saben con

exactitud la cantidad de agua que entra a su parcela en un determinado periodo de tiempo. A partir de la experiencia del usuario y del administrador de los canales de riego, se calcula el tiempo de riego necesario para una hectárea con un determinado cultivo. En la investigación de Kloezen y Garcés [1998 : 17] en el DR011 se reporta la misma dificultad: los administradores de los canales solo estiman y no miden el volumen de agua distribuido, ellos fijan el tiempo de riego para cada hectárea basados en la experiencia y en su relación con el usuario.

Decir que se desconoce el volumen exacto de agua proporcionado a cada usuario no significa que sea completamente desconocido o arbitrario. Al principio de cada año agrícola, la Conagua determina la disponibilidad de agua en las presas que abastecen al distrito. A cada módulo se le concesiona una cantidad de agua de acuerdo con la superficie de riego registrada, y los comités hidráulicos determinan el volumen efectivo de agua distribuido, la fecha de inicio y fin de cada periodo de riego y el número de riegos asignados que corresponde a cada módulo.

Los módulos regulan la cantidad de agua que recibe cada usuario, los cuales no pueden recibir más riegos que los autorizados por el Comité, y no pueden regar una superficie mayor a la registrada en el módulo. La asociación de usuarios de cada módulo estima el volumen máximo que un productor puede recibir en función de una lámina de riego general, independiente del cultivo y de sus necesidades hídricas [Kloezen y Garcés-Restrepo, 1998 : 7].

En varios casos, el gasto de agua de los canales se tuvo que estimar; para ello se empleó la información de otros usuarios del mismo módulo, partiendo del supuesto de que la infraestructura de los canales es similar al interior de los módulos. Cuando se encontraron diferentes "gastos" para un mismo módulo, se usó el promedio. En el módulo de Acámbaro no se pudo obtener información sobre el gasto de los canales, por lo que tampoco fue posible estimar el consumo de agua de los usuarios.

A los agricultores que riegan por pozo se les preguntó sobre el gasto (l/s) de la bomba empleada, las horas que ocupó el primer riego, el número de riegos consecutivos y el tiempo (horas) de duración de estos riegos. La determinación del volumen de agua empleada en el riego por pozo presenta menos dificultades, ya que los usuarios conocen la capacidad de su bomba, esto es, el número de litros por segundo que proporciona. Sin embargo, como se trata de pozos "privados" que en general no tienen un permiso, el módulo prácticamente no los regula, ni tiene control sobre el agua del subsuelo.

El siguiente paso para ambos tipos de riego consistió en calcular el tiempo total de riego en segundos por hectárea y el resultado se multiplicó por el gasto reportado, ya sea del canal o de la bomba. De esta manera, se obtuvo el volumen de agua empleado en cada hectárea considerando todos los riegos. La lámina de riego es la "altura" de la capa de agua aplicada a una hectárea (10 000 m^2), con una capacidad estimada de 10 000 m^3; esto equivale a un metro cúbico de agua por cada metro cuadrado. De esta manera, el consumo de 10 000 m^3 de agua por hectárea supone una lámina de 100 cm. Con esta relación es posible determinar la lámina de riego para cualquier cantidad de agua empleada y su productividad en términos del volumen en kilogramos producido por cada metro cúbico empleado.

Para analizar el volumen de agua empleado se usó el riego relativo, que es el cociente de la lámina empleada y la lámina requerida según el cultivo, y la escala de sobrerriego (de 0 a 5). Kloezen y Garcés [1998] emplean un indicador similar: suministro relativo de riego definido como la relación entre el riego y la demanda de riego, esto es, el riego divido por la demanda a nivel parcela restando la lluvia [Kloezen y Garcés, 1998: 36]. La existencia de un sobrerriego, es decir, de un riego que supera las necesidades hídricas de los cultivos, se obtiene cuando este indicador adquiere valores mayores que 1. La escala de sobrerriego

agrupa las láminas relativas en cinco grupos respecto de la lámina requerida por los cultivos.[3]

Los requerimientos de agua se estimaron con el programa DRiego-versión 1.0 creado por el INIFAP-CENID RASPA La Laguna, con el apoyo de Sagarpa-COFUPRO y CONACYT [Sagarpa *et al.,* 1994].[4] El programa DRiego tiene por objetivo proporcionar información sobre las demandas de agua y programación del riego para diferentes cultivos en los distritos de riego del país. Para ello, el programa emplea el balance de agua en el suelo y la información climática promedio de los últimos 20 años (DRiego). La textura del suelo es una información clave para definir la demanda de agua de los cultivos; en el DR011 se identificaron seis texturas de suelo diferentes: arcilloso, arcilloso arenoso, arcilloso limoso, franco, franco arenoso y limoso [Segob, 2010].

Otra variable que se calculó fue el costo de obtener el agua necesaria para el riego. En términos estrictos, esta variable no es el costo del agua, insumo que en la agricultura no tiene asignado un precio. Sin embargo, el riego implica costos: para el riego por gravedad están representados por la cuota que los agricultores pagan al módulo de riego (costo por riego y por hectárea) y que cubre el salario de los "canaleros" (empleados del módulo que distribuyen el agua al interior de cada módulo), el mantenimiento de la infraestructura de riego al interior del módulo y los gastos administrativos del mismo. El riego por medio de pozo incluye el costo de la energía eléctrica, el mantenimiento de la bomba y el costo de inversión en la perforación del pozo.

[3] Cero sí el rango de sobrerriego es 0; 1 sí el rango de sobrerriego es 1 a 25%; 2 si el rango de sobrerriego es 26% a 50%; 3 si el rango de sobrerriego es 51% a 75%; 4 si el rango de sobrerriego es 76% a 100%; 5 si el rango de sobrerriego es mayor que 100% del recomendado.

[4] Programa proporcionado por el doctor Ignacio Sánchez Cohen del INIFAP-CENID RASPA La Laguna, en entrevista en el marco del proyecto de investigación PAPITT 35107: política ambiental, agricultura y contaminación del agua, Guanajuato, octubre, 2009.

En este apartado, el costo del riego por pozo solo comprende el pago por concepto de energía eléctrica.[5] En ningún caso se considera el precio sombra del agua.

El uso del agua en maíz, sorgo, trigo y cebada

El análisis del uso del agua se basó en la información de los cuatro principales granos cosechados en la región (maíz, sorgo, trigo y cebada) de la encuesta levantada en el DR011, considerando cuatro variables: 1. Lámina neta empleada por hectárea, 2. Riego relativo, 3. Escala de sobreúso y, 4. Costo asociado al riego, en función de los ciclos otoño-invierno y primavera-verano (debido a que la presencia o ausencia de lluvia es un factor determinante de las prácticas agrícolas relacionadas con el uso de agua), el tipo de riego y el tamaño del productor. El universo de la muestra se dividió en tres estratos de productores: chicos (0.7-9.3 ha), medianos (9.4-25 ha) y grandes (30-130 ha).

Lámina de riego empleada

La lámina de riego (LR) neta[6] empleada en el año agrícola 2007/2008 fue, en promedio, de 93 cm en otoño-invierno y de 48 cm en primavera-verano distribuidos en 3.8 y 1.8 riegos respectivamente (cuadro 2). Para el año 1995/1996,

[5] Kloezen y Garcés [1998: 27-28] consideran en los costos del riego por pozo la energía empleada y el mantenimiento de la bomba. En el años agrícola de su investigación (1996-1997), el costo de la perforación y e instalación del pozo era: 52 000 dólares por pozo, alrededor de 390 000 pesos de ese año (a una tasa de cambio de 7.5), inversión que comparada con el ingreso medio por hectárea en la región resulta en una alta tasa de retorno de la inversión, lo cual junto con el bajo costo del bombeo, por los subsidios a la electricidad y el de mantenimiento, explican la alta concentración de pozos en el DR011.

[6] Lámina neta: espesor de una capa de agua, expresado en centímetros, que ocuparía un cierto volumen de agua entregado a nivel de la parcela para una superficie dada de riego [Conagua, 2009].

Kloezen y Garcés-Restrepo [1998: 15] estimaron que el volumen de agua asignado al DR011 en un año se distribuye por lo menos en cinco riegos.

En primer lugar, se comprueba la diferencia esperada entre el manejo y uso del agua en el ciclo primavera-verano 2008, cuando gran parte de la demanda de los cultivos se cubre con agua de lluvia, y el ciclo otoño-invierno 2007/2008, cuando la totalidad de la demanda hídrica se cubre con riego. Se identifica, por tanto, una diferencia en la lámina empleada y el número de riegos aplicados entre los cultivos maíz-sorgo de primavera-verano y cebada-trigo de otoño-invierno.

En segundo lugar, el volumen de agua empleado según el tipo de riego muestra una diferencia entre las prácticas de los usuarios con riego por gravedad y los que riegan por pozo. En los dos periodos (otoño-invierno y primavera-verano), en el riego por pozo se encontraron láminas inferiores a las de riego por gravedad, incluso en primavera-verano cuando se presentan un mayor número de riegos en promedio. El riego por pozo presenta láminas de 75 cm en otoño-invierno y 42 cm en primavera-verano; mientras que en el riego por gravedad estas son de 108 cm y 57 cm respectivamente.

En el año 1996/1997, Kloezen y Garcés-Restrepo [1998: 16] encontraron que el riego por pozo emplea láminas menores en el ciclo otoño-invierno, debido a que en primavera-verano se está en posibilidad de reducir la incertidumbre de las lluvias aplicando riegos. Por ejemplo, el módulo de Cortazar presenta las siguientes láminas: gravedad 95.4 cm en otoño-invierno y 27.1 cm en primavera-verano; pozo 93 cm en otoño-invierno y 62.1 cm en primavera-verano.

En el módulo de Salvatierra para el año agrícola 2007/2008, el registro de riego proporcionado por los administradores de los canales reporta que las LR por pozo (70.8 cm en otoño-invierno y 29.9 en primavera-verano) siempre son inferiores a las de gravedad (78.7 cm en otoño-invierno y 40.5 cm en primavera-verano).

Cuadro 2.Lámina neta empleada por los usuarios del DR011, 2007-2008

	Lámina neta (cm)	Número de riegos
Tipo de riego		
Otoño–invierno		
Gravedad	108.87	3.73
Pozo	74.85	3.89
Primavera–verano		
Gravedad	57.44	1.64
Pozo	42.37	1.97
Tamaño de productor		
Otoño–invierno		
Chico	109.06	3.79
Mediano	72.76	3.79
Grande	99.60	3.82
Primavera–verano		
Chico	58.53	1.76
Mediano	45.77	1.55
Grande	37.57	2.13

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar si las diferencias obtenidas por la encuesta en las prácticas de riego entre gravedad y pozo no se originan al azar, se realizó una prueba estadística *t* para dos muestras independientes cuyos resultados aparecen en el cuadro 23 del anexo 2. La conclusión es que la diferencia entre los dos tipos de riego es significativa en el periodo otoño–invierno, en el que se puede asegurar que la lámina de riego media de gravedad y la lámina de riego media de pozo son diferentes con un nivel de confianza de 98%. En el periodo primavera-verano, la diferencia solo es significativa en un nivel de confianza de 88%. Esta diferencia puede explicarse por el factor lluvia durante primavera-verano, lo cual introduce mayor aleatoriedad en la práctica de riego de los agricultores.

En tercer lugar, las prácticas de riego por tamaño de productor muestran diferencias en primavera-verano y en otoño–invierno; en el ciclo otoño-invierno, las láminas empleadas, de mayor a menor son: productor pequeño: 109 cm; mediano: 72.6 y grande: 99.6. En primavera-verano, la magnitud de la lámina disminuye conforme se incrementa el tamaño de productor: pequeño: 58 cm, mediano: 45 cm y grande: 37 cm. No existen otras investigaciones sobre prácticas agrícolas por tamaño de productor.

Se realizó una prueba estadística (ANOVA-un factor) para determinar si las diferencias obtenidas por la encuesta en las prácticas de riego entre tamaño de productores no eran producto del azar. Los resultados se muestran en el cuadro 23 del anexo 2 y la conclusión es que las láminas medias empleadas por los tres tamaños de productor en otoño-invierno no son iguales. Para determinar exactamente entre qué grupos se presenta la diferencia se realizó una comparación *post hoc* con el método Tukey puesto que el supuesto de homocedasticidad se cumple. El resultado (anexo 2, cuadro 24), apunta a que la diferencia se encuentra entre los productores pequeños y los productores medianos con un nivel de confianza de 94%; estos productores son los que presentan las láminas de riego extremas, los pequeños la más grande y los medianos la más pequeña.

De nuevo, las diferencias en el ciclo primavera-verano, ahora por tamaño, no son significativas, es decir, no se puede rechazar la hipótesis de igualdad de medias y por tanto es posible que las diferencias encontradas se deban al azar o a otros factores no considerados.

Análisis de lámina de riego empleada

En la investigación de Kloezen, el análisis del sobrerriego, es decir, el suministro de riego superior a la demanda de riego de los cultivos, no fue contemplado. Aunque señala que es preocupante la sobreexplotación de los acuíferos emplea el indicador de suministro relativo de agua como

medio para expresar el desempeño del DR y para determinar en qué medida el objetivo principal del DR011 se cumple [Kloezen y Garcés-Restrepo, 1998: 29].

Para esta investigación, un indicador similar al usado por Kloezen tiene el objetivo de identificar con qué eficiencia y cuidado se emplea el recurso agua, y qué tanto el suministro de agua supera la demanda de riego de los cultivos. Para ello, es necesario identificar los requisitos de riego de los cultivos en cada ciclo.

Con el programa DRiego e información del clima y suelo del DR011, se determinó la demanda de los cuatro principales cultivos: maíz y sorgo para el ciclo primavera-verano y cebada y trigo para el ciclo otoño-invierno. La lámina empleada es el promedio de las correspondientes a los diferentes tipos de suelo existentes en el DR011. El cuadro 3 muestra los resultados.

Cuadro 3. Lámina requerida promedio DR011 2007-2008[1]

Cultivo	Lámina requerida promedio
Maíz	57
Sorgo	60
Cebada	42
Trigo	55

[1] Kloezen empleando el sistema de la FAO para determinar los requisitos de riego de los cultivos, reporta las siguientes láminas: gravedad OI-50 cm y PV 50.7 cm; pozo OI-46.7 cm y PV- 50.7 [Kloezen y Garcés, 1998: 14].
Fuente: Elaboración propia con datos del programa DRiego.

Primero, la razón entre el riego y los requerimientos de riego, es decir, el riego relativo, toma en promedio para todo el año el valor de 1.45, esto significa que en promedio el riego está cubriendo 1.5 veces las necesidades de riego de los cultivos. En el estudio de 1996-1997, el indicador análogo empleado (suministro relativo de riego) tiene un valor promedio de 1.2 [Kloezen y Garcés-Restrepo, 1998: 14]. Considerando los ciclos por separado, el riego relativo en

2007-2008 tiene un valor de 1 para primavera-verano y 1.9 para otoño-invierno. En el año agrícola 1996-1997, los autores mencionados encuentran un sobrerriego significativo en otoño-invierno, con valores alrededor de 2 del suministro relativo de riego y concluyen que la distribución de agua no está estrechamente relacionada con la demanda de agua de los cultivos y que ni los módulos ni el distrito de riego enfrentan una restricción en el suministro del agua [Kloezen y Garcés-Restrepo, 1998: 14].

Segundo, considerando el tipo de riego, se observa que para el año agrícola 2007-2008 el riego relativo es mayor en riego por gravedad tanto en primavera-verano como en otoño-invierno, pero en riego por pozo en primavera-verano incluso es inferior a 1, esto es, un riego insuficiente. El mayor riego relativo tiene el valor de 2.21 y corresponde a gravedad otoño-invierno, esto significa que el riego cubrió más del doble los requisitos del cultivo.

Por otro lado, los resultados de Koezlen y Garcés-Restrepo apuntan a un suministro relativo de riego con valores de 2.5 para gravedad otoño-invierno y de 2.2 para pozo en otoño-invierno y para el suministro relativo de agua y suministro de riego más lluvia. También indican que los mayores valores son en el ciclo otoño-invierno con riego por gravedad (2.4) y en primavera-verano con riego por pozo (2.2). Ante estos resultados comentan: los valores por encima de 1.5 en el suministro relativo de agua garantizan que el acceso al agua no constituye un problema para los agricultores, y dada la abundancia relativa del recurso, los administradores de los canales pueden fácilmente cumplir con los requisitos de los cultivos sin tener que controlar el sistema de distribución de una manera estricta [Kloezen y Garcés-Restrepo, 1998: 22].

En términos de la escala de sobrerriego, en otoño-invierno el riego por gravedad presenta en promedio entre 50% y 75% de sobrerriego y el de pozo entre 26% y 60% aproximadamente. Otra situación se presenta en el ciclo primavera-verano donde la escala de sobrerriego es bastante

menor: el riego por gravedad está entre 1% y 25 por ciento.

Para determinar si la diferencia encontrada entre el riego por pozo y el de gravedad no se originan en lo aleatorio de la muestra, se realizaron pruebas estadísticas (prueba *t* para dos muestras independientes). Los resultados se muestran en el anexo 2, cuadro 25. Se concluye que la diferencia del riego relativo y de la escala de sobrerriego entre los dos tipos de riego, es significativa en el periodo otoño-invierno, en donde estos dos indicadores en riego por gravedad y por pozo son diferentes con un nivel de confianza de 99% y de 90% respectivamente. De nuevo en el periodo primavera-verano, la diferencia es significativa solo en un nivel de confianza de 87 por ciento.

Tercero, considerando el tamaño de los productores, encontramos para el riego relativo un patrón similar al de la lámina neta aplicada (cuadro 4). En otoño-invierno, los usuarios medianos apenas rebasan el riego requerido, mientras los grandes y los chicos lo duplican. En primavera-verano, los tres tamaños presentan un valor alrededor de 1, es decir, cumplen con la lámina requerida. En cuanto a la escala de sobrerriego, los valores más altos están entre los productores grandes del ciclo otoño-invierno, con un sobrerriego entre 51% y 88% aproximadamente, seguidos de los usuarios chicos. En el periodo primavera-verano, el sobrerriego es más reducido, oscilando entre el riego adecuado (valor 0) y 25% de sobrerriego.

Para determinar si estas diferencias son estadísticamente significativas, se realizaron pruebas ANOVA -de un solo factor. Las diferencias entre tamaños de productor para riego relativo y escala de sobrerriego son significativas para el periodo otoño-invierno, con 94 y 96% de confianza respectivamente (anexo 2, cuadro 25). Para determinar exactamente entre qué grupos se presenta esta diferencia significativa se realizó una comparación *post hoc* con el método Tukey. El resultado (anexo 2, cuadro 26), apunta a que la diferencia entre los riegos relativos se encuentra entre los productores chicos y los medianos con un nivel de

confianza de 94%. Una diferencia estadísticamente significativa de la escala de sobrerriego se encuentra entre los pequeños y los medianos, y también entre medianos y grandes con 90% de confianza para el ciclo otoño-invierno (cuadro 27 y cuadro 28 del anexo 2).

Cuadro 4. Análisis de lámina empleada: riego relativo y escala de sobrerriego en el DR011, 2007-2008

	Riego relativo	Escala de sobrerriego		Riego relativo	Escala de sobrerriego
	Tipo de riego			*Tamaño de productor*	
Otoño-invierno			Otoño-invierno		
Gravedad	2.21	3.25	Chico	2.1	3.25
Pozo	1.49	2.47	Mediano	1.44	2.12
Primavera–verano			Grande	2.1	3.53
Gravedad	1.1	1.3	Primavera-verano		
Pozo	0.87	0.81	Chico	1.17	1.4
			Mediano	0.94	0.74
			Grande	0.76	0.66

0-sin sobrerriego; 1, de 1% a 25% de sobrerriego; 2, de 26% a 50% de sobrerriego; 3, de 51% a 75% de sobrerriego: 4, de 76% a 100% de riego y 5, sobrerriego mayor que 100 por ciento.

Fuente: Elaboración propia.

Costo asociado al riego

Primero, en 2007-2008 el costo asociado al riego es en promedio de 469.3 pesos en primavera-verano (276 pesos por cada riego) y 1 205.8 pesos en otoño-invierno (325.9 pesos por cada riego); esto equivale en promedio a 0.213 pesos por metro cúbico (m^3) en otoño-invierno y a 0.147 pesos m^3 en primavera-verano. La diferencia del "costo" del riego proviene del riego por pozo. En términos del costo total por hectárea, el riego constituye 16% en otoño-invierno y alrededor de 4% en primavera-verano.

En un estudio sobre la productividad del agua en el DR011, Cruz y Valdivia (2002) se estima que el costo promedio por cada metro cúbico en el DR011 en 1996-1997 es de 0.055 pesos, equivalentes a 0.106 pesos de 2007-2008. Pero los costos del riego se han modificado en los 10 años que han transcurrido desde este estudio. En la investigación de Kloezen, se indica que la cuota por riego por hectárea era de 7.5 dólares. En pesos constantes[7] y considerando el tipo de cambio de ese año esta cifra equivale a 107 pesos, es decir, tres veces inferior a las cuotas vigentes en los módulos de riego en el momento del levantamiento de la encuesta (2007-2008) cuando se reportó una cuota 300 pesos aproximadamente por riego por hectárea. De esta manera, Kloezen y Garcés reportan un costo de riego en el año agrícola de 37.5 dólares, es decir, 541 pesos de 2007-2008, lo que equivale a 0.034 pesos por metro cúbico de gravedad (2007-2008/m^3).

Segundo, considerando los tipos de riego, en otoño-invierno el costo asociado al riego por pozo (0.27 pesos/m^3) es mayor, en alrededor de 40 pesos por riego, que en el riego por gravedad (0.17 pesos/m^3). Mientras en primavera-verano ocurre lo opuesto, el costo del riego por gravedad (0.16 pesos/m^3) es mayor, en alrededor de 80 pesos más por riego, que en el riego por pozo (0.12 pesos/m^3). Como proporción del costo total, la mayor diferencia se presenta en primavera-verano, en donde el riego por gravedad constituye 5.3% de los costos totales, frente a 3.37% del riego por pozo.

El estudio de Cruz *et al.,* [2002: 492] reporta para 1996/1997, costos de 0.077 pesos/m^3 (a precios constantes de 2007-2008) para el riego por gravedad y 0.23 pesos/m^3 por pozo. La diferencia respecto de nuestros resultados en el costo del riego por gravedad se debe, como ya se

[7] Con el objetivo de realizar una mejor comparación entre el costo del servicio de riego registrado por Kloezen en el año agrícola 1996/1997 y los resultados de este estudio realizado en 2007/2008 las cifras se deflactaron con el IPC de Banxico empleando como base los años 2007-2008.

mencionó, a un aumento en la cuota pagada al módulo que pasó, en 10 años, de 107 pesos a 300 pesos por riego por hectárea.

Por otro lado, Kloezen y Garcés proporcionan información del costo del riego en los módulos de Cortazar y Salvatierra; en el ciclo otoño-invierno, el costo del riego por gravedad es ligeramente superior al costo del riego por pozo, representando ambos alrededor de 6.3% del costo total en Cortazar y 8% en Salvatierra. En primavera-verano, el costo del riego por pozo es mayor que el de riego por gravedad. Por ejemplo, en Cortazar el riego por gravedad constituye 3.1% de los costos frente a 15.1% que representa el riego por pozo [Kloezen y Garcés-Restrepo, 1998: 26].

Para determinar si la diferencia encontrada entre el costo del riego por pozo y el de gravedad no se originan en lo aleatorio de la muestra, se realizaron pruebas estadísticas (prueba *t* para dos muestras independientes). Los resultados del anexo 2, cuadro 29 muestran que la única diferencia significativa entre los costos de los dos tipos de riego se da en la temporada primavera-verano con 95% de confianza, tanto para el costo total del riego como para el porcentaje respecto del costo total. Esto se explica, como también lo señala Kloezen, por la diferencia en las posibilidades reales que enfrentan los productores que tienen pozos y los que dependen del riego por gravedad en un ciclo cuando el riego se limita.

Tercero, el análisis por tamaño de productor indica que el costo del riego en otoño–invierno para los productores medianos es el más alto (359 pesos por riego), seguido de los grandes (312 pesos) (cuadro 5). En términos del volumen de agua empleado, los medianos permanecen con el valor más alto (0.279 pesos por m^3) y le siguen los chicos con 0.175 pesos por m^3. En primavera-verano, los usuarios chicos quienes presentan los mayores valores del costo asociado al riego pero las diferencias respecto a los otros dos tamaños de productor son muy reducidas.

Cuadro 5. Costo asociado al riego DR011, 20072008 (pesos)

	Costo por ha ($)	Costo por riego por ha ($)	Costo por m^3 ($)	Porcentaje del costo total (%)
Tipo de riego				
Otoño-invierno				
Gravedad	1 139.75	306.33	0.173	13.03
Pozo	1 365.96	340.65	0.274	13.65
Primavera-verano				
Gravedad	511.36	313.63	0.161	5.31
Pozo	348.71	230.05	0.121	3.37
Tamaño de productor				
Otoño-invierno				
Chico	1 112.63	290.30	0.175	12.97
Mediano	1 374.47	359.48	0.279	14.19
Grande	1 208.8	312.15	0.148	12.23
Primavera-verano				
Chico	481.69	288.68	0.130	4.90
Mediano	438.95	302.89	0.196	4.53
Grande	478.50	283.00	0.131	4.93

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar si la diferencia encontrada entre el costo del riego de los diferentes tamaños no se origina en lo aleatorio de la muestra, se realizaron pruebas estadísticas (ANOVA -un factor). Los resultados del cuadro 29, en el anexo 2, muestran que las diferencias no son significativas a niveles aceptables de confianza.

CONCLUSIONES

En México, como en todo el mundo, el agua constituye un insumo fundamental para la producción agrícola. La investigación realizada en el DR011, a pesar de las dificultades

enfrentadas para determinar las prácticas de riego de los agricultores, confirma la poca eficiencia con la que es empleado este recurso en términos de conducción y aplicación en los cultivos.

Los resultados obtenidos apuntan a que las prácticas agrícolas de manejo de agua difieren de manera significativa entre las dos temporadas otoño-invierno y primavera-verano, más allá del evidente contraste en la cantidad de agua empleada. Es posible que esto se deba al carácter aleatorio de las lluvias en el periodo primavera-verano, lo que impide identificar prácticas de riego establecidas y, por tanto, diferencias entre los distintos productores.

En el DR011 siempre se aplican riegos que cubren las necesidades hídricas de los cultivos, e incluso se presenta un importante sobrerriego. En promedio se están cubriendo 1.5 veces las necesidades de riego de los cultivos, siendo este exceso mayor en el ciclo otoño-invierno. Esto se puede considerar positivo porque el DR011 está cumpliendo con su objetivo, proporciona el agua necesaria para llevar a cabo la actividad agrícola, pero es absolutamente negativo a la luz de la escasez del recurso.

El estudio realizado en el DR011 no permite conocer el efecto que el sobrerriego tiene en el ambiente, en particular, sobre la tierra de cultivo. Esta y otras zonas de riego del país enfrentan el problema de ensalitramiento de los suelos provocado por la infiltración desde los canales, el deficientemente drenaje de los suelos, el riego prolongado con aguas de elevado contenido salino, suelos de baja permeabilidad y climas secos [Manzano *et al.,* 2011]. No obstante, el sobrerriego puede permitir el lavado de las sales y evitar el ensalitramiento. Con los datos obtenidos en este estudio, no es posible determinar si el efecto del sobrerriego es positivo o negativo, ni saber si en la percepción que los usuarios tienen sobre el manejo del agua, se tiene en consideración el problema del ensalitramiento.

En el periodo otoño-invierno se encuentra que las diferencias en las prácticas con distintos tipo de riego y tamaño

de productor resultan estadísticamente significativas. Los usuarios con riego por pozo y de tamaño mediano (9.4-25 ha) parecen presentar los mejores manejos de agua. El riego por gravedad, como ya se mencionó, se realiza en función de una estimación y de la experiencia de los administradores de los canales y los usuarios. Mientras en el riego por pozo la bomba permite estimar con mayor precisión el agua empleada. Es posible que en esto se origine la diferencia en el manejo entre los dos tipos de riego.

El agua es un recurso gratuito para el sector agrícola, y su empleo únicamente supone costos de suministro. Estos costos asociados al riego se han modificado en el tiempo; por ejemplo, la cuota que se paga a los módulos pasó de 107 pesos en 1997 a 300 pesos en 2007 con el valor de 2007-2008. No se encontraron diferencias significativas en el costo entre los productores con distintos tipos de riego, ni con diferentes extensiones de tierra.

Bibliografía

Comisión Nacional del Agua [2009], "Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año agrícola 2007/2008", México, Comisión Nacional del Agua, p. 309.

Cruz, F.; V. Valdivia; R., Alcalá y C. Scott A. [2002], "Productividad del agua en el Distrito de Riego 011, Alto Río Lerma", *Agrociencia*, México (36), pp. 483-439.

FAO [2002], *Agua y cultivos, logrando el uso óptimo del agua en la agricultura* (online text), Roma, Italia, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/cropsdrops_s.pdf>.

INIFAP [1993], *Cuándo y cuánto regar*, Folleto técnico, Guanajuato, Guanajuato, Instituto de Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Estrategia integral uso racional del agua, 1 (3).

Kloezen, Wim H.y Carlos Garcés-Restrepo [1998], *Assesing Irrigation Performance with comparative Indicators:*

The case of the Alto Rio Lerma Irrigation district, México, International Water Management Institute-IWMI Research Reports H022236, 39 pp.

Manzano Banda, Juena I.; Patricio, Rivera Ortíz, Florencio, Briones Encinia y Carlos Zamora [2012], "Utilización de metodologías químicas y físicas para la recuperación y manejo de suelos salino-sódicos", en *TURevista Digi U@T*, año 6, núm. 22, <www.turevista.uat.edu.mx>, acceso 13 de mayo de 2012.

Mejía Saénz, Enrique; Enrique, Palacio Vélez; Adolfo, Exebio García y Ana Laura Santos Hernandez [2001], "Problemas operativos en el manejo del agua en los distritos de riego", *Terra Latinoamericana*, México, Universidad Autónoma Chapingo, 20 (002), pp. 217-225.

Productores agrícolas del módulo de riego Salvatierra, A. C. [2009], *Diario de siembras, riegos y volúmenes por cultivo. Año agrícola 2007-2008*, Guanajuato, Guanajuato, Módulo de Riego Salvaterra, A. C.

Sagarpa [2010], "Servicio de información agroalimentaria y pesquera", México, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, <http://www.siap.gob.mx/ventana.php?idLiga=1739&tipo=1>, acceso 11 de marzo.

Sagarpa, INIFAP y Gobierno del Estado de Guanajuato [1994], *Estrategia integral para el uso racional del agua en la agricultura del estado de Guanajuato. Ciclo otoño-invierno 1993-1994*, Celaya, Guanajuato, Sagarpa-INIFAP-Gobierno del estado de Guanajuato, pp.

Segob [2010], "Enciclopedia de los municipios de México: estado de Guanajuato", E-local, Secretaría de Gobernación, <http://www.e–local.gob.mx/wb/ELOCALNew/enciclo_gto>, acceso 13 de mayo de 2012.

Contaminación por plaguicidas

Marisela Bernal González, Alethya Jara Durán, Andrea Santos Baca* y *Jaime Zavala Vicario***

El presente capítulo tiene por objetivo mostrar los resultados de la encuesta relativos al uso de plaguicidas y contaminación del agua en el DR011. Inicia con un marco general de referencia de las regulaciones, convenios y acuerdos que existen en los ámbitos internacional y nacional sobre plaguicidas. A continuación, se presentan las características de uso de insecticidas y herbicidas, y finaliza con los resultados de los análisis de agua para detectar la presencia de sustancias que forman parte de los plaguicidas. Se concluye que a pesar de que México participa de manera activa en las diferentes instancias internacionales que regulan el uso y comercio de plaguicidas, en el territorio nacional se siguen utilizando plaguicidas proscritos en la regulación

*Técnico Académico Titular A Tiempo completo, UNAM, PRIDE "C". Doctora en Ingeniería (Ingeniería Ambiental [agua]), por la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Es auditora ISO 9000 N° 016 por el IMNC (Instituto Mexicano de Normalización y Certificación) RSTPS N° 930810-JR1-0013.

**Estudiante del último semestre de la licenciatura en Relaciones Internacionales en la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM. Becario del proyecto de investigación en Cambio Climático (PINC) de la UNAM, y participante del proyecto PAPITT 35107: Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica.

internacional. Se evidencia que hay un sobreúso de insecticidas y herbicidas, y un uso inadecuado de los mismos, esto es, que se usan sustancias no apropiadas para los cultivos y que además, se hace una errónea combinación de sustancias. El subsidio del que goza la industria de plaguicidas influye en que su precio sea muy bajo y su costo represente un porcentaje muy reducido del costo total de producción de los cultivos. Por último, los análisis de agua mostraron la presencia de plaguicidas en drenes y canales del DR011, en una época en la que no hubo aplicación de los mismos. En general, los compuestos plaguicidas de mayor presencia en los seis módulos son el epóxido de heptacloro, 4,4-DDD, metoxiclor, 4,4-DDT, profán, cloroprofán, carbaril, baygón y simazina, prometrín, terbutrín y propazina.

Antecedentes

La hormiga de fuego u hormiga colorada (*Solepnosis invicta*) originaria de América del Sur, llegó a Estados Unidos en la década de los años cincuenta, probablemente por Alabama, y una década después ya se encontraba en Florida, Mississippi Arkansas y Carolina del Norte [Kolbert, 2007].

El 1957, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos decidió erradicarla con el empleo del heptachloro y dieldrin, y un año más tarde había rociado medio millón de hectáreas, en las que empezaron a morir diferentes especies animales, principalmente aves, lo cual no impidió que en la actualidad las hormigas coloradas tengan infestadas 175 millones de hectáreas en Estados Unidos y varios países en todo el mundo.

A fines de la década de los noventa, en Estados Unidos se aplicaban alrededor de 500 mil toneladas al año de diferentes plaguicidas a las dosis recomendadas [Pimentel, 2005]; pero las plagas destruían 37% de la producción agrícola potencial, los insectos 13%, las enfermedades de las plantas 12% y las malas hierbas 12%. Sin embargo, por cada dólar que se invierte en control de plagas, hay un

beneficio de cuatro dólares por cultivos que se han protegido [Pimentel y Greiner, 1997].

A partir de la experiencia estadounidense, los plaguicidas se convirtieron en uno de los insumos indispensables de la agricultura en todo el mundo y formaron parte del paquete tecnológico de la Revolución Verde vigente en la agricultura de riego mexicana y en buena parte de la de temporal. Desde el primer lustro de los años sesenta, su uso ha ido en aumento, estimulado por los subsidios, el reducido conocimiento de sus efectos en la salud humana y la negligencia respecto de las externalidades negativas que genera.

Mientras en varios países europeos los impactos de los plaguicidas son un tema de debate y en algunos (Dinamarca, Suecia, Francia y Noruega) se han tomado medidas radicales, como son los impuestos, para reducir sus impactos negativos potenciales [Chalak *et al.,* 2008], en México, se autorizan y usan plaguicidas prohibidos en otros países (paraquat, lindano, paratión, malatión y endosulfán), probablemente se usen algunos prohibidos aun en nuestro país y están exentos del pago del IVA, por lo que su ponderación en los costos totales de producción es muy baja [Muñoz Piña y Ávila Forcada, 2005].

Los plaguicidas pueden clasificarse de acuerdo con los siguientes criterios:

a) Concentración: ingrediente activo, plaguicida técnico, plaguicida formulado.
b) Organismos que controlan: insecticidas, herbicidas, fungicidas, acaricidas, bactericidas, rodenticidas, avicidas, etcétera.
c) Modos de acción: de contacto, repelentes, de ingestión, defoliantes, fumigantes.
d) Composición química: organoclorados, triazinas, organofosforados, compuestos de cobre, piretroides, organoazufrados, etcétera.
e) Presentación de formulaciones: sólidos, líquidos y gases.

f) Uso al que se destinan: agrícola, urbano, pecuario, industrial, forestal y doméstico.

Este capítulo solo se referirá a los insecticidas y herbicidas que son los plaguicidas de mayor uso en los cultivos de maíz, sorgo, trigo y cebada; en maíz se aplican también fungicidas, pero en menor proporción.

De acuerdo con la clasificación que hace la Organización Mundial de la Salud de los plaguicidas en función de su toxicidad, en México 17% de las ventas de plaguicidas son de categoría 1a-1b, extremadamente tóxicos; 44% categoría I, muy tóxicos; 21% categoría II, moderadamente tóxicos y 18% categoría III, ligeramente tóxicos [Muñoz Piña y Ávila Forcada, 2005].

Además del problema ambiental que representa el hecho de que 64% de las ventas de plaguicidas sea de productos extremadamente y muy tóxicos, está el que supone el manejo de 30 millones de envases (3 mil toneladas) al año. Según información de la Asociación Mexicana de la Industria Fitosanitaria, A.C. (AMIFAC), 80% de estos envases es de plástico, material por sí difícil de degradar, 15% es metálico y 5% es papel. De diciembre de 1997 a diciembre de 2003, solo se recolectaron 690 toneladas de las 21 mil que se generaron en todo el país en ese periodo, esto es 3.2% [AMIFAC, 2004]. Según esta fuente, Guanajuato, con más de 400 toneladas al año, se encuentra entre los estados que producen una mayor cantidad de envases. Esto da cuenta del problema que implica la utilización de plaguicidas en la agricultura.

Marco regulatorio[1]

Nuestro país se ha sumado a los esfuerzos realizados por la comunidad internacional, con el objetivo de regular el

[1] Realizado por la doctora Marisela Bernal González y la licenciada Alethya Jara Durán.

empleo de sustancias que pueden causar daños a las personas o la naturaleza, y cuya producción y comercio debe ser objeto de reglas específicas. En el ámbito nacional, México cuenta con un marco jurídico sobre sustancias químicas que incluye numerosas leyes, reglamentos y normas oficiales mexicanas que norman su empleo. En este apartado se describen distintas instancias internacionales en las que participa nuestro país y la estructura jurídica nacional de regulación de las sustancias químicas.

Marco regulatorio internacional

i) Protocolo de Montreal
ii) Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo
iii) Convenio Basilea
iv) Agenda 21 I
v) Instrumentos vinculantes
vi) Foro de Plaguicidas del Grupo de Sustancias Químicas de la OCDE
vii) Código Internacional de Conducta sobre Plaguicidas
viii) Convenio de Rótterdam
ix) Convenio de Estocolmo

Protocolo de Montreal

El Protocolo de Montreal se creó dentro del Convenio de Viena, y entró en vigor en 1989. El propósito de este instrumento internacional fue sentar las bases de reducción en la utilización de clorofluorocarbonos (CFC); posteriormente, en junio 1990 se agregó el control de los plaguicidas y se estableció un fondo multilateral destinado a prestar asistencia técnica y transferir tecnología a los países en desarrollo. México ha sido signatario desde 1987 y ratificó la nueva versión del Protocolo, vigente a partir de enero 1992.

Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo

En 1987, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) estableció el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo (PCFP) con el objeto de ayudar a los gobiernos a incrementar la seguridad en sus países en relación con los productos químicos, mediante un intercambio activo de información científica, técnica, económica y jurídica, que regula el comercio de productos químicos prohibidos o rigurosamente restringidos.

Dicho Procedimiento se adoptó como parte integrante del Código Internacional de Plaguicidas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). El PNUMA por medio del Registro Internacional de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos de 1976, es la instancia que promueve la instrumentación del PCFP y es responsable de elaborar la lista de sustancias prohibidas o severamente restringidas para el procedimiento de notificación. En México, las entonces secretarías de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SAHR) y de Salubridad y Asistencia (SSA) fueron designadas como parte de la recién creada Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (Cicoplafest), para cubrir las áreas de plaguicidas y sustancias tóxicas, respectivamente.

Convenio de Basilea

Se crea para controlar los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos, brindar protección particular a los países en desarrollo y promover la disposición final adecuada de estos desechos. Dicho Convenio se inspira en el anexo III del Convenio de la Paz y fue adoptado por unanimidad por 116 países, incluyendo México, en marzo de 1989.

Agenda 21

El interés de algunos gobiernos por establecer programas de prevención y reducción de riesgos en el manejo de los plaguicidas químicos y de otras sustancias tóxicas, llevó a integrar en la *Agenda 21*,[2] la cual contiene en el capítulo 19 disposiciones sobre el manejo adecuado de sustancias químicas.

Instrumentos vinculantes

Se ha negociado suscribir instrumentos vinculantes relacionados con el PCFP y con los Compuestos Orgánicos Persistentes (COP). En ambos casos, las sustancias objeto de control internacional para reducir sus riesgos incluyen plaguicidas tóxicos, persistentes y bioacumulables. Entre estos últimos se encuentran el aldrín, clordano, endrín, dieldrín, DDT y el toxafeno. De estos, solo el DDT se sigue produciendo en México con uso restringido para el combate del paludismo.

Por su parte, la ONU promueve la adopción de un instrumento vinculante que obligue a los países signatarios a seguir el PCFP y que facilite la comunicación respecto de la importación de sustancias prohibidas o severamente restringidas, para que esta solo pueda efectuarse previo consentimiento informado de los países importadores. Con el objeto de eliminar el uso o reducir la liberación al ambiente de COP, se está negociando un instrumento vinculante cuyo propósito es lograr el mismo nivel de protección ambiental en todos los países signatarios.

[2] Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo, Brasil, 1992.

Foro de Plaguicidas del Grupo de Sustancias Químicas de la OCDE

A instancias de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) se promueven acciones para reducir los riesgos relacionados con los plaguicidas, tomando como modelo los programas nacionales desarrollados por los países miembros.

Código Internacional de Conducta sobre Plaguicidas

La FAO, en coordinación con organismos competentes de la ONU y otras organizaciones, ha preparado un Código Internacional de Conducta para la distribución y utilización de plaguicidas. Su finalidad es incrementar la confianza internacional sobre la disponibilidad, reglamentación, comercio y utilización de plaguicidas, que además de beneficiar a la actividad agrícola, evite el riesgo derivado en la salud pública y el bienestar de las personas.

Su principal objetivo es definir responsabilidades y establecer normas de conducta de carácter voluntario en los siguientes procesos: manejo, prueba, reducción de peligros para la salud, requisitos reglamentarios y técnicos, disponibilidad y utilización de plaguicidas, intercambio de información y principios PCFP, etiquetado, envasado, almacenamiento, eliminación y publicidad sobre plaguicidas y seguimiento de su aplicación.

Este instrumento sirve de referencia a los países en desarrollo carentes de sus propias reglamentaciones y herramientas de control sobre plaguicidas.

Convenio de Rótterdam

El Convenio de Rótterdam (CR) tiene sus antecedentes en el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo

(PCFP) voluntario ya existente. El texto fue adoptado en 1998 y entró en vigor en 2004. Participan 131 países de los cuales 73 lo han firmado. México se adhirió en 2005.

Los objetivos del CR son: a) asegurar que los productos químicos prohibidos o severamente restringidos comerciados internacionalmente contengan la información necesaria en las etiquetas y que los países importadores otorguen su consentimiento previo para su uso; b) promover la responsabilidad de los países exportadores de productos químicos peligrosos, evitando poner en riesgo a la salud humana y al medio ambiente y, c) contribuir al uso racional y ambiental de los productos químicos mediante el intercambio de información.

Los instrumentos fundamentales del Código de Rótterdam son el PCFP y el intercambio de información; se aplica a 40 productos químicos del anexo III, que incluye 29 plaguicidas, cuatro extremadamente peligrosos y 11 productos químicos industriales prohibidos o rigurosamente restringidos por razones sanitarias o ambientales (anexo 7, cuadro 44).

México ha dado respuesta a 40 casos sobre pesticidas y formulación de plaguicidas, 29 sobre sustancias industriales mediante las autoridades correspondientes: Secretaría de Salud (SS), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris) (anexo 7, cuadro 45).

Convenio de Estocolmo

El Convenio de Estocolmo (CE) promovido por el PNUMA, es un mecanismo dirigido a mitigar la liberación de los COP al ambiente, así como lograr un mismo nivel de protección a la salud humana y a los ecosistemas en todo el mundo. Entró en vigencia a partir del año 2004 y obliga a los países parte que aún no lo han ratificado a formular un plan nacional de implementación. Es de carácter global y parte del reconocimiento de la capacidad que tienen

estas sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulables de viajar a grandes distancias sin respetar fronteras entre los países.

México es signatario desde el 200,1 y en 2003 ratificó su compromiso de cumplimiento en el Plan Nacional de Desarrollo 2007–2012. La Semarnat incluyó los compromisos derivados del CE en el Programa de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007–2012, así como en los programas operativos de las áreas involucradas.

En 2004, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial del Banco Mundial (GEF, por sus siglas en inglés), otorgó una donación a México para que la Dirección General de Gestión Integral de Materiales y Actividades Riesgosas de la Semarnat elaborara el Plan Nacional de Implementación (PNI) del Convenio de Estocolmo.

Marco regulatorio nacional

El marco jurídico de las sustancias químicas en México regula cada paso del ciclo de vida, hasta su disposición final como residuos peligrosos.

La Ley General de Salud (LGS) publicada en 1984, cubre de manera amplia los aspectos relacionados con la evaluación de su peligrosidad y riesgo para la salud humana, etiquetado, envasado, publicidad, procesamiento y uso, así como otras cuestiones tendientes a prevenir o reducir la posibilidad de que ocasionen efectos adversos en los trabajadores que están expuestos a los plaguicidas, en los consumidores y en la población en general.

En materia de plaguicidas, nutrientes vegetales, sustancias tóxicas y peligrosas, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (Leegapa, publicada en 1988), la Ley Federal de Sanidad Vegetal (1994), la nueva Ley de Sanidad Animal (2007) y la Ley de Desarrollo Rural Sustentable (2001), todas reformadas con posterioridad, proporcionaron junto con diversas normas oficiales

el sustento legal para la toma de decisiones relativas al registro con fines de producción, importación, exportación, comercialización y consumo de plaguicidas.

El Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos (1993) y las diversas NOM emanadas de este, establecen medidas para lograr la seguridad, prevención y minimización de riesgos durante la transportación terrestre de las sustancias químicas, sean mercancías o desechos. Aunado a ello, la Ley de Navegación y Comercio Marítimo de 2006 complementa las regulaciones mencionadas en el tema del control del comercio transfronterizo de sustancias químicas y sus residuos.

Como contaminantes ambientales o desechos, las sustancias peligrosas están reguladas por la Lgeepa y la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, promulgada en 2003), por sus respectivos reglamentos y por las NOM que de ellos derivan. A su vez, las sustancias, materiales o residuos peligrosos y los contaminantes químicos liberados en el ambiente laboral están sujetos a la Ley Federal del Trabajo, su Reglamento en Materia de Seguridad e Higiene en el Trabajo y las NOM en la materia, con el fin de prevenir o reducir sus riesgos para la salud de los trabajadores.

Las disposiciones que aplican a la gestión de sustancias químicas y sus fuentes se encuentran dispersas en otros ordenamientos jurídicos, por ello el marco jurídico es complejo, presenta vacíos, inconsistencias y duplicidades importantes, su cumplimiento ha mostrado deficiencias debido, entre otras causas, a la escasez de personal encargado de los sistemas de inspección y vigilancia.

Una de las instituciones que tiene un papel relevante es la SSA (cuadro 1), ya que establece: los lineamientos de control sanitario y el otorgamiento de permisos, licencias y registros sobre las actividades, establecimientos y productos que manejan plaguicidas; las disposiciones sobre la clasificación basada en el riesgo a la salud, etiquetado y envasado además de la elaboración de NOM sobre cualquier

fase del ciclo de vida de los plaguicidas; y se encarga de las autorizaciones para el proceso e importación de plaguicidas (anexo 7, cuadro 46).

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) se encarga de dictaminar sobre la efectividad biológica de los plaguicidas y establecer los límites máximos de sus residuos. Por medio de la Comisión Nacional de Sanidad Agropecuaria, conformada por las direcciones generales de Sanidad Vegetal, Sanidad Animal e Inspección Fitosanitaria y en coordinación con otras autoridades competentes, participa en la expedición del registro de plaguicidas y fertilizantes.

Cuadro 1. Instituciones de regulación y control de plaguicidas

Etapa del plaguicida	Institución responsable
Importación y exportación	Sagar, SSA, Semarnat, Secofi, SHCP,
Registro	SSA
Extracción	––––––––
Proceso y uso	Semarnat, SSA, Sagar, STPS
Almacenamiento	SSA, SCT, STPS
Transporte	SSA, SCT, STPS
Comercialización	Sagar, Secofi, SSA
Emisiones al aire	––––––––
Descargas de agua	Semarnat, SSA, Sedemar
Residuos peligrosos	Semarnat, SSA, SCT
Ambiente laboral	STPS, SSA
Salud ocupacional	STPS, SSA
Salud ambiental	SSA
Saneamiento e impacto ambiental	Semarnat, Sagar

Fuente:Sedesol-INE, <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/folletos/97/97.html>.

Los plaguicidas de mayor uso en México son el paratión, el carbofurán y la atrazina (anexo 7, cuadro 49); no obstante que el paratión etílico aparece en la lista de plaguicidas

prohibidos en México y el paratión metílico en las listas de otros países (anexo 7, cuadro 50) [INE, 1997].

INSECTICIDAS[3]

Desde la década de los años cuarenta del siglo XX, pero en particular, a partir del paquete tecnológico que impulsó la Revolución Verde, los insecticidas se han vuelto parte indispensable de los insumos que los agricultores emplean de manera cotidiana para evitar o reducir el riesgo de plagas y mantener un determinado rendimiento.

Los cultivos de maíz, sorgo, trigo y cebada son susceptibles a una variedad de plagas y enfermedades, por lo se puede entender el uso sistemático de diversos insecticidas de diferente espectro y toxicidad (anexo 4, cuadro 30 y cuadro 31). Entre 70% y 85% de los productores entrevistados reconoció tener problemas con algún tipo de plaga, salvo los sorgueros, nueve de cada 10 agricultores empleó al menos un insecticida.

De acuerdo con la Campaña de Manejo Fitosanitario del Maíz, las principales plagas que afectan el follaje de esta planta son: los trips; los gusanos cogollero, soldado, trozador y elotero; el barrenador del tallo, picudos y araña roja. Las principales plagas de la raíz son la gallina ciega, el gusano alfilercillo o diabrótica, la catarina del maíz y el gusano de alambre. El trigo y la cebada son atacadas por el pulgón, el gusano soldado y la araña roja. En el sorgo las plagas más frecuentes son la chinche café, el gusano cogollero, el ergo, la mosca midge y otros tipos de gusanos [Cesaveg, 2008].

Los insecticidas se pueden emplear de manera preventiva en la semilla (semilla con "poncho") para prevenir las plagas de la raíz (control preemergente) o sobre el follaje y los terrenos aledaños una vez que la plaga fue detectada

[3] Esta sección del capítulo ha sido elaborada por Andrea Santos Baca.

(control posemergente). Sin embargo, el uso de insecticidas en la agricultura tiene resultados ambiguos, por ejemplo, en Estados Unidos su aplicación, en general, es redituable, pero mientras su uso se incrementó 10 veces en el periodo 1945-2000, las pérdidas en los cultivos asociadas a daños causados por los insectos pasaron de 7 a 13% [David Pimentel, 2005].

Asimismo, lo que en términos de un estricto análisis costo-beneficio es positivo, se torna negativo al contabilizar los costos de los daños del uso agrícola de insecticidas en [David Pimentel, 2005]:

a) La salud humana: daños directos por contacto e indirectos por bioacumulación en alimentos.
b) La biodiversidad: mortandad de fauna (aves y mamíferos), parásitos benéficos[4] y mascotas.
c) La resistencia de los insectos a los insecticidas: incremento de riesgos y costos de investigación en nuevas sustancias.[5]
d) Los cultivos fumigados de manera deliberada, porque con frecuencia retardan su crecimiento y a los fumigados accidentalmente.
e) La contaminación del agua subterránea y superficial.

De acuerdo con Pimentel [2005] uno de los costos más altos asociados al uso de insecticidas es la inversión pública en programas orientados a reducir los riesgos que conlleva su uso. La paradoja es que aun contabilizando algunos costos ambientales, desde el punto de vista del análisis costo-beneficio su uso sigue siendo redituable, porque las externalidades que provoca no son asumidas ni por los agricultores, ni

[4] El caso del descenso en los apiarios a nivel mundial es un tema alarmante y está asociado al uso de insecticidas.

[5] El artículo de Pimentel cita numerosas fuentes y datos duros, pero reconoce que algunos de estos efectos no están suficientemente investigados.

por las compañías que los venden, sino por otros sectores de la sociedad que enfrentan las enfermedades y el deterioro ambiental.

En el DR011, 19% de los productores reportaron haber tenido algún problema de salud atribuido a la aplicación de insecticidas: 10% dolores de cabeza, 9% náuseas, 8% mareo y vómito. Un productor mencionó que sufrió un desmayo, otro la muerte de un trabajador en 2007, otro más intoxicación; hubo un caso de pérdida de conciencia y entumecimiento de lengua atribuido a la aplicación de insecticidas y alguien señaló entumecimiento del cuerpo; un productor tuvo que ser hospitalizado y dos sufren alergias que achacan a los plaguicidas. El origen de estos síntomas puede ser multifactorial, sin embargo, coinciden con los efectos de la aplicación de insecticidas en otras regiones del país y en otros países [Sánchez Saldaña y Betanzos Ocampo, 2006; Susmita *et al.,* 2007].

A lo antes señalado, se suma la aplicación de dosis mayores a las recomendadas (19% de los productores de maíz, 7% de sorgo, 30% de trigo y 9% de cebada); el empleo de insecticidas extremadamente tóxicos y prohibidos en otros países (paratión metílico, forato 15%, terbufos, dianizón y carbofurán); el empleo de insecticidas no recomendados para el cultivo (10% de los productores de maíz aplicaron profenofos o metamifodos, 2% de trigo cipermetrina y 9% de cebada cipermetrina y bifentrina, sustancias no recomendadas para esos cultivos) [Cicoplafest, 2004]. Cabe señalar que, las sustancias sobreusadas o las no recomendadas son las más tóxicas de acuerdo con la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS):[6] el paratión metílico (extremadamente tóxico), clorpirifos o metamifodos (altamente tóxico) [OMS, 2004].

[6] La toxicidad de una sustancia se basa en la clasificación de la OMS: Ia: extremadamente tóxico; Ib: altamente tóxico; II: moderadamente tóxico; III: ligeramente tóxico.

Cuadro 2. Sustancias empleadas en el DR011 según cultivo y nivel de toxicidad

	Maíz	Sorgo	Cebada	Trigo	Toxicidad OMS
Clorpirifos	X	X		X	Ia
Forato	X				Ia
Paratión metílico	X	X	X	X	Ia
Terbufos	X				Ia
Carbofurán	X				Ib
Diazinón	X			X	Ib
Metamidofos	X				Ib
Teflutrín	X				Ib
Bifentrina	X		X		II
Cipermetrina	X	X	X	X	II
Endosulfán	X				II
Profenofos	X	X			II
Dimetoato	X		X	X	II
Lambda cyhalotrina	X	X			III
Malatión	X			X	III

Fuente: OMS, 2004.

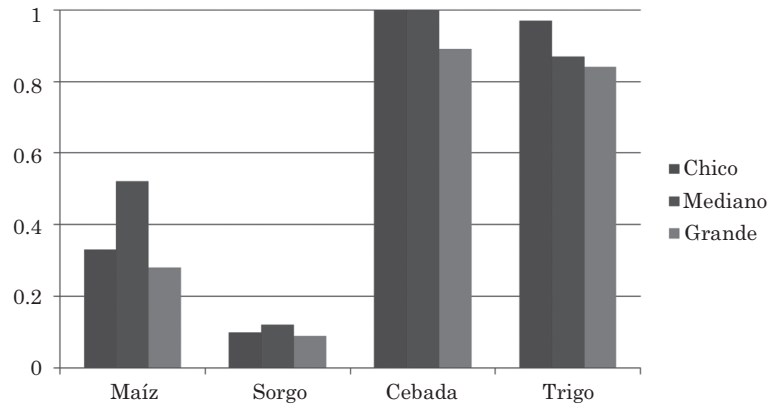
En el DR011 se emplea un total de 15 sustancias activas como insecticidas, de las cuales ocho tienen el nivel más alto de toxicidad (cuadro 2): todas son utilizadas en el maíz, cinco en sorgo, cuatro en cebada y seis en trigo. En tres de los cuatro cultivos predomina el empleo del paratión metílico,[7] sobre todo en su formulación en polvo a 2%, aunque también se emplea su presentación líquida a 50% y 62%; en sorgo el paratión metílico es la segunda sustancia más empleada después del clorpirifos.

Entre los productores de trigo y maíz es frecuente emplear cantidades de insecticida por encima de las recomendadas, práctica presente en 30% y 19% de los productores respectivamente. En los cultivos de maíz, cebada y trigo, el paratión

[7] El paratión metílico tiene uno de los más altos grados de peligrosidad en la clasificación de la oms, razón por la cual fue incluido en el anexo III del Convenio de Rótterdam, que México firmó en 2005.

metílico es la sustancia que más se sobreúsa, incluso triplicando la dosis recomendada. En relación con el tamaño del productor, se observa que los productores chicos son los que menos emplearon insecticidas, pero entre los productores medianos y grandes –con excepción de los sorgueros– su uso está muy generalizado (gráfica 1).

Gráfica 1. Empleo de paratión metílico por tamaño de productor en el DR011



Fuente: Encuesta. Proyecto PAPIIT-UNAM IN305107

La aplicación de sustancias no adecuadas varía según el cultivo, pero su frecuencia es mayor entre los productores de sorgo grandes y medianos, y entre los chicos que cultivan maíz. El uso de cantidades superiores a las recomendadas es más frecuente en los cultivos de trigo y maíz, en los tres estratos (cuadro 3).

El empleo de semillas tratadas con insecticidas (semillas con "poncho") se encontró principalmente en el cultivo del maíz (24% de los usuarios) y en menor proporción en el trigo (3% de los usuarios); los productores de cebada y sorgo no la usaron. Los que recurrieron a la semilla con poncho también usaron otros insecticidas en forma complementaria, y en el caso del trigo, este tipo de semilla fue empleada de manera exclusiva por los usuarios grandes.

Cuadro 3. Prácticas de empleo de insecticida en DR011, 2007-2008 (% usuarios)

Cultivo	No aplica insecticida	Usan sustancias no adecuadas	Usan cantidades superiores a las recomendadas
Productores pequeños			
Maíz	11	35	23
Sorgo	58	33	8
Cebada	14	21	7
Trigo	9	39	30
Promedio	*23*	*32*	*17*
Productores medianos			
Maíz	6	29	24
Sorgo	46	63	8
Cebada	0	10	10
Trigo	6	31	25
Promedio	*15*	*33*	*17*
Productores grandes			
Maíz	11	33	22
Sorgo	50	53	13
Cebada	9	18	9
Trigo	0	17	17
Promedio	*17*	*30*	*15*

Fuente: Elaboración propia.

Con el objeto de analizar si las diferencias obtenidas en la encuesta en el uso de insecticidas entre productores chicos, medianos y grandes no eran producto del azar, se emplearon razones de uso y la prueba estadística ANOVA -un factor, cuyos resultados se presentan en el cuadro 32 y cuadro 33 del anexo 4. Se encontraron diferencias significativas para el tamaño de productor en el ciclo otoño-invierno, en específico entre los usuarios chicos y medianos.

Como se ya se mencionó, el paratión metílico es un insecticida tóxico-peligroso y el de mayor uso en la zona, pero no por ello es empleado de manera adecuada, precisamente, las instrucciones de aplicación son ambiguas en el caso de los cultivos de trigo y cebada. Al consultar cuatro fuentes de información se obtuvo lo siguiente:

1. El Diccionario de FILSA[8] indica que la formulación en polvo no es adecuada para el trigo y la cebada, solo recomienda los concentrados emulsionables a 48 y 63 por ciento.
2. El catálogo de plaguicidas del Cicoplafest indica que la suspensión acuosa microencapsulada de paratión metílico a 24% es adecuada para el trigo y la cebada.
3. El Cesaveg y el INIFAP [Cesaveg, 2008] recomiendan el paratión metílico en polvo a 2% para el control de los pulgones de trigo.
4. El plan rector de producción de cebada de la Sagarpa [2004], identifica al paratión metílico en polvo a 2% y al dimetoato como los dos insecticidas más empleados en el cultivo de cebada.

Cuadro 4. Sustancias que fueron empleados por encima de los recomendado según cultivo en el DR011, 2007-2008

	Maíz	Sorgo	Cebada	Trigo
Sustancia	Paratión metílico[1]	Clorpirifos[2]	Paratión metílico[1]	Paratión metílico[1]
Frecuencia (% usuarios)	19	7	9	30
Cantidad por encima de la dosis recomendada	2 a 32 kg	0.500 a 1.5 lts	25 kg	12.5 kg a 50 kg

[1] Dosis recomendada de paratión metílico: de 20 a 25 kg/ha.
[2] Dosis recomendada de clorpirifos: de 0.5 a 1 lts/ha.
Fuente: Elaboración propia.

[8] *Diccionario de especialidades agroquímicas,* disponible en la página de Fertilización Integral de la Laguna, S.A (FILSA).

Los datos obtenidos en la encuesta indican que el paratión metílico es principalmente aplicado en su presentación en polvo (concentración a 2% en bultos de 20-25 kg) y, en menor medida, en su formulación líquida; sin embargo, la recomendación para el trigo y la cebada es su aplicación en líquido (cuadro 4). Esto es una muestra del inadecuado empleo de una sustancia altamente tóxica y cuyo uso debería estar prohibido en México.

Herbicidas[9]

Antecedentes

Los herbicidas son sustancias fitosanitarias que se emplean para eliminar las plantas indeseables –"malas hierbas"– que interfieren en el crecimiento y rendimiento de los cultivos comerciales. De acuerdo con el momento de aplicación, los herbicidas se clasifican en preemergentes o posemergentes; en selectivos o no selectivos (como el glifosato) según el espectro de plantas que afectan; de contacto (paraquat) si afectan solo a la parte de la planta donde se aplicaron, o sistémicos (glifosato) si la afectan en su conjunto; en función de su persistencia son residuales cuando se aplican sobre la tierra formando una capa tóxica, o no residuales si se degradan en poco tiempo y solo afectan a las plantas sobre las que caen.

La principal maleza que afecta los cultivos del maíz y el sorgo es el *Amaranthus hybridus,* mientras el trigo y la cebada son afectados por la *Avena fatua* (cuadro 5).

En el DR011, 94% de los agricultores de maíz, trigo y cebada y 89% de sorgo emplea herbicidas; se usan 23 sustancias activas, 16 en maíz, 12 en trigo, 11 en sorgo y 8 en cebada; la mayoría de los productores usa de manera simultánea más de una sustancia activa (cuadro 6).

[9] Realizado por Jaime Zavala Vicario.

Cuadro 5. Malezas más frecuentes en maíz, sorgo, trigo y cebada en el Bajío (%)

Sorgo	Maíz	Trigo y cebada
Amaranthus hybridus L. (59.46%)	*Amaranthus hybridus* L. (81.03%)	Avena fatua (51.43%)
Aldama dentata Llave y Lex. (56.76%)	*Anoda cristata* (L.) Schltdl. (58.62%)	*Phalaris minor* (48.92%)
Echinochloa crussgalli (L.) P. Beauv. (45.95%)	*Aldama dentata* Llave y Lex. (57.76%)	*Phalaris paradoxa* (31.52%)
Cynodon dacttylon (L.) Pers. (44.14%)	*Ipomoea purpurea* (L.) Roth (53.45%).	*Echinochloa spp.* (16.52%)

Fuente: Información proporcionada por Juan Carlos Delgado, supervisor de campañas de Sanidad Vegetal del estado de Guanajuato, en entrevista en el marco del proyecto de investigación PAPIIT 35107: Política ambiental, agricultura y contaminación del agua, Guanajuato, noviembre 24, 2009.

Cuadro 6. Uso de herbicidas por tamaño de productor*

Tamaño	Maíz	Sorgo	Trigo	Cebada
Chico	89.7	77.8	95.8	85.7
Mediano	92.9	100	87.5	100
Grande	100	100	100	100

*% del total de cada cultivo.
Fuente: Elaboración propia.

Las sustancias que más se aplican en la producción de maíz son el glicol con óxido de etileno (Sanson) y la combinación paraquat[10]-diurón (Gramocil); en sorgo la combinación

[10] El paraquat es un herbicida muy tóxico que no tiene antídoto; causa intoxicaciones graves y su uso no es seguro en las condiciones comunes en las que se aplica. La intoxicación directa por la piel puede ser mortal y se asocia con fallas respiratorias, daños a los pulmones y a largo plazo con el mal de Parkinson. Los trabajadores están expuestos en condiciones normales de trabajo porque no se les advierte de manera adecuada sobre su alta peligrosidad. También la fauna ha sido afectada por este herbicida.

atrazina-terbutrina (Gesaprim combinado), atrazina (Gesaprim calibre 90) y la sal dimetilamina del ácido 2,4-D (Hierbamina); en trigo y cebada la sal dimetilamina del ácido 2,4-D (Hierbamina); en trigo el clodinafop-propargyl (Topik) y el éster butílico del ácido 2,4-D (Esterón 47) y en cebada el tralkoxidim (Grasp) y el Pinoxaden (Axial). (El grado de toxicidad de estos herbicidas y su uso en estos cultivos se muestra en anexo 6, cuadro 40 y cuadro 41.)

Las sustancias empleadas como herbicidas están formuladas para cultivos específicos. Además de las casas comerciales que los venden, existe un conjunto de instituciones normativas y de asistencia a la producción agrícola que hacen recomendaciones sobre su uso, entre ellas la Cicoplafest, el INIFAP, el Cesaveg, Sagarpa y la Secretaría de la Reforma Agraria (SRA).

En función de la lista que publica el Cicoplafest para los usos permitidos de los principales agroquímicos en México, se analizó su uso en cada uno de los cultivos. Un grupo de productores cuyo porcentaje varía según el tamaño y el cultivo, empleó sustancias no recomendadas para el cultivo en cuestión (cuadro 7).

Cuadro 7. Uso de sustancias no recomendadas*

Tamaño	Maíz	Sorgo	Trigo	Cebada
Chico	13.8	29.6	8.3	14.3
Mediano	21.4	46.2	13.0	20.0
Grande	12.5	66.7	–	–

*% en relación con el total usado por cultivo.
Fuente: Elaboración propia.

También se evaluaron las cantidades empleadas con las recomendaciones de diferentes institucionales (INIFAP, Cesaveg, Sagarpa y SRA). El sobreúso (cantidades superiores a las recomendadas) fue una práctica común en los cuatro cultivos (cuadro 8).

Cuadro 8. Sobreúso por tamaño de productor*

Tamaño	Maíz	Sorgo	Trigo	Cebada
Chico	20.7	18.5	26.0	7.1
Mediano	42.9	–	31.0	40.0
Grande	–	–	–	10.0
Promedio	23.5	10.9	23.5	17.6

*% en relación con el total usado en cada cultivo.
Fuente: Elaboración propia.

MAÍZ

a) Sustancias empleadas y nivel de toxicidad

Sólo 26% de los productores de maíz emplearon herbicidas; 16 sustancias activas o sus combinaciones que forman parte de 18 herbicidas comerciales cuyo nivel de toxicidad varía entre el II (moderadamente tóxico) y el U (poco probable que presente toxicidad aguda). Cerca de la mitad de los productores chicos, dos tercios de los medianos y la mitad de los grandes emplearon las sustancias de mayor toxicidad. La mitad de los productores emplea herbicidas del segundo nivel, pero no de manera exclusiva (cuadro 9).

De los productores 80.4% utilizó alguna sustancia recomendada para el maíz, pero entre los usuarios chicos se reportó el uso de triasulfuron (Amber) que no está recomendado para este cultivo. Un alto porcentaje de los productores medianos, la mitad de los grandes y chicos usaron combinaciones de herbicidas que las hojas de seguridad indican como no recomendables (cuadro 10).

Los productores grandes tuvieron un índice de sobreúso de herbicidas de 0.66, un rendimiento de 11.9 ton/ha de maíz con un costo de 2,676 pesos por tonelada ($/ton) en herbicidas. Para los chicos y medianos el índice de sobreúso de herbicidas fue de 0.78 y 1.66, sus rendimientos de 9.24 y 9.68 ton/ha y un costo en herbicidas de 2 634 y 2 658 pesos respectivamente.

Cuadro 9. Maíz: principales herbicidas por tipo de productor (%)

Grupo	Nivel de toxicidad[3]	Todos[1 2]	Chico	Mediano	Grande
Glicol con óxido de etileno	U	45.1	34.5	50.0	75.0
Atrazina	U	21.6	13.8	28.6	37.5
Paraquat-diuron	II	21.6	13.8	35.7	25.0
Glufosinato de amonio	U	17.6	24.1	14.3	0.0
Sal dimetilamina del 2,4-D	II	15.7	17.2	7.1	25.0
Ester butílico del ácido 2,4-D	II	13.7	17.2	14.3	0.0
Atrazina-terbutrina	U	11.8	6.9	21.4	12.5
Mesotrione	II	7.8	3.4	14.3	12.5
Foramsulfuron-Iodosulfuron	III	5.9	0.0	21.4	0.0
Otros	–	19.6	20.7	21.4	12.5

[1] Total de usuarios que informaron haber utilizado algún tipo de herbicida.
[2] La suma es mayor que 100 debido a que algunos productores emplean más de un herbicida.
[3] La toxicidad final de los productos depende de la concentración del componente.
Fuente: Elaboración propia.Uso inadecuado y sobreúso.

Cuadro 10. Combinaciones de herbicidas no recomendadas

Combinación	Porcentaje[1]
Glicol con óxido de etileno y atrazina	19
Glicol con óxido de etileno con paraquat	17
Atrazina con paraquat	13
Glicol con óxido de etileno con ácido 2,4-D	13
Atrazina con ácido 2,4-D	10
Productores chicos	48
Productores medianos	78
Productores grandes	50

[1] Respecto de los usuarios que emplearon herbicidas.
Fuente: Elaboración propia.

Trigo

b) Sustancias empleadas y nivel de toxicidad

En el cultivo del trigo, el uso de herbicidas es todavía más amplio que en el maíz. Se emplearon 12 sustancias activas cuyo nivel de toxicidad va del nivel II al U (cuadro 11). La mayoría de los productores, sobre todo los chicos y grandes, recurrió a una sola sustancia; la mitad de los medianos usó dos o más sustancias.

Cuadro 11. Trigo: principales herbicidas por tipo de productor (%)

Herbicida	Nivel de toxicidad[3]	Todos[1 2]	Chicos	Medianos	Grandes
2,4- sal dimetilamina del 2,4-D	II	50	52	50	67
Clodinafop-propargyl	na	17	26	14	–
Éster butílico del ácido 2,4-D	III	11	13	7	17
Mesofulron metil + iodosulfuron metil	IV	11	13	14	–
Triasulfurón	U	9	4	7	33
Tralkoxidim	II	7	4	14	0
Pinoxaden	III	7	–	7	33
Flucarbazone	IV	4	4	7	–
Picloran + 2,4-D ácido	II	4	–	14	–
Dicambia + 2,4-D	III	2	4	–	–
Atrazina (90%)	III	2	0.1314	–	–
Atrazina + terbutrina	IV	2	4	–	–

[1] Total de usuarios que informaron haber utilizado algún tipo de herbicida.

[2] La suma es mayor que 100 debido a que algunos productores emplean más de un herbicida.

[3] La toxicidad final de los productos depende de la concentración del componente.

Fuente: Elaboración propia.

b) Uso inadecuado y sobreúso

95,7% de los usuarios entrevistados empleó las sustancias recomendadas para el cultivo del trigo, pero entre los productores chicos se empleó atrazina a 90% y combinada con terbutrina, herbicidas que no están recomendados para el trigo. También se usaron combinaciones no recomendadas, entre ellas el éster butílico del ácido 2,4-D con clodinafop-propargyl (Amber-Topik), sal dimetilamina del 2, 4-D con clodinafop–propargyl (Hierbamina-Topik), sal dimetilamina del 2, 4-D con tralkoxidim (Hierbamina-Grasp), triasulfurón con éster butílico del ácido 2,4-D (Amber-Esteron).

26% de los entrevistados chicos y 31% de los grandes, empleó cantidades de herbicidas superiores a las recomendadas, en especial de la sustancias no clasificada, clodidafop-propargyl. Además, algunos de ellos utilizaron combinaciones no recomendadas (cuadro 12).

Cuadro 12. Combinación de sustancias no recomendadas

Trigo	Chicos			Medianos		Grandes
Combinación	Amber-Hierbamina-Topik	Hierbamina-Topik	Hierbamina-Grasp	Hierbamina-Topik	Hierbamina-Grasp	Amber-Esteron
% Usuarios	4.35	13.04	4.35	7.69	7.69	17
% Total	21.7			15		17

Fuente: Elaboración propia.

Los productores chicos tuvieron el menor índice de sobreúso de herbicidas (1.11), con un rendimiento por hectárea de 6.29 ton/ha y un costo promedio de 3 359 pesos por tonelada en herbicidas. En los medianos y grandes el índice de sobreúso fue de 8.81 y 1.79 respectivamente, sus rendimientos fueron de 6.19 toneladas por hectárea con un precio de 3 115 pesos en medianos y 5.66 toneladas por hectárea con un costo de 3 508 pesos para los grandes.

Los tres tipos de productores gastaron una cantidad similar en herbicidas por hectárea, sin embargo, los medianos tienen un índice de sobreúso enorme en comparación con los otros dos, a pesar de que los tres estratos tienen rendimientos por hectárea similares.

Cebada

a) Sustancias empleadas y nivel de toxicidad

Los productores de cebada emplean muchas de las sustancias aplicadas al trigo, pero en menor variedad. De manera exclusiva, los pequeños agricultores utilizaron el clodinafop-propargyl (Topik), los medianos el paraquat-diuron (Gramocil) y los grandes el Hierbester (2,4-ácido diclorofenoxiacético 2,4-D). Los niveles de toxicidad varían de tóxicas a poco probable de presentar un daño severo en su uso normal (cuadro 13).

Cuadro 13. Cebada: principales herbicidas por tipo de productor (%)

Herbicida	Nivel de toxicidad[3]	Todos[1 2]	Chicos	Medianos	Grandes
2,4- sal dimetilamina del 2,4-D	II	65	64	60	70
Tralkoxidim	II	35	21	30	60
Pinoxaden	III	18	14	40	0
Triasulfurón	U	9	7	20	0
Atrazina (90%)	III	9	7	10	0
Paraquat (28%) Diuron (10%)	II	3	0	10	0
2,4- Ácido diclorofenoxiacético (2,4-D)	II	3	0	0	10
Clodinafop-propargyl	na	3	7	0	0

[1] Total de usuarios que informaron haber utilizado algún tipo de herbicida.

[2] La suma es mayor que 100 debido a que algunos productores emplean más de un herbicida.

[3] La toxicidad final de los productos depende de la concentración del componente.

Fuente: Elaboración propia.

b) Uso inadecuado y sobreúso

79% de los entrevistados empleó una o más sustancias recomendadas para el cultivo de la cebada, todos los agricultores grandes emplearon el herbicida adecuado, pero entre los pequeños y medianos se usaron combinaciones no recomendadas de la sal dimetilamina del 2,4-D con Pinoxaden. El sobreúso ocurrió en el uso del herbicida pinoxaden (Axial), el cual se empleó por encima de la recomendación (cuadros 14 y 15).

Los productores chicos presentaron el menor índice de sobreúso de herbicidas (1.73), un rendimiento por hectárea de 6.53 ton/ha y un costo promedio por agricultor de 3 419 pesos por tonelada de herbicida. En los productores medianos y grandes el índice de sobreúso en herbicidas fue de 2.15 y 6.85 respectivamente, con rendimientos de 6.60 toneladas por hectárea con un precio de 3 874 pesos en medianos y 6.90 toneladas por hectárea con un costo de 3 900 en los grandes.

Cuadro 14. Cebada: sustancias y combinaciones no recomendadas, en uso (%)

Combinación	Total[1]	Chicos	Medianos
Atrazina	6	7	10
Paraquat-diuron	3		10
Clodinafop-propargyl	3	7	
Combinación 2,4-D y pinoxaden	8	7	10
Total	20	21	30

[1] Respecto del total que emplearon herbicidas

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 15. Cebada: uso de pinoxaden

Uso promedio de pinoxaden	L/ha
Cantidad recomendada	0.5-0.60
Cantidad empleada (promedio)	1.375
Chicos	2
Medianos	1

Fuente: Elaboración propia.

Los productores chicos gastaron una cantidad menor en comparación con los medianos y grandes, mientras que en el índice de sobreúso la diferencia es muy grande entre los tres tipos de productores. El rendimiento por hectárea de los productores grandes es el mayor, como también lo es el índice de sobreúso, situación opuesta a la que se da entre productores chicos y medianos.

Sorgo

a) Sustancias empleadas y nivel de toxicidad

De los productores 86.9% empleó algún tipo de herbicida; 15.2% usó solo una sustancia y el resto dos o más. Los productores chicos y grandes utilizaron hasta cinco sustancias al mismo tiempo. Las 11 sustancias activas o combinaciones más utilizadas tienen un nivel de toxicidad bajo (U), pero la sal dimetilamina del ácido 2,4-D y el paraquat-diurón son altamente tóxicos (cuadro 16).

Cuadro 16. Sorgo: principales herbicidas por tipo de productor (%)

Grupo	Nivel de toxicidad[3]	Todos[1 2]	Chico	Mediano	Grande
Atrazina	U	60.9	44.4	84.6	83.3
Atrazina-terbutrina	U	56.5	52.9	69.2	50
Sal dimetilamina del ácido 2,4-D	II	50.0	44.4	38.5	100
Prometrina	U	34.8	25.9	38.5	66.7
Paraquat-diurón	II	23.9	22.2	30.8	16.7

[1] Total de usuarios que informaron haber utilizado algún tipo de herbicida.
[2] La suma es mayor que 100 debido a que algunos productores emplean más de un herbicida.
[3] La toxicidad final de los productos depende de la concentración del componente–
Fuente: Elaboración propia.

b) Uso inadecuado y sobreúso

De los entrevistados 47.8% utilizó los herbicidas recomendados y 39.1% aplicó sustancias no recomendadas, en especial la prometrina (Gesagard), el tralkoxydim (Grasp 25) y el ácido 2,4-D-picloram (Tordon); 45.7% de los agricultores utilizó tres o más herbicidas y el 41.3 uno o dos herbicidas.

Únicamente 10.9% de los entrevistados (todos pequeños productores) empleó una cantidad de herbicida superior a la indicadas y no se identificaron combinaciones de sustancias no recomendadas.

Los productores grandes presentaron el menor índice de sobreúso de herbicidas (0.40), un rendimiento por hectárea de 9.00 toneladas y un precio promedio por agricultor de 2 805 pesos por tonelada en herbicida. Entre los agricultores chicos y medianos el índice de sobreúso fue de 0.45 y 0.49 respectivamente. El rendimiento y precio del herbicida por tonelada fue de 8.27 toneladas y 2 589 pesos en chicos y de 8.54 toneladas y 2,630 pesos en medianos.

Los productores grandes tienen el mayor gasto de herbicidas por hectárea, el menor sobreúso y el mayor rendimiento por hectárea.

Manejo de esquilmos

Esquilmo agrícola es el nombre genérico del material vegetal que queda en el campo después de la cosecha[11] y constituye un importante recurso para proteger el suelo del impacto de la precipitación erosiva y la consiguiente escorrentía. Los esquilmos actúan como trampas de agua, facilitan la infiltración y reducen las pérdidas por evaporación al mantener más fría y protegida la superficie del suelo.

[11] Rastrojo cuando se trata de maíz, "pata" si es sorgo o trigo, y paja el de la cebada.

Una de las razones por las cuales el uso de herbicidas es elevado, es porque todavía un porcentaje alto de productores queman los esquilmos, lo que deteriora la capa orgánica del suelo y obliga a un mayor uso de agua, fertilizantes y herbicidas.

La situación del DR011 respecto del manejo y quema de esquilmos se analiza con detalle en el capítulo 9 sobre sustentabilidad de las prácticas agrícolas. En este apartado, y como complemento al análisis realizado sobre el uso de herbicidas, solo se señala que en la encuesta 10% de los productores de maíz, 12% de trigo y 2% de sorgo, todos ellos productores chicos, reconocieron que queman los esquilmos. La precaria situación de estos productores no les permite adquirir la maquinaria necesaria para manejar y empacar los esquilmos o pagar la mano de obra necesaria para hacerlo; tampoco cuentan con la organización que les permita acceder a los programas de gobierno que apoyan la adquisición de equipo y maquinaria.

CONCLUSIONES

El uso de plaguicidas tiene una función ambivalente, por una parte, puede garantizar que los cultivos no van a ser atacados por insectos y malas hierbas, que no se van a perder las cosechas, y que existe una mayor probabilidad de que los rendimientos esperados sean los obtenidos. Sin embargo, la experiencia de su empleo en las últimas cinco décadas, ha mostrado que los ataques de los insectos y la presencia de malas hierbas no se han eliminado y que el ambiente, particularmente la biodiversidad, el agua y la salud humana, han sido en ocasiones, gravemente dañados.

A pesar de que México participa de manera activa en las diferentes instancias internacionales que regulan el uso y comercio de plaguicidas, en el territorio nacional se siguen utilizando plaguicidas proscritos en la regulación internacional, y se ha demostrado que hay un sobreúso de

insecticidas y herbicidas, y un mal uso de los mismos, dado que se usan sustancias que no son apropiadas para los cultivos que se practican y, que además, se hace una errónea combinación de sustancias. El caso más grave se refiere al paratión metílico, insecticida prohibido en casi todo el mundo y permitido en México, donde además se subsidia, lo que estimula su sobreúso. Diversos análisis de agua mostraron la presencia de plaguicidas en drenes y canales del DR011 en una época en la que no fueron aplicados.

Bibliografía

Amifac [2004], "Programa de Recolección de Envases Vacíos de Agroquímicos" *Conservemos un Campo Limpio*", México, Asociación Mexicana de la Industria Fitosanitaria A.C, acceso 17 de febrero.

Cesaveg [2008], folleto "Campaña de manejo fitosanitario de trigo", Guanjuato, Guanajuato, Sagarpa-Senasica-Gobierno del estado de Guanajuato, <http://www.cesaveg.org.mx/html/principal.htm>.

Cicoplafest [2004], "Catálogo oficial de plaguicidas", México, Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas, Secretaría de Salud, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Economía, <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas%20y%20Fertilizantes/CatalogoPlaguicidas.aspx>, acceso 29 de noviembre de 2011.

Chalak, Ali; Balcombe, Kevin; Bailey, Alastair y Fraser Iain [2008], "Pesticides, Preference Heterogeneity, and Environmental Taxes", *Journal of Agricultural Economics,* 59 (3), pp. 537-554.

Ferrer, A. [2003], "Intoxicación por plaguicidas. Pesticide poisoning", *Anales del Sistema Sanitario de Navarra,* Navarra, España, 26 (1), pp. 155-171.

Flalkov, B. A., Gordin, A. y Amirav, A. [2003], "Extending the range of compounds amenable for gas chromatography-mass spectrometric analysis", *J. Chromat. A.,* 991, pp. 213-240.

Gobierno del estado de Guanajuato [2008], "Decreto gubernativo no. 79/Norma Técnica Ambiental NTA-IEE-005/2007 que establece las especificaciones para la gestión integral de los residuos agrícolas (esquilmos), así como para la prevención y control de la contaminación generada por su manejo inadecuado", *Periodico Oficial del Gobierno del estado de Guanajuato,* Guanajuato, Guanajuato, CXLVI (133).

Hernández, F.; Sancho, J. V.; Pozo, O.; Lara, A.; y Pitarch, E. [2001], "Rapid direct determination of pesticides and metabolites in environmental water simples at sub-mg/L level by on-line solid-phase extraction-liquid chromatography-electrospray tandem mass", *J. Chromat. A.,* 939, pp. 1-11.

INE [2010], "Sistema de consulta de plaguicidas: lista de plaguicidas prohibidos en México", México, *Diario Oficial de la Federación,* enero 3, 1991, <http://www2.ine.gob.mx/sistemas/plaguicidas/lprohibi.html>, acceso 7 de abril.

Kochman, M.; Gordin, A.; Goldshlag, P.; Lehotay, S. J.; y Amirav, A. [2002], "Fast high-sensitivity multipesticides analysis of complex mixtures with supersonic gas chromatography-mass spectrometry", *J. Chromat. A.,* 974, pp. 185-212.

Kolbert, Elizabeth [2007], "Human nature", *The New Yorker*, Estados Unidos, pp. 22-23.

Muñoz Piña, Carlos y Ávila Forcada, Sara [2005], "Los efectos de un impuesto ambiental a los plaguicidas en México", *Gaceta Ecológica,* México, Conagua-Semarnat, 074 (enero–marzo), pp. 43-53.

OMS "The WHO Recommended classification of Pesticides by Hazard", Corrigendum 28 junio 2006, World Health Organization, <http://www.who.int/ipcs/publications/corrigendum/en/>, acceso abril 7 2009.

Pimentel, D. y Greiner, A. [1997], "Environmental and Socio–Economic Cost of Pesticides Use", D. Pimentel (ed.), *Techniques for reducing use: environmental and economic benefits,* Reino Unido: John Wiley y Sons), pp. 51-78.

Pimentel, David [2005], "Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States", *Environment, Development and Sustainability*, Estados Unidos, 7, pp. 229-252.

Richter, P.; Sepúlveda, B.; Oliva, R.; Calderón, K.; y Sequel, R. [2003], "Screening and determination of pesticides in soil using continuous subcritical water extraction and gas chromatography-mass spectrometry", *J. Chromat. A.,* 994, pp. 169-177.

Sagarpa [2009], "Sistema de productos integrados. Cebada", México, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Publicaciones/SistemaProducto/Paginas/SistemasProductoIntegrados.aspx>, acceso 23 marzo.

Sánchez Saldaña, Kim y Betanzos Ocampo, Percy [2006], "Aspectos socioeconómicos y culturales en el uso de agroquímicos y plaguicidas en los Altos de Morelos, México", *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica,* México, 3, 33-47, <http://www.redibec.org/IVO/rev3_03.pdf>, acceso agosto 2011.

Susmita, D.; Craig, M.; y Manuil, H. [2007], "A Pinch or a Pint? Evidence of Pesticide Overuse in Bangladesh", *Journal of Agricultural Economics,* 51 (1), pp. 91-114.

Los fertilizantes y sus efectos ambientales

*K. Alethya Jara Durán**

En el presente capítulo se estudia el uso de fertilizantes, los efectos que pueden causar en el ambiente, así como su uso en México, Guanajuato y el Distrito de Riego 011, Alto Río Lerma, Guanajuato. Se presentan los resultados del análisis de los datos de la encuesta correspondientes al uso y sobreúso de macronutrientes respecto de las recomendaciones de Fertimex y Sagarpa. Asimismo, se analizan datos de costos de fertilizantes para estimar la eficiencia en la aplicación del insumo.

Introducción

Las plantas requieren para su crecimiento de 16 elementos esenciales[1] que extraen del aire y suelo circundantes;

*Licenciada en economía por la UNAM. Estudió la maestría en geografía ambiental por la UNAM; es becaria del proyecto PAPITT "Diseño de políticas agroambientales para el control de la contaminación del agua", del Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. Es académica del área de Investigación y Análisis Económico de la Facultad de Economía de la UNAM.

[1] Carbono (C) como CO_2 (dióxido de carbono); hidrógeno (H) y oxígeno (O) como H_2O (agua); nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca),

cuando la planta muere, los nutrientes regresan de manera natural al suelo, pero cuando estas se cultivan y cosechan, los nutrientes que se extraen con las plantas ya no regresan y es necesario remplazarlos para que el suelo siga siendo productivo, de lo contrario las plantas dejarán de crecer[2] [Shakhashiri Bassam, 2011: s/f].

Los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas se dividen en dos grupos:

1. Macronutrientes, se aplican en grandes cantidades al suelo; se dividen en primarios: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), y secundarios.
2. Micronutrientes o microelementos que se aplican en cantidades ínfimas para el crecimiento correcto de las plantas.

La agricultura intensiva necesita nutrir de manera artificial los suelos; para ello utiliza elementos como el N en forma de amoniaco (NH_3), urea $CO(NH_2)_2$; fósforo (P) en su forma más concentrada de pentóxido de fósforo (P_2O_5), de fosfato monoamónico $NH_4H_2PO_4$ y diamómico ($(NH_4)HPO_4$) y, potasio (K) como potasa u óxido de potasio (K_2O) [Shakhashiri Bassam, 2011: s/f].

Los fertilizantes minerales o químicos[3] proveen los nutrientes faltantes en el suelo que los cultivos necesitan, su

magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) [FAO e IFA, 2001].

[2] El compuesto químico más abundante en una planta es el agua, y en la materia seca, carbohidratos que se producen en las hojas a partir del oxígeno (O) y el carbón (C) que las plantas transforman del bióxido de carbono. 90% del peso seco de una planta proviene del aire y del hidrógeno (H) del agua que absorbe por la raíz. Aunque la mayor parte del peso de una planta son carbohidratos, también contiene pequeñas cantidades de otros elementos que son indispensables para su crecimiento, entre ellos el fósforo (P), nitrógeno (N), magnesio (Mg), potasio (K) y calcio (Ca) [Shakhashiri Bassam, 2011: s/f].

[3] Cualquier material natural o industrializado, que contenga al menos 5% de uno o más de los tres nutrientes primarios (N, P_2O_5, K_2O), puede ser llamado fertilizante. Fertilizantes fabricados industrialmente son los llamados *fertilizantes minerales* [FAO e IFA, 2001].

uso puede mejorar la baja fertilidad en suelos sobreexplotados y de acuerdo con la FAO, pueden duplicar o triplicarlos rendimientos. Según el primer Programa de Fertilizantes de la FAO que cubrió un periodo de 25 años en 40 países, el aumento promedio ponderado del mejor tratamiento de fertilizantes en ensayos de trigo fue alrededor de 60% [FAO e IFA, 2001: 3].

Otro efecto importante del empleo de fertilizantes, es que asegura un uso más eficaz de la tierra y especialmente del agua, porque su aplicación hace que las raíces del cultivo se extiendan a mayor profundidad, donde se encuentran capas de suelo más húmedas. Datos de la FAO indican que en cultivos bajo riego, el rendimiento por unidad de agua usada puede ser más que duplicado [FAO e IFA, 2001: 4].

El objetivo principal de este capítulo fue determinar las prácticas agrícolas en el uso de fertilizantes que podrían ser fuentes potenciales de contaminación del agua en el DR011. Se indagaron los patrones de consumo de fertilizantes en México, en la región del Bajío y en el DR011 para conocer los problemas ambientales específicos causados por el uso de fertilizantes. Para ello se analizaron los datos de la encuesta, se determinaron las cantidades empleadas de macronutrientes y el sobreúso respecto de las recomendaciones de Fertimex y Sagarpa, así como los tipos de combinaciones de fertilizantes y la eficiencia de uso en términos de costos.

Problemas ambientales del uso de fertilizantes

Los sistemas intensivos de producción agrícola tienen fuertes efectos en el ambiente; son la actividad consumidora principal y fuente de contaminación del agua por nitratos, fosfatos y plaguicidas que contribuye, en gran medida, a otros tipos de contaminación del aire y agua. La agricultura comercial también degrada la tierra, es causa de salinización, exceso de extracción de agua y reducción de la diversidad genética agropecuaria.

La necesidad de mayores rendimientos y de un incremento en la producción de alimentos son los factores principales que impulsan el crecimiento en el consumo de fertilizantes, sin embargo, es importante destacar que una mayor utilización de estos no necesariamente significa la aplicación de dosis óptimas.

El uso inadecuado y abuso de fertilizantes minerales propicia el agotamiento de la materia orgánica del suelo, que se presente un desbalance nutrimental y que el suelo pierda su fertilidad y capacidad productiva. El hecho de que los fertilizantes químicos se concentren en unos pocos elementos, sin tomar en cuenta la falta de otros nutrientes que limitan la productividad de los cultivos, provoca problemas ambientales, como el deterioro y contaminación de otros recursos naturales, además del suelo [Sagarpa, 2000: 2].

Aun con las mejores prácticas agrícolas, las pérdidas de nutrientes causadas por denitrificación,[4] volatilización y lixiviación naturales son inevitables y fuente potencial de contaminación que afecta la calidad del ambiente y la salud de las personas. La contaminación se produce cuando se utiliza más fertilizante que el que puede absorber el cultivo, o cuando se transporta con el agua o viento antes de ser absorbido. Un indicador que permite tener idea de la cantidad de nutriente que no absorbe la planta y se pierde en el ambiente, es el porcentaje de eficiencia, que muestra la cantidad de nutriente recuperado por la planta después de la aplicación del fertilizante. En la década de los años sesenta, la FAO determinó teóricamente que el porcentaje de eficiencia era de 50% [FAO, 1984]. Del nitrógeno aplicado a muchos cultivos, solamente entre 10-50% suele ser absorbido por las plantas, mientras que cerca de 50-90% restante

[4] La denitrificación es el proceso de reducción del ion nitrato a nitrógeno molecular. En suelos saturados de agua se produce un empobrecimiento en oxígeno, y algunos organismos anaeróbicos pueden obtener oxígeno de los nitratos y nitritos, liberando nitrógeno y óxido nitroso [González Huiman, 2011].

se puede lixiviar, generar escorrentía o perderse en forma gaseosa [González Murua *et al.,* 2008].

Los principales problemas relacionados con el uso de fertilizantes son: la eutroficación de aguas superficiales por el elevado contenido de nitrógeno y fósforo;[5] riesgos en la salud humana por el consumo de aguas subterráneas contaminadas con nitratos lixiviados, que pueden producir cáncer de estómago e hígado,[6] mayor mortalidad en recién nacidos debido a malformaciones que afectan al sistema nervioso central, muscular u óseo (en niños menores de seis meses puede producir metahemoglobinemia); daños por salinidad y contaminación de acuíferos causados por una dosificación muy alta de nitrógeno; emisión de óxido nitroso (N_2O) a la atmósfera, que puede afectar la capa de ozono; problemas renales en personas inmunodeprimidas por el cadmio de los fertilizantes fosfatados, que además afectan la calidad del suelo y la salud humana en la cadena

[5] En aguas superficiales "[...] los nitratos también actúan de fertilizantes de la vegetación acuática, de tal manera que, si se concentran, puede originarse la eutrofización del medio. En un medio eutrofizado, se produce la proliferación de especies como algas y otras plantas verdes que cubren la superficie. Esto trae como consecuencia un elevado consumo de oxígeno y su reducción en el medio acuático, asimismo, dificulta la incidencia de la radiación solar por debajo de la superficie. Estos dos fenómenos producen una disminución de la capacidad autodepuradora del medio y una merma en la capacidad fotosintética de los organismos acuáticos" [González Huiman, 2011].

[6] "Por el consumo de agua rica en nitratos, debido a su transformación en nitritos debido a la participación de unas bacterias existentes en el estómago y vejiga urinaria. A su vez, los nitritos se transforman en ciertos compuestos cancerígenos (nitrosaminas), que afectan al estómago e hígado. [...] En las experiencias de laboratorio se ha comprobado que alrededor de 75 % de ellas (nitrosaminas) pueden originar cánceres hepáticos y, aunque con menor frecuencia, también de pulmón, estómago, riñones, esófago y páncreas. También se ha podido comprobar que existe una correlación directa entre el consumo de alimentos o aguas con exceso de nitratos y los cánceres gástricos y entre el trabajo en las fábricas de abonos químicos y dichos cánceres" [González Huiman, 2011].

alimenticia [Scott, 2005] y, acidificación de los suelos por sulfato de amonio [Salgado *et al.,* 2010: 11].

Los fertilizantes nitrogenados tienen pérdidas de nitrógeno en el suelo y las aguas superficiales y subterráneas, que pueden llegar a ser tóxicas en ciertos niveles [Yepis Vargas *et al.,* 1999: 7].

El nitrógeno, *motor del crecimiento de la planta*, es el elemento más susceptible a transformarse química y bioquímicamente, movilizarse en el suelo y perderse por volatización y/o lixiviación. Su aplicación excesiva en cereales puede producir: 1. Mayor competencia de malas hierbas y ataques de plagas, generando pérdidas sustanciales; 2. Agotamiento de los suelos de los demás nutrientes, principalmente fósforo y potasio [FAO e IFA, 2001: 9]; 3. Modificar el pH del suelo, 4. Ser la causa principal de contaminación por nitratos de las aguas subterráneas y 5. Dificultar el tratamiento del agua [Yepis Vargas *et al.,* 1999: 30].

Una fertilización excesiva de nitrógeno no solo es contraria a las buenas prácticas agrícolas, sino también una pérdida de trabajo y capital, daña el ambiente y no es sostenible ([FAO e IFA, 2001: 30].

En el caso del fósforo, algunas investigaciones demuestran que si se aplica de manera adecuada, no contamina, a menos de que se arrastre, adherido a la tierra, en los procesos de erosión y llegue a cuerpos de agua superficiales y subterráneos [Núñez, 1973]. Los fosfatos son un problema en el agua dulce, el nitrógeno en las aguas salobres, y ambos son la principal causa de la eutrofización del agua.

Los fertilizantes potásicos pueden tener un efecto salinizante, en especial los cloruros, aunque no existe evidencia de contaminación ambiental por su uso, ni por el uso de micronutrimentos fertilizantes [Núñez, 1973].

Uso de fertilizantes en México

El uso de fertilizantes químicos en México se inició a principios del siglo pasado y la producción de los mismos en 1915

[Sagarpa, 1999]. En 2009 se estimó que de las 21.4 millones de hectáreas cultivadas anualmente, solo 10.2 millones –47.7% de la superficie sembrada– se fertilizaban. Su uso se concentra en áreas de agricultura intensiva en la que 11 estados representan 60.3% de la superficie sembrada y concentran 80% de la superficie fertilizada: Sinaloa, Tamaulipas, Jalisco, Veracruz, Guanajuato, Chihuahua, Zacatecas, Chiapas, Michoacán, Puebla y Sonora [FIRA, 2009].

Los nitrogenados simples siguen siendo los fertilizantes más usados, destacando la urea (32% del consumo nacional) y el sulfato de amonio [Ávila, 2001]. En la actualidad se ha sustituido el uso de productos de baja concentración por los de alta concentración: más urea que sulfato de amonio, y más fosfato diamónico (DAP) que superfosfatos. Asimismo, se usan fertilizantes sólidos en mayor cantidad que líquidos y gaseosos; estas últimas fuentes se utilizan en zonas altamente tecnificadas como el Bajío, Valles de Sinaloa y del Yaqui-Sonora [Peña Cabriales *et al.,* 2001].

De acuerdo con el Fideicomiso Instituido en Relación a la Agricultura (FIRA) la fertilización, en general, no se realiza con un enfoque de nutrición vegetal, lo que origina serias limitaciones en el uso eficiente de los nutrientes. Estimaciones realizadas por el Instituto del Fósforo y la Potasa indican que para producir una tonelada de maíz los requerimientos NPK son 24-10-24 unidades de nutrientes, mientras que encuestas del FIRA en ocho estados de la República, en 2007, indican que se utilizaron en promedio 28-9-3 unidades de nutrientes NPK. En general, se concluye que se aplican sobredosis de nitrógeno, en tanto que en fósforo y potasio se observan déficits de aplicación [FIRA, 2009].

En opinión de los especialistas,[7] el riesgo de deterioro ambiental por sobreúso de fertilizantes se ubica principal-

[7] Información proporcionada por Roberto Núñez, profesor emérito del Programa de Edafología del IRENAT-CP, en entrevista en el marco del proyecto de investigación PAPITT 35107: Política ambiental, agricultura y contaminación del agua, México, septiembre 27, 2011.

mente en las zonas de riego y altamente tecnificadas del noroeste y centro del país, que se dedican a cultivos de exportación, en las que anualmente se emplean dosis superiores a los 300 kg de nitrógeno y 150 kg de pentóxido de fósforo por hectárea.

Fertilizantes y contaminación en el Bajío

El Bajío constituye una de las principales entidades productoras de granos y exportadora de hortalizas. Algunos estudios señalan que en la región se concentra 25% de los pozos, se utiliza cerca de 15% de los fertilizantes nitrogenados, y que la capacidad de los suelos para suministrar los nutrimentos a los cultivos se ha mantenido, en los últimos 30 años, mediante la aplicación de dosis cada vez mayores de fertilizantes químicos [Peña Cabriales *et al.,* 2001].

La producción agrícola en esta zona requiere de altas dosis de nitrógeno y agua para mantener la productividad; por ejemplo, el trigo se fertiliza con 350 kg N/ha aproximadamente, para un rendimiento promedio de 5.5 ton/ha que se ha mantenido constante en los últimos 15 años, a costa de mayores dosis de nitrógeno, situación que ocurre particularmente en el ciclo de otoño-invierno, cuando se usan numerosas láminas de riego.

De un balance teórico de nitrógeno realizado por Grageda-Cabrera *et al.* [2000a] para el maíz, trigo, sorgo y brócoli, se observó que la recuperación del nitrógeno disponible (porcentaje de eficiencia) fue aproximadamente de 60%,[8] que indica la pérdida en el ambiente de 40% que resta, concretamente 100 kg N/ha/ciclo [Grageda-Cabrera *et al.,* 2000a]. En un experimento realizado por Peña *et al.* (2002) en el Bajío, aplicaron al trigo una dosis total de 320 kg N/ha como sulfato de amonio enriquecido con 1.03%15N átomos

[8] De los $1.1^5 \times 10^5$ Mg N aplicados al año, se desconoce el paradero de 4.6×10^4 Mg N/año.

en exceso, aportada en dos partes: 160 kg N/ha durante la siembra y otros 160 kg N/ha 50 días después de la siembra, con dos sistemas de manejo de residuos de sorgo, cuando se quema[9] –práctica común para acelerar la preparación de la tierra para el ciclo de invierno que además, genera un incremento sustancial de 15 a 20% en su rendimiento– y cuando se incorpora.

Los autores del experimento encontraron que: 1. El rendimiento fue mayor cuando el residuo de sorgo se quemó, que cuando se incorporó; 2. Cuando el residuo de sorgo se incorporó, la acumulación de nitrógeno por el trigo disminuyó a un promedio de 45 kg N/ha. Tales resultados indican que la cantidad de nitrógeno aplicada al cultivo de trigo excede la asimilación del mismo, y que la incorporación de residuos de cosecha puede ayudar a disminuir las pérdidas de nitrógeno y en el largo plazo, incrementar el contenido de nitrógeno orgánico del suelo [Grageda-Cabrera *et al.,* 2000b].

La incorporación del esquilmo de sorgo y otros residuos orgánicos al suelo es importante para mantener el nivel de materia orgánica (MO), la mineralización de estos residuos, y para regular la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo. Sin embargo, los sistemas intensivos de producción agrícola dependen de la aplicación de fertilizantes químicos para mantener la producción, y como consecuencia, el nitrógeno mineral decrece provocando un declive en el contenido de materia orgánica.

Los estudios sobre manejo de materia orgánica han demostrado que el deterioro en la fertilidad potencial de los suelos es mayor cuando se usan fertilizantes químicos que cuando se aplica materia orgánica. Además, estas fuentes nutrimentales son más baratas y ambientalmente más

[9] La quema del esquilmo de sorgo genera elevadas emisiones de CO_2 (un gas de efecto invernadero), es causante de un incremento en el número de incendios en áreas forestales vecinas a la zona agrícola y degrada la materia orgánica del suelo [Peña Cabriales *et al.,* 2001].

limpias, por lo que pueden usarse como complementarias a la aplicación de fertilizantes químicos.

Análisis del uso de fertilizantes en el DR011

El uso de fertilizantes se analizó con base en la encuesta levantada en el DR011 descrita en la introducción de este libro. La muestra fue de 125 agricultores que cultivaron maíz, sorgo, cebada y trigo, de los cuales 89 sembró en ambos ciclos agrícolas (primavera-verano y otoño-invierno) alguno de los cultivos anteriormente mencionados. Los resultados indican que se usaron 18 tipos distintos de fertilizantes, entre ellos: amoniaco, fosfato diamónico (DAP), urea, sulfato de amonio, superfosfato simple y triple, cloruro de potasio. La urea y el superfosfato simple se emplean en mayor medida para el maíz; el amoniaco y el superfosfato triple para el trigo; para el sorgo el DAP y el sulfato de amonio y en la cebada el amoniaco, DAP y urea.

En el DR011 se aplicaron otros fertilizantes de menor uso, pero que tienen funciones importantes en la nutrición de los cultivos, entre ellos el calcio, considerado un micronutriente y una fuente para neutralizar la acidez del suelo, proceso al que le llaman encalado. De los 125 agricultores del DR011 solo cinco aplicaron de 150 a 300 kg/ha de calcio en sus terrenos, lo cual indica que la acidez no es un problema generalizado. Respecto de los usuarios que sembraron alguno de los cuatro cereales, 22 utilizaron fertilizantes foliares[10] en líquido o polvo, sin embargo, la información recabada no fue suficiente para determinar los tipos de fertilizantes foliares y, por tanto, las concentraciones de nutrientes contenidos en estos.

[10] Los fertilizantes foliares representan el método más eficiente de suministro de micronutrientes necesarios en pequeñas cantidades que pueden llegar a ser indisponibles si son aplicados en el suelo [FAO, 1984].

Utilización de macronutrientes

Los fertilizantes fuente principal de contaminación del agua son los nitrogenados y fosfatados, que contienen macronutrientes en grandes cantidades; por ello, solo se analizarán las cantidades de macronutrientes utilizadas en comparación con las recomendadas por instituciones como Sagarpa, INIFAP, FAO, etcétera.

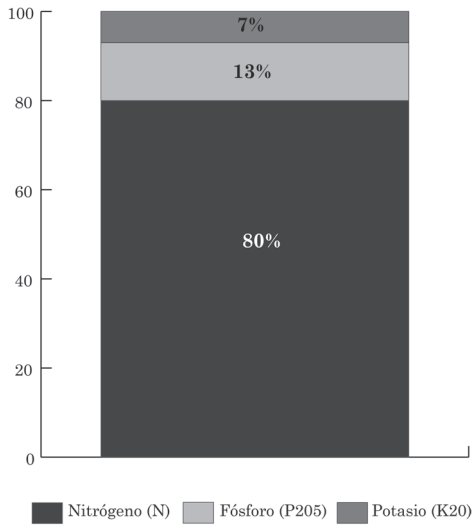
Los patrones de uso de fertilizantes encontrados en la encuesta son similares a los que indican otros estudios; cerca de 90% de los agricultores utiliza como principal fuente de nutriente el nitrógeno, seguido del fósforo y por último el potasio, con porcentajes similares en sorgo, maíz, trigo y cebada (gráfica 1).

Para determinar la cantidad de macronutrientes nitrógeno, fósforo, potasio aplicados al maíz, sorgo, trigo y cebada, se utilizó el porcentaje contenido en los fertilizantes de acuerdo con su grado de concentración[11] y se sumaron sus cantidades individuales para obtener la cantidad total de kilos de macronutriente por hectárea. Por último, se dividió la cantidad de macronutriente entre el rendimiento para cada agricultor y se obtuvo la cantidad de macronutriente por tonelada producida. Posteriormente, esta cantidad se comparó con las recomendaciones de la Sagarpa y Fertimex.

En los cuatro cultivos estudiados la cantidad promedio consumida de nitrógeno osciló entre 297 y 315 kg/ha, montos que exceden en todos los casos con más de 100 kg/ha la cantidad recomendada (de 200 a 240 kg/ha) por la extinta empresa Fertilizantes Mexicanos (Fertimex) en 1987 (gráfica 2). En general, se aplican mayores cantidades de nitrógeno en el ciclo otoño-invierno en las unidades de producción grandes.

[11] Concentración se refiere a la cantidad de nutrimento que contiene una unidad de peso del fertilizante y se expresa en porcentajes [Salgado *et al.*, 2010].

Gráfica 1. Porcentaje de usuarios por macronutriente utilizado en el total de cultivos estudiados (maíz, sorgo, cebada y trigo) para el DR011

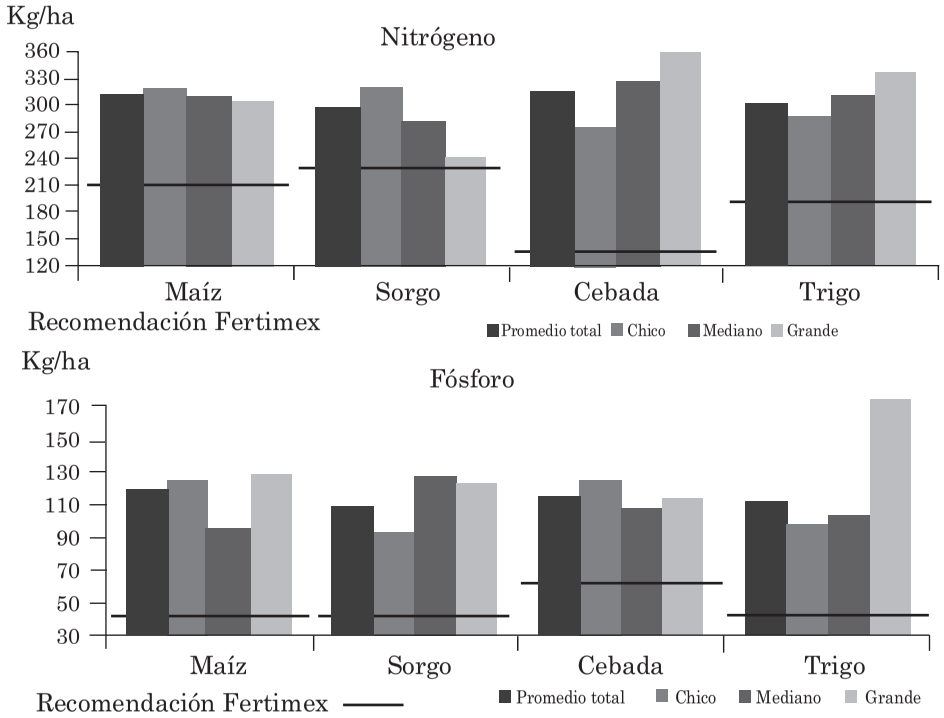


Fuente: Elaboración propia con información de la base de datos del proyecto PAPIIT "Diseño de políticas agroambientales para el control de la contaminación del agua", IIEC-UNAM.

En el caso del fósforo se utilizan en promedio 115 kg/ha en los cuatro cultivos, lo que representa una diferencia de 75 kg/ha respecto de la cantidad recomendada por Fertimex (40 kg/ha). En maíz, sorgo y trigo las unidades productivas grandes aplican más fósforo por hectárea y en cebada las unidades chicas. Por último, solo 18 agricultores aplicaron potasio y las cantidades oscilan entre 54 (maíz, cebada) y 96 kg/ha (sorgo).

Comparando con las recomendaciones de Fertimex se observa un sobreúso de fósforo y nitrógeno; para potasio no hay recomendación de esta fuente. Como las recomendaciones de Fertimex datan de 1987, se amplió el análisis con información más reciente de Sagarpa que se comparó con datos de la encuesta, obteniendo resultados similares: hay un sobreúso de nitrógeno y déficit de fósforo y potasio en la mayoría de los casos (cuadro 1).

Gráfica 2.Cantidad promedio utilizada de nitrógeno y fósforo (kg/ha), por cultivo y tamaño de productor



Fuente: Elaboración propia con datos de Fertimex, 1987.

Cuadro 1. Cantidad promedio de nutrientes para producir una tonelada de grano (kg/ton)

Cultivo	Nitrógeno (N)		Fósforo (P_2O_5)		Potasio (K_2O)	
	Sagarpa	DR011	Sagarpa	DR011	Sagarpa	DR011
Maíz	23.8	34.6	10.2	13.6	23.8	5.3
Sorgo	29.8	35.2	10.5	8.4	30.0	0.9
Trigo	34.6	45.2	11.2	17.4	38.3	10.3
Cebada	31.3	52.7	11.5	19.5	31.3	11.1

Fuente: Elaboración propia con datos de Sagarpa [1999] y de la base de datos del proyecto de investigación PAPIIT 35107: "Política ambiental, agricultura y contaminación del agua", México, 2011.

En el DR011 los fertilizantes se aplican de manera incorrecta, no se consideran las condiciones del suelo y se desconocen las cantidades recomendadas. Por ejemplo, el amoniaco debe inyectarse al suelo, pero al carecer de la tecnología necesaria, los agricultores lo "vuelan" sobre el suelo en grandes cantidades para que al menos una parte quede en la planta; 50% se "perderá" en el ambiente. Esta práctica produce que la tierra se compacte y seque.[12]

Sobreúso de fertilizantes

Para determinar el sobreúso de fertilizantes, se calcularon las razones de uso (cantidad empleada/cantidad recomendada) por cultivo y tamaño de unidad para cada macronutriente, a partir de las recomendaciones de la Sagarpa (kg de nutriente por tonelada producida o esperada) (cuadro 2).

[12] Información proporcionada por Norberto Contreras, jefe de canaleros en el Módulo de Riego Cortazar, Guanajuato. Entrevista en el marco del proyecto de investigación PAPITT 35107: "Política ambiental, agricultura y contaminación del agua", Guanajuato, octubre 11 de 2011.

Cuadro 2. Razones de uso por cultivo, tamaño de productor y macronutriente

Nitrógeno (N)				
Cultivo	Maíz	Sorgo	Cebada	Trigo
Promedio total	1.45	1.22	1.68	1.33
Desv. est.	0.76	0.75	0.67	0.63
Chico	1.58	1.37	1.39	1.26
Mediano	1.34	1.11	1.71	1.38
Grande	1.61	0.91	2.05	1.48
Fósforo (P_2O_5)				
Cultivo	Maíz	Sorgo	Cebada	Trigo
Promedio total	1.34	1.23	1.70	1.56
Desv. est.	1.05	0.61	0.87	1.11
Chico	1.64	1.04	1.71	1.32
Mediano	0.88	1.47	1.63	1.48
Grande	0.67	1.35	1.87	2.41
Potasio (K_2O)				
Cultivo	Maíz	Sorgo	Cebada	Trigo
Promedio total	0.22	0.33	0.36	0.27
Desv. est.	0.18	0.38	0.35	0.06
Chico	n.a.	1.00	n.a	0.31
Mediano	0.28	0.13	0.16	n.a
Grande	0.14	0.17	0.67	0.22

*Nota: las razones de uso se pueden interpretar como las veces que la cantidad empleada excedió a la cantidad recomendada de fertilizante.

Fuente: Elaboración propia con datos de la base de datos del proyecto de investigación PAPIIT 35107: "Política ambiental, agricultura y contaminación del agua", México, 2011.

Los resultados indican que el mayor sobreúso de nitrógeno y fósforo se da en la cebada. En los cuatro cultivos las unidades grandes son las que más sobreusan nitrógeno y fósforo por tonelada producida, en especial en trigo, cebada y nitrógeno en maíz. En todos los cultivos y los tres grupos de tamaño de unidad existe sobreúso de nitrógeno y fósforo, con excepción de los productores grandes de sorgo y maíz que usan cantidades menores a las recomendadas.

Los suelos del DR011 son ricos en potasio, por lo que en todos los cultivos se usó entre 60 y 70% menos K_2O de lo recomendado. Los productores chicos de cebada y medianos de trigo no aplicaron K_2O.

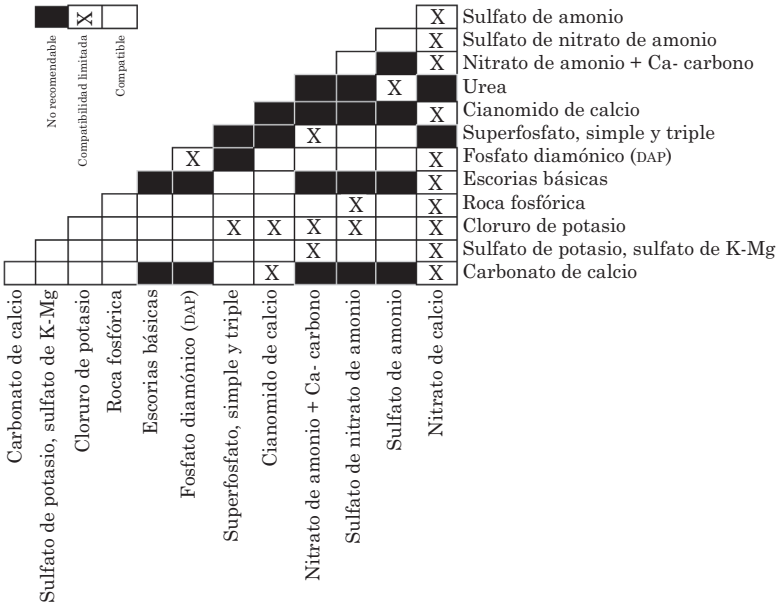
En el DR011 los agricultores aplican fertilizantes de acuerdo con las recomendaciones de los proveedores, y se acostumbra aplicar una cantidad mayor a la recomendada con la expectativa de obtener mejores rendimientos.

Combinación de fertilizantes

Otro aspecto del uso de fertilizantes que permite evaluar las prácticas agrícolas es el tipo de combinaciones realizadas, ya que no todos los fertilizantes pueden ser mezclados. Los fertilizantes que se mezclan deben ser compatibles *químicamente* y *físicamente* para evitar el apelmazamiento debido a la creciente higroscopicidad[13] o la pérdida de amoniaco. Los fertilizantes fosfatados solubles en agua (superfosfatos simples y triples, nitrofosfatos y fosfatos amónicos) no deberían mezclarse con fertilizantes que contienen calcio (por ejemplo: nitrato de cal), dado que el calcio revertirá de manera insoluble el fosfato soluble en agua. Las mezclas de urea y de superfosfatos o de fosfatos amónicos y superfosfatos deberían ser evitadas. Para prevenir un aumento en la higroscopicidad, como regla general las mezclas o combinaciones deberían siempre ser esparcidas tan pronto como sea posible después de prepararlas [FAO e IFA, 2001].

[13] Higroscopicidad es la capacidad que tiene un fertilizante para absorber el agua de la humedad ambiental y se expresa en porcentaje. La hidroscopicidad es una propiedad negativa en los fertilizantes ya que produce alteraciones o aglomerados, las partículas absorben el agua disolviéndose y una vez seca la solución, se unen entre sí [Salgado *et al*., 2010].

Gráfica 3. Mezclas de fertilizantes y compatibilidad



Fuente: Salgado *et al.,* 2010.

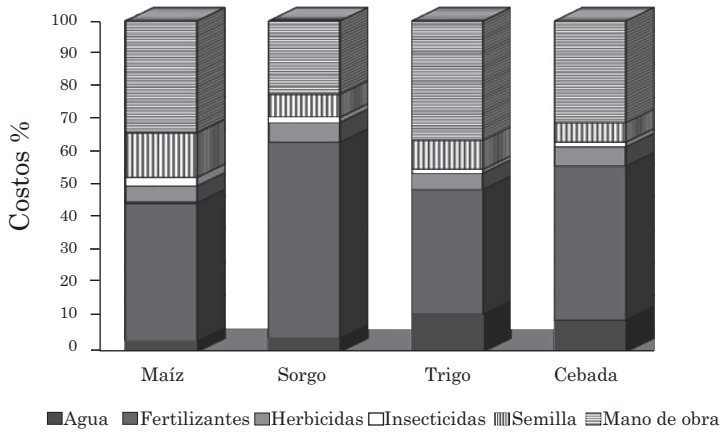
Los fertilizantes compatibles *físicamente,* deben tener gránulos de tamaño y densidad similares para prevenir la segregación durante el manipuleo, almacenamiento y esparcimiento [FAO e IFA, 2001]. Las combinaciones de fertilizantes incompatibles más comunes encontradas en el DR011 en los cuatro cultivos (gráfica 3), fueron: amoniaco y urea; amoniaco, superfosfato simple o triple y urea; sulfato de amonio, DAP y urea; amoniaco, DAP, sulfato de amonio, urea y superfosfato triple. Las combinaciones compatibles más utilizadas fueron: DAP y urea; DAP y sulfato de amonio; DAP y cloruro de potasio.

En términos generales, los resultados mostraron que los agricultores utilizan combinaciones correctas con mayor frecuencia; las combinaciones limitadas y no recomendables resultaron con frecuencias menos similares.

Análisis de costos de fertilizantes en el DR011

Los fertilizantes representan un costo importante; en el DR011, los fertilizantes representaron en promedio 46% de los costos totales de producción por hectárea en los cuatro cultivos estudiados (gráfica 4).

Gráfica 4. Participación porcentual de los insumos en los costos totales de producción, DR011



Fuente: Elaboración propia con datos de Proyecto PAPIIT-UNAM IN305107.

Los fertilizantes presentaron un incremento de 140% en su costo entre los dos ciclos agrícolas estudiados, debido al incremento de los precios del petróleo en el mercado internacional, que afectó el precio de los insumos importados (cuadro 3). Los precios de los fertilizantes en el mercado internacional se incrementaron a principios de 2007, la expansión de la demanda y el incremento en los costos de producción en la industria de fertilizantes fueron los principales factores que influyeron [FIRA, 2009].[14] En Guanajuato,

[14] "El alza en los precios de las *commodities* (bienes) agrícolas, que comenzó a registrarse desde 2007, se transfirió al mercado de los fertilizantes mediante una demanda mayor en relación con los dos años

según información de la Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM) de la Secretaría de Economía, de agosto 2007 a mayo 2008 los precios de la urea, el nitrato de amonio y el cloruro de potasio se incrementaron en cerca de 150%.[15] Sin embargo, la cantidad de fertilizante utilizada en el periodo estudiado no se redujo, tal vez porque los agricultores del DR011 destinan una parte considerable del monto recibido por medio de PROCAMPO a la compra de fertilizantes y agroquímicos.[16]

Los costos promedio de fertilización por hectárea oscilan entre 3 966 y 6 753 pesos. El mayor costo del fertilizante fue en sorgo, a pesar de que la cantidad usada es menor; en contraste, trigo y cebada los costos son menores

---

anteriores. Lo anterior, como resultado de la necesidad de mayor uso de fertilizantes para incrementar la productividad agrícola y la producción de alimentos. [...] Los altos precios del petróleo contribuyeron al incremento de los precios de los fertilizantes nitrogenados, ya que el gas natural es un componente clave para su producción [...] A lo anterior se sumó el incremento en los costos de los energéticos y en las cuotas de transportación [...] Así, el fosfato diamónico (DAP) y la urea alcanzaron precios máximos históricos de 1 189 y 627 dólares por tonelada, respec-tivamente, durante los meses de julio y agosto. Esto representó incrementos anuales de 170.6 y 139.0%. En el caso de la urea, durante los dos últimos años, ha mantenido una fuerte alineación con los precios internacionales del petróleo" [FIRA, 2009].

[15] Durante 2007 "[...] el comparativo de los costos de fertilización por tonelada de maíz en México muestra que estos, además de ser crecientes, son superiores al costo promedio en Estados Unidos, desde 14.4% en Tamaulipas, hasta 103.0 y 148.8% en Guanajuato y Jalisco, respectivamente" [FIRA, 2009].

[16] Las compras de fertilizantes al exterior durante 2007 alcanzaron un nivel récord de 3.2 millones de toneladas, 4.5% más que el volumen importado en 2006. Estas tuvieron como origen principalmente a Estados Unidos, China, Rusia y Ucrania, países que destacan en los mercados internacionales en los cuales se ubican las principales empresas fabricantes de nutrientes. [...] De acuerdo con algunas estimaciones, los altos precios de los fertilizantes empezaron a afectar los niveles de producción de los cultivos agrícolas desde mediados de 2008. Lo anterior, debido a que los productores optaron por reducir la compra de fertilizantes y reducir las dosis de aplicación, ante la expectativa de no poder reflejar su costo en el precio de sus productos [FIRA, 2009].

y las cantidades usadas mayores; esto no se debe a la eficiencia en su uso, sino probablemente a que los agricultores con grandes extensiones de tierra obtienen precios preferenciales al comprar al mayoreo.

Cuadro 3. Costo de fertilizantes en el DR011
(pesos/ha y pesos/ton producida)

Concepto	Ciclo OI 2007/2008		Ciclo PV 2007/2008	
	Trigo	Cebaba	Maíz	Sorgo
Promedio	4 411.04	4 668.09	6 352.04	6 452.44
Desv. est.	1 745.75	1 646.31	2 296.22	2 489.78
Chico	3 966.27	4 162.11	6 323.81	6 752.93
Mediano	4 618.74	4 653.41	6 594.94	6 161.20
Grande	5 376.08	5 889.98	6 083.65	5 908.11
Costos ($/ton)				
	Trigo	Cebaba	Maíz	Sorgo
Promedio	679.23	787.46	677.00	790.44
Desv. est.	279.05	317.41	417.22	392.48
Chico	604.68	669.10	704.37	852.77
Mediano	718.51	789.04	674.60	733.08
Grande	824.76	1 066.36	582.70	671.39

Fuente: Elaboración propia con datos de PAPIIT 305107.

En la productividad agrícola influyen la aplicación de fertilizantes, el paquete tecnológico, las condiciones ambientales de cada unidad productiva, y la eficiencia de producción, medida en pesos por tonelada producida. En el cuadro 3, el costo del fertilizante por tonelada producida indica la productividad en el uso del insumo; el maíz es el cultivo con mayor eficiencia de producción, pues pese a los elevados precios del ciclo primavera-verano 2008, tiene los menores costos por tonelada producida, con un rendimiento

promedio de 9.85 toneladas por hectárea. Al interior de los grupos las unidades productivas grandes fueron las más eficientes con un costo por tonelada de 582.70 pesos, y un rendimiento de 11.52 ton/ha.

Conclusiones

La cantidad de fertilizante que se aplica se determina por la cantidad de nutrientes necesarios y los tipos y grados de fertilizantes disponibles. Los resultados de la investigación indican que los agricultores del DR011 carecen de la información sobre la cantidad de nutrientes necesarios para sus cultivos y tierras, y no cuentan con la asesoría técnica que les proporcione tal información, excepto la que obtienen de las casas comerciales en las que adquieren los productos, que se limita a los tipos y grados de los fertilizantes. Las prácticas de fertilización en el DR011 se llevan a cabo sin considerar las condiciones del suelo, basadas en conocimiento producto de la experiencia de los agricultores y con información limitada que proporcionan los proveedores de los productos agroquímicos. Una costumbre generalizada es aplicar cantidades mayores a las recomendadas, con la expectativa de obtener mejores rendimientos, algunas veces porque carecen de la tecnología necesaria para la aplicación correcta de algunos fertilizantes (caso del amoniaco inyectado al suelo).

Los agricultores del DR011 aplican de manera inadecuada y en cantidades excesivas fertilizantes nitrogenados y fosfatados, caso contrario al potasio, que naturalmente se encuentra en abundancia en los suelos del Distrito. Los resultados de la investigación muestran que existe un sobreúso generalizado de nitrógeno, que oscila entre 11 y 71% respecto de la cantidad recomendada; este exceso se presenta en mayor medida en el ciclo otoño-invierno, particularmente en las unidades productivas grandes. Los fertilizantes nitrogenados mayormente empleados fueron los más comunes en el mercado: amoniaco, DAP y urea.

El sobreúso de fósforo se presenta principalmente en trigo y cebada en especial en las unidades de producción grandes y oscila entre 4 y 141% respecto de la cantidad recomendada. Los fertilizantes fosfatados más utilizados son: DAP que contiene 46% de fósforo y los superfosfatos simple y triple.

Las prácticas inadecuadas de uso de fertilizantes nitrogenados y fosfatados elevan la probabilidad de que el suelo y agua estén contaminados por nitratos y otros nutrientes. A largo plazo, esto se reflejará en un efecto perverso en la calidad de la agricultura, de los acuíferos y del agua de consumo doméstico: los contaminantes que se acumulan en el suelo disminuyen la productividad de los cultivos, lo que pone en riesgo las estrategias que persigue una agricultura sostenible. Al reducirse la productividad, los agricultores recurren a más fertilizantes y plaguicidas, lo que a su vez aumenta la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas por nitratos procedentes del fertilizante. Y cuando la contaminación ha sido continua, la recuperación del acuífero resulta imposible o sumamente costosa, aun cuando se detenga durante algunos años, el nivel de la contaminación de las aguas seguirá incrementándose.

El uso de fertilizantes eleva la productividad del cultivo, pero el exceso en su aplicación no siempre se refleja en una mejoría proporcional al incremento de la cantidad empleada, deviniendo solo en un incremento de los costos de producción. En consecuencia, la aplicación excesiva del insumo genera pérdidas económicas y daños a la salud humana y al ambiente. Los resultados indican que la producción de maíz fue la más eficiente de los cereales estudiados al presentar el menor sobreúso de fertilizante y los menores costos por tonelada producida.

El uso de fertilizantes es de gran importancia para el desarrollo de la agricultura intensiva. Los cambios en las condiciones sociales, económicas y técnicas, así como las condiciones actuales de sobreexplotación de los recursos hídricos, degradación del suelo y contaminación del aire

en la zona de estudio, forzarán a los agricultores a cambiar sus prácticas, y será recomendable que se capaciten para enfrentar nuevas situaciones y diferentes problemas.

Bibliografía

Ávila, José Antonio [2001], "El mercado de los fertilizantes en México. Situación actual y perspectivas", *Problemas del Desarrollo*, México, Instituto de Investigaciones Económicas-UNAM, 32 (127), pp. 189-207.

Chamba Herrera, Leonardo [2000], *Glosario de términos útiles en nutrición y fertilización* (*online text*), México, Instituto del Fósforo y la Potasa, <http://www.reboreda.es/Documentos/dicionario%20de%20la%20fertilizacion.pdf>, 14 de Junio de 2009.

FAO [1984], "Uso óptimo de los fertilizantes para los cereales", *Boletín de Fertilizantes*, Roma, Italia, Organizaciónd de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 3, p. 32.

FAO e IFA [2001] *Los fertilizantes y su uso. Una guía de bolsillo para los oficiales de extensión* (*online text*), Roma, Italia, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuso.pdf>, julio 2009.

Fertimex [1987], *Guía nacional de fertilización y combate de plagas*, México, Fertimex, p. 322.

FIRA [2009], *El mercado de los fertilizantes en México: situación actual y perspectivas 2009. Notas de análisis*, México, Dirección General Adjunta de Inteligencia Sectorial-fideicomisos instituidos en relación con la agricultura, p. 25.

González Huiman, Fernando S. [2011], "Contaminación por fertilizantes: un serio problema ambiental", Perú, <http://fgonzalesh.blogspot.com/2011/01/contaminacion–por–fertilizantes–un.html>, acceso 19 de febrero.

González Murua, Carmen; Estavillo Aurre, José Mª.; González Moro, Mª. Begoña; González García, Azucena; Pinto Tobalina, Miriam; Merino Pereda, Mª. Pilar y Aizpurua Insausti, Ana [2008], "Fertilización nitrogenada y sostenibilidad: contaminación ambiental frente a producción y calidad", Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario (ed.), Encuentros Sectoriales Universidad-Empresa de EHU, Euskadi, España, Euskal Herriko Unibertsitatea, Neiker-Tecnalia.

Grageda-Cabrera, O.A.; Esparza-García, F. y Peña-Cabriales, J. J. [2000a], "Environmental impact of nitrogen fertilizers in the 'Bajío' region of Guanajuato State, Mexico", G. Sánchez y E. Olguín (ed.), *Environmental biotechnology and cleaner bioprocesses,* Londres, Reino Unido: Taylor y Francis), pp. 45-54.

Grageda-Cabrera, O.A.; Esparza-García, F.; Zapata, F. y Peña-Cabriales, J.J. [2000b], "Influence of sorghum crop residue management on the recovery of 15N labelled fertilizer by wheat in Mexico", *Journal of sustainable agriculture,* 16 (3), pp. 75-91.

IPNI [2009], "Principales fertilizantes y concentración", México, International Plant Nutrition Institute, <http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/5A8E976F711F943806256B8400636B23/$file/PRINCIPALES+PRODUCTOS+FERTILIZANTES+COMERCIALES+Y+SU+CONCENTRACION+DE+NUTRIENTES.pdf>, acceso 7 de febrero.

Núñez, Roberto [1973], "Uso de los fertilizantes y la contaminación del medio ambiente", *Reunión Nacional sobre Problemas de Contaminación Ambiental*, México, D.F., Secretaría de Salubridad y Asistencia,

Peña Cabriales, J. J.; Grajeda Cabrera, O. A. y Vera Núñez, J. A. [2001], "Manejo de los fertilizantes nitrogenados en Mexico: uso de las tecnicas isotópicas (15N)", *Terra Latinoamericana*, México, Universidad Autónoma Chapingo, 20 (002), pp. 51-56.

Sagarpa [1999], *Uso de fertilizantes* (*online text*), México, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Uso%20de%20Fertilizantes.pdf>.

Sagarpa [2000], *Abonos orgánicos* (*online text)*, México, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20organicos.pdf>, 10 de enero de 2012.

Salgado, Sergio; Palma López, David J.; Lagunes Espinoza, Luz del C. y Núñez Escobar, Roberto [2010], *Manejo de fertilizantes químico s y orgánicos*, Tabasco, Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del Trópico Húmedo de Tabasco, Colegio de Posgraduados, Mundi Prensa.

Scott, Sue [2005], "Environmental Economics. Fertilizer Taxes-Implementation Issues. Final Report", Environmental Protection Agency (ed.), *Ireland*: 50.

Shakhashiri Bassam, Z. [2011], "Agricultural Fertilizers: Nitrogen, Potassium, and Phosphorus", *Chemistry, Science is fun*, 103 (1), <http://scifun.chem.wisc.edu/chemweek/pdf/Agricultural_Fertilizers.pdf>, acceso Agosto.

Wichmann, W. [1992], *World Fertilizer Use Manual* (*online text)*, Alemania, BASF, <http://www.fertilizer.org/ifa/HomePage/LIBRARY/Our–selection2/World–Fertilizer–Use–Manual>.

Yepis Vargas, Olga; Fundora Herrera, Onelio; Pereira Marin, Carlos y Crespo Borges, Tomás [1999], "La contaminacion ambiental por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en el cultivo del tomate", *Revista Scientia, Gerundensis*, 24, pp. 5-12.

Sustentabilidad de las prácticas agrícolas

*Consuelo González Rodríguez**

La contaminación del agua en la agricultura debido al uso de fertilizantes y agroquímicos, es producto de prácticas agrícolas no sustentables pero dominantes en el DR011. La NTA 005/2007 que norma el manejo de esquilmos en Guanajuato, recomienda 10 prácticas sustentables. En este capítulo se analizan cinco de ellas: 1. Manejo de suelo. 2. Labranza de conservación. 3. Rotación de cultivos. 4. Manejo de plagas y malezas y, 5. Manejo de esquilmos, de las que se reportan los resultados obtenidos en la investigación de campo realizada en este Distrito, durante 2008, 2009 y 2010.[1] Se

*Profesora en la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Economía, UNAM. Docente e investigadora en temas sobre Desarrollo Sustentable, Sustentabilidad Integral, comunidades y vivienda sustentables. Trabaja con asociaciones en proyectos de agricultura biodinámica y tratamiento de residuos sólidos en Morelos. Ha desarrollado un espacio didáctico de "casa sustentable" en Jiutepec, Morelos, con el propósito de mostrar ecotecnias económica y ambientalmente sustentables. Contacto: (52) (55) 56221888, ext. 48927, e-mail: <cgr@unam.mx>.

[1] Los datos referentes a esta investigación se pueden consultar en la introducción de este libro.

concluye que la gestión de esta norma está orientada hacia la eliminación de la quema de esquilmos y que un avance real en la sustentabilidad de las prácticas requiere una instancia especializada, que mediante una visión integral, coordine la transición, que va mucho más allá de la mera mecanización que ahora se apoya para la labranza de conservación.

Sustentabilidad

El uso de fertilizantes y plaguicidas fue, en su momento, una de las prácticas agrícolas que permitió el incremento en el rendimiento de cultivos y, por ende, el abasto de alimentos al mundo entero. No obstante, tras décadas de utilización y sobreutilización de estos productos hay muestras evidentes de la contaminación que causan a los seres humanos, a los alimentos, al agua, el suelo y, en general, a los ecosistemas [Pinheiro, 2002]. En esta investigación, que nos ha permitido acercarnos a agricultores, funcionarios encargados de la agricultura y a autoridades responsables de garantizar la calidad del agua, hemos constatado la poca conciencia que se tiene de este grave problema (véase el capítulo 4 de este trabajo). Parece ser que el aspecto prioritario, es el rendimiento/productividad de la tierra a cualquier costo, y ese costo, es, entre otros, la contaminación del agua y el empobrecimiento de la tierra, misma que, en esas condiciones, solo produce con la aplicación de agroquímicos.

La sustentabilidad pretende garantizar la capacidad productiva a largo plazo, al conservar los recursos naturales y ambientales [Field y Field, 2003]. En un sentido amplio, la sustentabilidad se relaciona con la habilidad de los sistemas (ecológico, económico o social) para seguir funcionando sin disminuir o agotar de manera irreversible los recursos fundamentales disponibles [Jiménez Herrero, 2001]. Aun cuando el Desarrollo Sustentable, desde sus inicios, contempla una visión integral de los recursos hídricos

a fin de garantizar su calidad y disponibilidad sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales [Cazorla-Clarisó, 2003; Semarnat, 2004], las prácticas agrícolas en el DR011 todavía se basan en el monocultivo, en la aplicación excesiva de fertilizantes, herbicidas y plaguicidas, en la quema de esquilmos, el manejo ineficiente de los envases de los agroquímicos y en el despilfarro en el uso del agua, todas ellas prácticas que ponen en riesgo la integridad y sustentabilidad de los ecosistemas.

Como se expuso en el capítulo 6, la contaminación del agua por descargas no puntuales de la agricultura no está regulada, así como tampoco lo está la aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas. Lo más cercano a las prácticas sustentables que encontramos está contenido en la norma técnica ambiental NTA-IEE-005/2007 [Gobierno del estado de Guanajuato, 2008]. Esta norma, emitida en agosto de 2008, en concordancia con lo dispuesto en la Ley para la Protección y Preservación del Ambiente del estado de Guanajuato (LPPAG),[2] tiene como objetivo promover la reducción de la generación de residuos y fortalecer la gestión integral de los residuos de manejo especial, como son considerados los esquilmos agrícolas.

Desde una visión integral de los recursos hídricos, y con el afán de identificar algunas políticas públicas que aunque no directamente, pero sí de manera colateral pudieran evitar la contaminación del agua, hemos considerado analizar con mayor detenimiento las 10 "disposiciones generales" que la NTA-005 considera "prácticas inocuas y de manejo sustentable". Para el análisis de esta norma y el reporte de los resultados del trabajo de investigación, agruparemos las 10 en cinco prácticas sustentables: 1. Manejo

[2] En el artículo 104 de esta Ley, se contempla la "preservación y el aprovechamiento sustentables del suelo, evitando prácticas que lo deterioren y, en su caso, promover su rehabilitación" ["Ley para la Protección y Preservación del Ambiente del estado de Guanajuato," 2000].

de suelo. 2. Labranza de conservación. 3. Rotación de cultivos. 4. Manejo de plagas y malezas y, 5. Manejo de esquilmos.

Manejo del suelo

La NTA-005 recomienda proteger y mejorar la estructura del suelo, la actividad biológica y la fertilidad, manteniendo niveles adecuados de humus y de actividad biológica, para ello, propone el uso de residuos orgánicos como estiércol y restos vegetales. Mientras que dicha norma establece que con 1 o 2% de humus es suficiente para considerar a un suelo como fértil, en el Bajío, es difícil encontrar suelos con más de 1% de materia orgánica [Asosid, 2006a: 21]. Estos suelos podrían aprovechar todos los desechos orgánicos provenientes de los esquilmos y transformarlos en compostas ricas en nutrientes para revitalizar la tierra. Compostas bien hechas pueden sustituir completamente el uso de abonos químicos costosos y perjudiciales para el medio ambiente [Masson, 2009]. No obstante todos los beneficios de esta práctica, solo 9.24% de los productores dijo utilizar la composta en su parcela (anexo 2, cuadro 18).

La NTA 005 recomienda también la producción de humus con lombricomposta. Mediante esta práctica se eliminan los esquilmos debido a que la lombriz ingiere grandes cantidades de material celulósico, y en poco tiempo se tiene un sustrato rico en nutrientes y con una gran actividad microbiana. Ninguno de los productores entrevistados mencionó tener conocimiento sobre esta práctica agrícola. Quien sí tenía experiencia en este tipo de alternativas fue el gerente del módulo de Cortazar, quien en 2007 participó en la aplicación de micorrizas y biofertilizantes producidos a partir del humus de lombrices en parcelas demostrativas y bajo la asesoría de un agrónomo cubano. Durante el ciclo primavera-verano de 2006 se lograron rendimientos iguales a los alcanzados mediante las prácticas agrícolas dominantes en el Bajío, pero con una reducción de entre 60 y 70% de los costos. Sin embargo, para el ciclo otoño-invierno del

mismo año, cuando la asesoría cubana se interrumpió, los avances logrados no pudieron sostenerse por falta de conocimiento y de un interés real en estas prácticas.[3]

Dejar descansar la tierra es otra de las prácticas sustentables que permiten la regeneración del suelo, sin embargo, por la investigación realizada, sabemos que apenas 3.97% de las tierras cultivadas se dejó en descanso en el ciclo primavera-verano (anexo 2, cuadro 20). El argumento esgrimido por los productores es que no se pueden dar el lujo de dejar descansar ni una pequeña parte de su parcela porque no se cubren los gastos.

Labranza de conservación[4]

En el estado de Guanajuato se promueve la siembra directa y la labranza mínima como medidas para restaurar los suelos y, sobre todo, para evitar la quema de rastrojos. La labranza de conservación es definida por la NTA 005 como un sistema que propicia la sustentabilidad de los recursos, mediante la adición de los esquilmos y la mínima utilización de maquinaria. Entre sus beneficios se mencionan los siguientes:

[3] Información proporcionada por el licenciado Ramiro Medina, gerente del Módulo de Riego Cortazar, en entrevista con integrantes del proyecto de investigación PAPITT 35107: "Política ambiental, agricultura y contaminación del agua", Guanajuato, agosto, 2008.

[4] La NTA 005 toma el término utilizado en Estados Unidos para identificar prácticas en las que se incorpora 100% de los rastrojos. En Argentina se conoce como "siembra directa", término adoptado por Asosid. Aunque en México no necesariamente se incorpora 100% de los esquilmos, utilizaremos ambos términos indistintamente. Otra práctica que se utiliza es la "labranza cero" en la que se permite la quema de esquilmos. En la labranza mínima se incorporan rastrojos con mínimo laboreo, y en la labranza tradicional se acostumbra quemar el rastrojo de la cosecha anterior.

1. Protege el suelo de la erosión causada por la lluvia y el viento.
2. Incrementa la cantidad de microorganismos.
3. Mejora la estructura y la porosidad.
4. Evita la compactación de la capa arable.
5. Aumenta la capacidad de infiltración y retención de humedad.
6. Mejora la fertilidad y reduce la necesidad de aplicar fertilizantes químicos.
7. Disminuye la presencia de malezas y la aplicación de herbicidas.
8. Reduce los costos de producción.

La labranza de conservación es un sistema que ha permitido elevar la productividad, el ahorro de agua y el mejoramiento de los suelos agrícolas desde hace más de 30 años.[5] Supone un manejo sustentable del suelo y la reducción de fertilizantes y agroquímicos, no su eliminación. Aunque en su definición se establece la mínima utilización de maquinaria, la labranza de conservación en realidad requiere un grado de mecanización especial, basado en la innovación tecnológica. Hay dos tipos de sembradoras: *grano grueso*: maíz y sorgo y *grano fino*: trigo y cebada. Estas sembradoras deben cumplir más funciones que las

[5] Las instituciones que participan en su promoción son: la Sociedad de Responsabilidad Limitada (S.R.L) de Interés Público (I.P.) de Capital Variable (C.V.), los módulos de riego del Distrito, especialmente el de Valle de Santiago; dos secretarías, una federal Sagarpa y la otra estatal SDA; dos fideicomisos: el Centro de Desarrollo Tecnológico de FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura) y Firco (Fideicomiso de Riesgo Compartido) y tres instituciones de investigación y capacitación: el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y Asosid (Agricultura Sostenible en base a Siembra Directa, A.C.) y la Procuraduría de Protección al Ambiente del estado de Guanajuato solo en lo que se refiere a la inspección y vigilancia de la quema de esquilmos, que en la NTA 005 está prohibida.

convencionales, ya que trabajan sobre una capa de rastrojos que no es ni pareja ni uniforme. Para su mayor optimización tienen monitores electrónicos, sistemas de fertilización independientes del sistema de siembra, discos cortadores tipo turbo, lisos, corrugados, de burbuja y ondulados, que se eligen de acuerdo con la cobertura del rastrojo y al tipo de suelo en el que se utilizan. Una sembradora de este tipo realiza las siguientes funciones: 1. Corte del rastrojo y preparación del surco en donde serán depositadas las semillas, 2. Depósito de las semillas dentro del surco a la profundidad, cantidad y separación deseadas, 3. Acondicionamiento de la semilla en el surco y tapado del surco por medio de las ruedas taponadoras y 4. Colocación del fertilizante a la profundidad y dosis requerida [Asosid, 2005a: 17]. Además de las sembradoras, este tipo de siembra requiere diversos implementos: multiarado, empacadora, desmenuzadora, aspersoras, fertilizadora y rastras.

Una de las prioridades de la siembra directa, sistema agrícola que parece ser la vía oficial de apoyo a las prácticas sustentables que contempla la NTA 005, es el apoyo a la mecanización, igual que como sucede en los programas oficiales para lograr el uso eficiente de los sistemas de riego agrícolas. En este sentido, los módulos reciben apoyo estatal y municipal para adquirir sus propias flotillas de maquinaria especializada para uso de los productores. Los mismos productores pueden acceder a los apoyos de Sagarpa y SDA en colaboración con la dispersora de crédito: Unión de Crédito S.A. de C.V. Con el propósito de crear escalas eficientes para el uso de maquinaria, Asosid promueve la Agrupación Regional de Innovación Agrícola (ARIA) en donde, entre otras cosas, los productores pueden adquirir maquinaria e implementos y compartirla [Asosid, 2006b]. Para sembradoras e implementos, la SDA otorga apoyo a los productores mediante la Dirección General de Proyectos Emergentes, en su componente de mecanización, 40% del costo (hasta 50 000 pesos) es subsidio de Sagarpa (75%) y SDA (25%) y el otro 60% lo paga el productor. Este

apoyo se inició en 1996 y en los últimos tres años se han otorgado los montos que pueden observarse en el cuadro 1.

Cuadro 1. Apoyos oficiales a los productores agrícolas para adquirir maquinaria e implementos

Año	Concepto	Número	Monto (pesos)
2008	Sembradoras	749	18, 844 690
	Multigrados	86	6 903 480
	Empacadoras	4	320 000
	Desmenuzadoras	8	80 000
	Aspersoras	5	48 600
	Total		26 196 770
2009	Sembradoras	621	16 969 550
	Multigrado	65	622 290
	Empacadoras	14	1 120 000
	Desmenuzadora	35	350 000
	Aspersoras	355	3 518 912
	Total		22 580 752
2010	Sembradoras	449	10 869 453
	Fertilizadoras	48	380 518
	Multigrados	90	834 821
	Empacadoras	24	1 920 000
	Desmenuzadoras	42	318 717
	Aspersoras	104	1 034 080
	Total		15 357 589

Fuente: Información proporcionada por el ingeniero Raúl Trujillo Ramiro Moreno, director general de Proyectos Emergentes, SDA Guanajuato, en entrevista en el marco del proyecto de investigación PAPIIT 35107: "Política ambiental, agricultura y contaminación del agua", Guanajuato, octubre, 2011.

Otro apoyo que se otorga a los productores para la labranza de conservación se da mediante el "Módulo de labranza" del Programa de Apoyo a la Inversión en Equipamiento e Infraestructura, de la Dirección General de Agricultura de la SDA. Este programa otorga un paquete especial de maquinaria agrícola especializada en labranza de conservación, consistente en un tractor y tres implementos: sem-

bradora, aspersora y multiarado. Se otorgan 130 000 pesos por paquete (coejercicio Sagarpa 70% y SDA 30%) que representa entre 20 y 30% del costo total y el resto lo paga el productor. Este programa está dirigido a población de alta y muy alta marginalidad, aunque también se apoya a media y baja marginalidad. En 2009 se otorgaron 26 apoyos, con un total de 3 380 000 pesos.[6] En total y hasta 2008, se había otorgado apoyo gubernamental para la adquisición de 4 000 sembradoras para siembra directa.[7]

La práctica de este tipo de sistema agrícola requiere conocimiento y una capacitación continua. Todas las actividades de capacitación las realiza el Centro de Desarrollo Tecnológico de Villa Diego, FIRA y Asosid creada en 2004, cuyo presidente es también presidente del Distrito de Riego y su operación se realiza con fondos estatales. Cuando el productor recibe apoyo del gobierno, se compromete a tomar un curso de capacitación con FIRA-Asosid;[8] hasta 2008 se había apoyado a 3 000 productores.

En siembra directa no se eliminan ni los fertilizantes, ni los agroquímicos, aunque sí se reducen las dosis requeridas porque se calculan de acuerdo con análisis químicos del suelo y se aplican en el momento oportuno, posicionando

[6] Información proporcionada por el ingeniero Valentín Duarte, encargado de la Módulo de Labranza en la Dirección General de Agricultura de la SDA Guanajuato, en entrevista con integrantes del proyecto de investigación PAPITT 35107: "Política ambiental, agricultura y contaminación del agua", Guanajuato, octubre de 2011.

[7] Información proporcionada por el ingeniero Hugo Escoto, gerente de ASOSID, en entrevista con integrantes del proyecto de investigación PAPITT 35107: "Política ambiental, agricultura y contaminación del agua", Guanajuato, agosto de 2008.

[8] Estos cursos han sido apoyados por la SDA, Dirección General de Capacitación de la Secretaría de Economía del Gobierno del estado de Guanajuato, CDT Villadiego, FIRA, DR011, Río Lerma, Guanajuato, S.R.L. de I.P. de C.V., Sembradoras del Bajío S.A. de C.V., Fábrica de maquinaria y herramienta, S.A. de C.V. (Famaq), Case New Holland de México S.A. de C.V., Equipos y Tractores del Bajío S.A. de C.V./John Deere, McCornick Tractores de México S. de R.L. de C.V.

al fertilizante donde tendrá un mejor aprovechamiento [Asosid, 2006c: 15]. Con respecto al agua de riego, se manejan ahorros de entre 20-40%[9] y con respecto a la disminución de los costos de producción, estos varían entre 1 000 y 2 000 pesos por hectárea [Asosid, 2006b].

En 2005 se tenían registradas 55 millones de hectáreas cultivadas en siembra directa: Estados Unidos 19.3; Brasil 19.2; Argentina 16.3; Canadá 4.1; Australia 1.0; Paraguay, 0.8 y México 0.3 aunque en realidad este último dato es solo una estimación [Asosid, 2005a]. Hasta septiembre de 2009 había 23 000 usuarios.[10] No obstante la promoción, capacitación y apoyo que se hace de este tipo de agricultura, según la investigación realizada, solo 27.65% de los productores practicaron la labranza de conservación y la labranza mínima en el ciclo primavera-verano 2008 y 29.82% en otoño-invierno 2007-2008 (anexo 2: cuadro 21 y cuadro 22).

Rotación de cultivos

El monocultivo que se practica en la agricultura moderna, agota la tierra y evita que se recupere con otro tipo de cultivos [Altieri, 2009]. En el DR011 se siembra, en el ciclo primavera-verano, maíz y sorgo y en otoño–invierno, trigo y cebada. Esto no es una rotación de cultivos, sino un monocultivo doble, ya que todos ellos son de la misma familia. La verdadera rotación consiste en sembrar cultivos de diferentes familias botánicas, para que vayan absorbiendo los

[9] Información proporcionada por el ingeniero Raymundo Rocha Sánchez, gerente de la S.R.L. de I.P. de C.V., en entrevista con integrantes del proyecto de investigación PAPITT 35107: "Política ambiental, agricultura y contaminación del agua", Guanajuato, 27 de septiembre de 2009.

[10] Entrevista realizada al ingeniero Raymundo Rocha Sánchez, gerente de la S.R.L. de I.P. de C.V. (Sociedad de Responsabilidad Limitada de Interés Público de Capital Variable), en el marco del proyecto de investigación PAPITT 35107: "Política ambiental, agricultura y contaminación del agua", Guanajuato, 27 de septiembre de 2009.

nutrimentos que cada uno de ellos requiere, sin agotar el suelo; al cambiar los cultivos, cambian también las plagas de insectos y malezas, facilitando su control con menor cantidad de herbicidas y plaguicidas y, por último, se respeta la baja disponibilidad de agua en la temporada de estiaje al incluir cultivos de bajo consumo de agua [Asosid, 2005a: 20]. La SRL maneja un programa de Reconversión de Cultivos, que contempla la siembra de alfalfa, avena, canola, cártamo, avena, ebo, garbanzo blanco y algunas variedades de trigo que requieren menores cantidades de agua. En nuestra investigación, no recabamos información al respecto.

Control biológico de plagas y malezas

Las plagas en la agricultura que se practica en el DR011 son consideradas como los grandes enemigos que se deben exterminar, sin embargo, al acabar con ellas, también se acaba con la vida de los microorganismos necesarios para que la tierra esté viva y realice todas sus funciones en el cultivo. Se controlan las plagas y malezas cuando se mantienen por debajo del nivel de daño económico, es decir, que el daño ocasionado es inferior al costo de implementar el control.

La aplicación de plaguicidas químicos es una práctica común para combatir las plagas de los cultivos por las múltiples ventajas que ofrece: resultados visibles a corto plazo, fácil disponibilidad en el mercado, precios relativamente económicos y fácil manejo. Sin embargo, los plaguicidas químicos tienen también muchas desventajas: ocasionan problemas colaterales, tales como el desarrollo de plagas resistentes, eliminación de los organismos benéficos y pérdida de la biodiversidad animal, incremento de los costos de producción, surgimiento de nuevas plagas, contaminación de suelos y agua, así como daños a la salud de los trabajadores del campo y de los consumidores de los productos agrícolas [Asosid, 2005b: 3].

En la investigación realizada, encontramos que hay muchas entidades y muy pocos programas dispersos, que no llegan a los productores con la suficiente información y claridad como para crear la conciencia necesaria para cambiar sus prácticas agrícolas habituales. La delegación de Sagarpa, mediante su programa de Sanidad Vegetal, norma y monitorea la estabilidad ecológica y el Comité Estatal de Sanidad Vegetal, (Cesaveg), organismo auxiliar, constituido como asociación civil, opera este programa. Cesaveg proporciona asesoría y supervisión al productor en cuanto a la aplicación de agroquímicos de acuerdo con las especificaciones emitidas por Sagarpa. Su política se basa en el Manejo Integrado de Plagas (MIP) que comprende: control químico selectivo, utilización de todos los métodos y tecnologías disponibles, manejo inteligente de plaguicidas, monitoreo y muestreo y niveles críticos de acción. Otro método que se está promoviendo es el manejo agroecológico de plagas (MAP) que sustituye el uso de plaguicidas por toda una gama de prácticas y estrategias que incluyen control cultural, físico y mecánico, biológico, genético, uso de productos alternativos y control no químico. El control biológico, eje del MAP, es el estudio y utilización de organismos parásitos y depredadores (entomófagos) y patógenos (entomopatógenos) para regular la población de una plaga, manteniéndola a niveles que no causen daño económico al cultivo [Asosid, 2005b: 4]. Cesaveg tiene un Laboratorio de organismos benéficos en donde reproduce enemigos naturales de las plagas.

El CDT Villa Diego, del FIRA, ofrece capacitación en el monitoreo y control de plagas. Este centro que tiene una experiencia de 35 años en la labranza de conservación, ofrece asesoría y capacitación, fomentando la reducción en la aplicación de insecticidas químicos y promueve el uso de bioinsecticidas. Si bien la labranza de conservación contempla el manejo agroecológico de plagas mediante la restauración de la biodiversidad funcional que reactive el control biológico y la utilización complementaria de diversas

herramientas alternativas, la investigación realizada mostró que solo 6.72% de los productores utilizan control biológico de las plagas (anexo 2: cuadro 19). Es evidente que las prácticas sustentables aún no se conocen, y mucho menos se aplican.

Con respecto al control de las malezas, en siembra directa se promueve el manejo integrado de malezas (MIM). Este enfoque incluye diversas modalidades de prevención y control, como el control químico (herbicidas), el control cultural (prácticas de manejo: rotación de cultivos, alternancia de herbicidas, espacios cortos entre hileras de cultivo) y en algunos cultivos se pueden utilizar también el control biológico, mediante la acción de enemigos naturales de las malezas (micoorganismos e insectos).

En siembra directa, los rastrojos actúan como barrera física e impiden la penetración de la luz al suelo, con ello las semillas de las malezas se mantienen en estado de letargo, evitando su geminación. En los sistemas tradicionales de siembra, al mover el suelo, las semillas que estaban en letargo bajo el suelo son removidas a la superficie y germinan con gran rapidez. En los cultivos tradicionales se utilizan implementos manuales, como son machetes y azadones y mecánicos para el control de maleza; en siembra directa esto no se puede realizar por la cobertura del rastrojo, por lo que el uso de herbicidas es imprescindible, por lo que el productor debe tener un profundo conocimiento del tipo de malezas, su grado de infestación, los tipos de herbicidas disponibles y los tiempos, formas y dosis apropiados para su control, requisitos que los productores no conocen, por lo que este tipo de alternativas resultan bastante inaccesibles, dada la costumbre de realizar prácticas que resuelvan los problemas rápidamente aunque pongan en riesgo sus cultivos [Asosid, 2006b]. Por otra parte, son los mismos técnicos que les venden los productos, quienes recomiendan qué, cuánto y cómo deben aplicarlos.

Manejo de esquilmos

El municipio de Salamanca y la ciudad de Salamanca, especialmente durante el invierno, son los lugares más contaminados del país. Buena parte de la contaminación del aire se debe a la quema de rastrojos, práctica común entre los agricultores. Ante esta situación y frente a los compromisos internacionales adoptados y estipulados en la NTA 005,[11] los gobiernos federal, estatal y municipal, emprendieron el "Programa de contingencias ambientales y atmosféricas del municipio de Salamanca". En este contexto, el sector agrícola se ha comprometido a eliminar la quema de esquilmos. Para los agricultores, la quema de rastrojos es una forma rápida y económica para el establecimiento del siguiente cultivo, sin embargo, al quemar el rastrojo, además de la contaminación del aire, el suelo pierde su capacidad productiva: queda desprovisto del acolchado natural que lo protege, lo que favorece la erosión por acción del aire y del agua; pierde gran cantidad de agua almacenada en el subsuelo por evaporación; y lo más grave es que al quemar el rastrojo, que es la principal fuente proveedora de materia orgánica del suelo, este pierde sus propiedades físicas (estructura); químicas (capacidad de intercambio catiónico) y biológicas (eliminación de la microfauna) [Asodid, 2005c].

Con el propósito de evitar la pérdida de productividad de los suelos y principalmente, de reducir la contaminación del aire, varias instituciones han desplegado diversos programas como la campaña: ¡NO QUEMES LA PATA…! en el que participan el Módulo de Riego Salamanca, Presidencia Municipal de Salamanca, Procuraduría de Protección al Ambiente del estado de Guanajuato, SDA, Sagarpa y

[11] Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), para la Disminución de la Emisión de Gases con Efecto Invernadero (GEI) y Convenio de Estocolmo–PNUMA que regula el tratamiento de sustancias tóxicas entre ellas los pesticidas.

Asodid. En el estudio realizado, encontramos que solo 5.69% de los productores reconoció haber quemado los esquilmos en el ciclo primavera-verano 2007 (anexo 2, cuadro 21) y 6.14% en el otoño-invierno 2007-2008 (anexo 2, cuadro 22); se trata de productores pequeños que carecen de maquinaria para hacer pacas y de capital para contratar mano de obra que lo haga; tampoco cuentan con la organización que les permita adquirir la maquinaria de manera colectiva. En las tres visitas que se hicieron al estado de Guanajuato (julio-diciembre de 2008, noviembre de 2009 y junio de 2010), se encontraron incendios agrícolas en Cortazar, Valle de Santiago y Celaya. Si se toma en cuenta que el DR011 tiene alrededor de 112 mil hectáreas, que la superficie total cultivada en el estado de Guanajuato es de poco más de un millón de hectáreas, que casi la mitad de esta superficie utiliza riego (en alta proporción con agua del subsuelo), y que en prácticamente toda su extensión se queman esquilmos, se puede entender que los alcances del programa son más que modestos [Pérez Espejo, 2011].

La Procuraduría Ambiental de Guanajuato, actúa por oficio y por denuncia, para lo cual realiza dos operativos al año de cinco semanas cada uno, con vigilancia en toda la zona, pero con prioridad en municipios importantes como Salamanca e Irapuato, y en los que se reportan más quemas: Cortazar, Valle de Santiago, Huanímaro, Pueblo Nuevo, Jaral del Progreso, y Villagrán. Los periodos de quemas van de mayo a junio y de noviembre a diciembre, y están regulados por las fechas en las que la Conagua permite liberar el agua para riego. De 2007 a 2009, se habían llevado a cabo 244 visitas de inspección en cerca de 700 hectáreas afectadas. Se vigila con mayor intensidad el ciclo primavera-verano, que es cuando hay mayor ocurrencia de quemas y se contrata personal adicional para esta tarea [Pérez Espejo, 2011].[12]

[12] Información proporcionada por el ingeniero en Biotecnología Ambiental, Miguel Ángel Torrijos Mendoza del PPAG, en entrevista en el

El impacto de cursos como el que ofrece el Cesaveg: "Efectos nocivos de la quema de esquilmos", se pierde cuando la quema de esquilmos agrícolas conlleva una sanción económica de 3 200 pesos por hectárea; aun cuando se logra convencer al productor para evitar la quema, muchas veces, este prefiere pagar la multa cuyo monto está en función del costo que representa la renta de maquinaria y la contratación de mano de obra para el empacado de esquilmos y de los costos asociados a su venta. Se pretende que la sanción por quema sea mayor al costo del empacado para estimular esta práctica [Pérez Espejo, 2011].[13]

En el combate a la contaminación del aire por la quema de esquilmos, el apoyo a la siembra directa es promovida como la opción más sustentable, ya que en lugar de quemar los rastrojos, estos se incorporan al suelo con las ventajas que ya hemos mencionado. Sin embargo, el estudio realizado en el DR011 reveló que solo 28% de los entrevistados incorporó, de alguna manera, el rastrojo al terreno de cultivo; 42% lo empacaba, vendía y/o regalaba, porque de manera inesperada en ese distrito de riego prácticamente nadie cría animales y 6% lo empacaba para la producción de champiñones y celulosa. Sólo 7% practicaba la labranza cero; este pequeño grupo de agricultores lleva a cabo prácticas agrícolas sustentables, no por cumplir con la NTA 005, que no conoce, salvo en lo referente a la quema de esquilmos, sino por preferencia personal y porque encuentra económicamente redituable hacerlo (anexo 2, cuadro 22) [Pérez Espejo, 2011].

En apariencia, las prácticas que recomienda la NTA 005 en cuanto a incorporar cuando menos 30% de los esquil-

marco del proyecto de investigación PAPITT 35107: "Política ambiental, agricultura y contaminación del agua", Guanajuato, noviembre 26, 2009.

[13] Información proporcionada por el ingeniero en Biotecnología Ambiental, Miguel Ángel Torrijos Mendoza del PPAG, en entrevista en el marco del proyecto de investigación PAPITT 35107: "Política ambiental, agricultura y contaminación del agua", Guanajuato, noviembre 26, 2009.

mos, no representan retos significativos de tipo técnico, sin embargo, hay prácticas profundamente arraigadas que son difíciles de modificar porque, entre otras razones, son "costo-efectivas". Por ejemplo, para poder cumplir con la primera práctica establecida en la NTA 005 sobre manejo de suelo, sería necesario dejar de aplicar plaguicidas, y nadie lo va a hacer mientras sean tan baratos, gracias al subsidio y a que no existe un programa de seguros que cubra las pérdidas por plagas. Lo que se pudo constatar en el trabajo de campo realizado en el DR011, es que la venta de las pacas no representaba ningún incentivo económico para el agricultor porque el precio de las pacas es muy bajo y no compensa el costo de su manejo; prefieren regalarlas con tal de que alguien empaque [Pérez Espejo, 2011].

Conclusiones

La aparente sencillez de las 10 prácticas sustentables que propone la NTA 005, confronta una gran resistencia por parte de los agricultores, principalmente de los pequeños y medianos, que constituyen la gran mayoría. Por una parte, la norma no ha tenido suficiente difusión y se desconocen las implicaciones que estas prácticas pueden tener en los cultivos y, con toda razón, los productores no están dispuestos a arriesgarse y perder sus cosechas; por otra parte, no hay una dependencia que coordine de manera integral el cambio profundo que implicaría transitar hacia una labranza de conservación.

Hasta ahora se ha apoyado de manera básica la mecanización de la siembra de este tipo de labranza, aunque no el empaque de esquilmos, y marginalmente la capacitación continua y asesoría técnica experta y suficiente para dar seguimiento a los productores que se aventuran al cambio hacia prácticas agrícolas sustentables. Las meras razones ambientales no influyen en productores, cuya percepción del problema ambiental es sesgada y consideran

que se trata de otras las actividades que tienen un impacto negativo en el ambiente y no la agricultura. Si en realidad se quiere impulsar la sustentabilidad de las prácticas agrícolas, tendrá que superarse esa visión parcial de las políticas que desarticula los impactos benéficos que pudieran tener prácticas como las que recomienda la NTA 005. La siembra directa o labranza de conservación involucra todo un sistema agrícola, que no necesariamente tiene su enfoque en la mecanización del campo [Fukuoka, 1978], sino que requiere una visión integral de la agricultura, una amplia promoción, capacitación y asesoría permanentes y coordinadas por una entidad encargada de promover esta y otras prácticas que pudieran irse instrumentando de manera gradual [Altieri, 2009; Masson, 2009]. Las disposiciones emitidas por el Instituto de Ecología del Estado en la NTA 005 y canalizadas a través de la SRL están básicamente orientadas hacia el control de la quema de esquilmos, por otro lado, los cargos en la SRL son de tipo político y los intereses de la directiva están más en otros asuntos que en la agricultura.

Por lo que hemos podido observar en la investigación, la quema de esquilmos se evita retirando 70% de estos, pero las otras prácticas sustentables quedan relegadas y sin ningún tipo de seguimiento por parte de alguna institución gubernamental. Remediar la contaminación del agua por fertilizantes y plaguicidas requiere una modificación en las prácticas agrícolas, de tal suerte que el rendimiento de la tierra se lleve a cabo mediante otras tecnologías, otros insumos, otra visión de lo que es la sustentabilidad, que en este caso, remite justamente a las propiedades que aporta la naturaleza mediante complejos procesos bioquímicos que involucran agua, tierra, sol, viento, y a toda la gama de microorganismos que aún ignoramos de qué manera contribuyen a la producción de alimentos limpios y nutritivos para el ser humano.

Bibliografía

Altieri, Miguel A. [2009], "Desiertos verdes: monocultivos y sus impactos sobre la biodiversidad", J. Jonsén y S. Monsalve M. S. Emanuelli (ed.), *Azúcar roja desiertos verdes,* Argentina, FIAN Internacional, FIAN Suecia e HIC-AL, SAL, 55-62 pp.

Asosid [2005a], *Revista de la Asosid*, Guanajuato, Agricultura Sostenible Basada en Siembra Directa A. C., (5).

_____ [2005b], *Revista de la Asosid*, Guanajuato, Agricultura Sostenible Basada en Siembra Directa A. C., (4).

_____ [2005c], *Revista de la Asosid*, Guanajuato, Agricultura Sostenible Basada en Siembra Directa A. C., (6).

_____ [2006a], *Revista de la Asosid*, Guanajuato, Agricultura Sostenible Basada en Siembra Directa A. C., (7).

_____ [2006b], *Revista de la Asosid*, Guanajuato, Agricultura Sostenible Basada en Siembra Directa A. C., (8).

_____ [2006c], *Revista de la Asosid*, Guanajuato, Agricultura Sostenible Basada en Siembra Directa A. C., (9).

Cazorla-Clarisó, Xavier [2003], "Conflictos en el manejo integrado de los recursos hídricos: la crisis de la gobernabilidad y los usuarios del agua", *especial: Política del agua,* Sociedad Nueva, 51, 35-51, <http://bibliotecaverde.wikieco.org/wp–content/plugins/downloads–manager/upload/Conflicto%20en%20el%20manejo%20integrado%20de%20los%20recursos%20h%C3%ADdricos.PDF>.

Field, Barry y Field, Martha K. [2003], *Economía ambiental*, Madrid, España, McGraw-Hill, p. 556.

Fukuoka, Masanobu [1978] *La revolución de una brizna de paja* (*online text*), Rodale press, <http://www.quelcom.net/archivo/libros/Fukuoka–Rev–BriznaPaja.pdf>, 17 de mayo de 2010.

Gobierno del estado de Guanajuato [2008], "Decreto gubernativo No. 79/Norma Técnica Ambiental NTA-IEE-005/2007 que establece las especificaciones para la gestión integral de los residuos agrícolas (esquilmos), así como

para la prevención y control de la contaminación generada por su manejo inadecuado", *Periodico Oficial del Gobierno del estado de Guanajuato,* Guanajuato, Guanajuato, CXLVI (133).

Jiménez Herrero, Luis [2001], *Desarrollo sostenible y economía ecológica*, Madrid, España, Síntesis, p. 218.

Ley para la protección y preservación del ambiente del estado de Guanajuato, [2000], *Periódico Oficial del Gobierno del estado de Guanajuato,* Guanajuato, Gto., CXXXVIII (11), p. 65.

Masson, Pierre [2009], *Biodinámica: guía práctica para uso de agricultores aficionados*, Navarra, España, La Fertilidad de la Tierra.

Pérez Espejo, Rosario [2011], "La normatividad ambiental en el sector agrícola: análisis de dos ejemplos", coloquio: La regulación ambiental en examen, México, D.F., Colmex, 16-18 de febrero.

Pinheiro, Sebastiao [2002], *La historia de los venenos*, Cali, Colombia, Fundación Juquira Candiru, p. 66.

Semarnat [2004], "Decreto por el que se adiciona un párrafo segundo al Artículo Décimo Cuarto Transitorio del Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales", *Diario Oficial de la Federación*, México, Cámara de Diputados, 18.

PARTE IV

PROPUESTAS Y CONCLUSIONES

Propuestas de política agroambiental

Rosario Pérez Espejo, Andrea Santos Baca
y *Alonso Aguilar Ibarra*

En este capítulo se muestran los límites de los modelos teóricos de valoración de costos y beneficios del mejoramiento de la calidad del agua aplicables a la agricultura. Se revisan dos propuestas de política agroambiental (plaguicidas y tarifa eléctrica para bombeo agrícola) elaboradas por el Instituto Nacional de Ecología, y se comentan los resultados de una investigación sobre los impactos de la reducción del agua para riego en variables macroeconómicas. Se plantean seis propuestas de medidas voluntarias para reducir los problemas de sobreúso y uso inadecuado de insecticidas, herbicidas, fertilizantes y agua; asimismo, se presentan los resultados de un modelo de regresión para estimar el impacto de un impuesto al insecticida paratión metílico y se plantea el subsidio a la maquinaria agrícola (empacadoras) para cumplir con la Norma Técnica Ambiental 005 (NTA 005).

Introducción

Los principales problemas de contaminación agrícola del agua documentados en esta obra, a partir de la investi-

gación desarrollada en el DR011, son el sobreúso y uso inadecuado de insecticidas, herbicidas y fertilizantes, y el incumplimiento de la norma NTA 005 de Guanajuato. Los efectos negativos del sobreúso de insumos en el ambiente están estrechamente relacionados con el sobreúso de agua, que es el medio de transporte de los contaminantes a cuerpos de agua.

Las complejidades de la regulación ambiental en el sector agrícola examinadas en el capítulo 1 de este trabajo, no han impedido que algunos países establezcan medidas de tipo impositivo o regulatorio con el objetivo de mejorar la calidad de sus cuerpos de agua. Dinamarca y Noruega, por ejemplo, gravan el uso de fertilizantes.

La teoría ofrece algunos instrumentos de control de la contaminación del agua, pero la mayoría no son aplicables al sector agrícola. De manera sucinta, se comentarán estas propuestas teóricas y las limitaciones que se encuentran en la agricultura de riego mexicana para su aplicación.

Principios teóricos

El diseño de políticas para el control de la contaminación agrícola del agua parte de que la degradación de la calidad del agua significa daños que tienen un costo; los beneficios de las políticas de control son la reducción del costo de esos daños. Estos costos incluyen: 1. Gastos de las unidades de producción en prácticas y equipo de control de la contaminación; 2. En ciertas circunstancias, el incremento en el precio de los productos y, 3. Gastos de monitoreo y vigilancia de la política de control. Los beneficios involucran mejorías en la salud pública, en los usos recreativos del agua y reducción en los costos de su tratamiento.

En este trabajo se parte de que los cambios en las prácticas agrícolas no significan un incremento en los costos, dado el sobreúso de insumos detectado, y que los productores y las medidas que se aplican no afectan el precio de los productos.

El análisis de costos y beneficios de la política agroambiental de control incluye tres pasos: 1. La identificación (y pronóstico) *ex ante* y *ex post*, de los impactos de dicha política en la producción, precios, salarios, ganancias, uso de la tierra y otros recursos, niveles de calidad ambiental y uso humano directo e indirecto del ambiente; 2. Valoración y, 3. Agregación de los impactos en individuos y en el tiempo.

Pronosticar los impactos de los cambios en las prácticas agrícolas en la calidad del ambiente (beneficios en el volumen y frecuencia de los flujos de contaminantes como resultado del cambio en el uso de insumos), requiere emplear modelos físicos que vinculan las prácticas agrícolas con las cargas contaminantes y con los indicadores químicos y biológicos de calidad del agua.[1]

Existen estudios de los beneficios del mejoramiento de la calidad del agua que se han estimado mediante diversas técnicas (gastos defensivos, costo del viaje, precios hedónicos y valoración contingente) pero, prácticamente no hay estimaciones empíricas de los beneficios económicos de reducir los daños en la calidad del agua que producen los contaminantes agrícolas. Esto se debe a la dificultad de vincular las políticas a los cambios en los servicios relacionados con la calidad del agua, a fallas de mercado y a la característica de uso común de la mayoría de los beneficios.

[1] Modelos de "escorrentía" y "destino y transporte a nivel de cuenca y a escala de parcela". Ejemplos de modelos a nivel de cuenca: 1. Soil and Water Assessment Tool (SWAT) usado ampliamente en Estados Unidos, 2. US Geological Survey SPARROW (for Spatially-Referenced Regression on Watershed Attributes), 3. Hydrologyc Simulation Program-FORTRAN (HSPF). A nivel de parcela: a) Universal Soil Loss Equation (USLE), b) Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management System (CREAMS), c) Groundwater Loading Effects of Agricultural Management System (GLEAMS), d) Erosion-Productivity Impact Calculator (EPIC), e) Pesticide Root Zone Model (PRZM), f) Nitrogen Leach and Environmental Analysis Package (NLEAP) [Ribaudo y Shortle, 2001].

De manera indirecta, estos beneficios se han estimado a partir de los que se obtienen al reducir la erosión del suelo en áreas de cultivo.[2]

Estimación del costo de un cambio en la producción agrícola

El costo de una granja que tiene que cumplir con una política de control de la contaminación se mide por el cambio en las *cuasi-rentas*.[3]

Ejemplo: se considera un grupo de agricultores en competencia perfecta, produciendo un solo tipo de producto:

Función de producción de una granja representativa:

$$x = f(z) \tag{1}$$

donde: x = vector de productos y
z = vector de insumos

Maximización del beneficio (sin política agroambiental):

$$\pi = px - c(x, w) \tag{2}$$

donde: p = precio del producto
w = vector de precios de insumos y

$$c(x, w) = \text{mín } \{wz: f(z) \geq x\} \tag{3}$$

Mediante este modelo, se puede analizar el efecto de un impuesto para reducir el uso de un insumo contaminante (un plaguicida, por ejemplo), que produce un cambio en el

[2] Programa de Conservación del Suelo [Bishop, 1994; Ribaudo y Shortle, 2001].

[3] Si los precios de los productos e insumos se modifican, entonces se deben considerar los costos del bienestar de consumidores y proveedores de insumos agrícolas.

precio de los insumos y en el beneficio. Si p^0 y w^0 son los valores de p y w antes del impuesto y π^0 el beneficio base óptimo, el costo de un instrumento de control de contaminación para la granja es la reducción de la *cuasi-renta* del nivel base:

Maximización del beneficio (con política agroambiental):

$$\pi_1 = px^* - c(x^*, w + t) \tag{4}$$

donde: t = vector de la tasa de impuesto
x^* = producción óptima y
$\Delta = \pi^1 - \pi^0$ es el cambio en la *cuasi–renta*

En principio, este cambio puede ser medido y descrito de manera gráfica de dos maneras: a) como un cambio en el excedente del consumidor, tomando a la granja como consumidora de insumos y usando las curvas de demanda de insumos de esta y, b) como un cambio en el excedente del productor, usando las curvas de oferta de la granja.

Caso a) Se supone que se grava solo un insumo (fertilizantes) y que los precios de los productos y los insumos se modifican. Sea el primer elemento de w el precio del fertilizante; w_1^0 el precio base del fertilizante y $w_1^1 = w_1^0 + t$ el precio más el impuesto. Empleando los resultados típicos de la teoría del bienestar, Δ se puede expresar:

$$\Delta = \int_{w_1}^{0+t} z_1 \ (p^0, w)\ dw_1$$

Donde $z_1(p,w)$ es la función de demanda de fertilizantes de la granja.

Caso b) El análisis a nivel de granja se puede hacer extensivo al mercado de insumos si se grava por igual a todos los compradores.

A diferencia de un impuesto a los insumos, el impuesto *proxy* incrementa el precio que se paga por los insumos y modifica la función de costo para incluir el impuesto como un argumento separado. La función de costos de la granja sería: $c(x, w, t_r) = \min\{wx - t_r r(z): f(z) \geq x\}$ y la función de beneficio con el impuesto sería $px^* - c_r(x^*, w + tr)$, donde x^* es la producción óptima. El cambio en la *cuasi–renta* es: $\Delta = \Pi^1 - \Pi^0$

Estimación de costos directos de cumplimiento

El método del costo directo de cumplimiento [USEPA, 2008] que incluye gastos para instalar y operar equipo de control, es una forma simple de estimar los costos de control de contaminación. El ejemplo típico se refiere a la instalación de sistemas de tratamiento en unidades ganaderas intensivas, pero su mayor limitación es que no permite efectos de sustitución de insumos y productos que el productor practicaría para reducir los costos de cumplimiento.[4] Esta respuesta reduciría el costo de cumplimiento respecto del que se hubiera obtenido vía el método de costo directo.

Otros métodos más avanzados modelan la respuesta de la granja y del mercado. Los modelos a escala de granja son especialmente útiles para analizar las posibles respuestas económicas de los productores a las medidas de política (y los costos de su cumplimiento dados factores estructurales como el tamaño de la granja) y los impactos de las respuestas de los productores al movimiento de contaminantes desde la granja.

En conclusión, los métodos para analizar el impacto de medidas de política en la calidad del agua son escasos y difícilmente aplicables a la agricultura.

[4] El agricultor podría sustituir cultivos por aquellos menos demandantes de fertilizantes y podría sustituir los fertilizantes por otros insumos.

Propuestas sobre plaguicidas y agua

En México, prácticamente no existen políticas agroambientales; las normas oficiales mexicanas sobre descargas de aguas residuales solo aplican a los productores que generan descargas puntuales y no existen impuestos (pero sí subsidios) que graven el uso de insumos. Los agricultores pueden usar plaguicidas en cantidades enormes, porque no hay forma de hacer cumplir la reglamentación establecida en los artículos 96 de la Ley de Aguas Nacionales y 120 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Para cambiar esta situación, el Instituto Nacional de Ecología (INE) elaboró dos propuestas que van más allá de las iniciativas voluntarias, y cuya puesta en marcha conduciría, sin lugar a dudas, a reducir el uso de plaguicidas y la extracción de agua del subsuelo. Además, se han elaborado estudios que evalúan el impacto de políticas que limitan el uso del agua para riego, en las variables macroeconómicas producción, ingresos agrícolas, importaciones y exportaciones. Por su importancia, se hará una breve referencia a estas tres propuestas, de las cuales las dos primeras se encuentran congeladas en la Cámara de Diputados.

Impuesto a los plaguicidas (Instituto Nacional de Ecología)

Está documentado en México –y en otros países– que el sobreúso de plaguicidas y fertilizantes tiene efectos negativos en la salud humana y en la calidad del agua. La propuesta del INE de modificar el subsidio a los plaguicidas parte de tres hechos [Muñoz y Ávila Forcada, 2005]: 1. La demanda de plaguicidas es inelástica; 2. La agricultura mexicana emplea plaguicidas prohibidos en otros países y en México y, 3. El uso de plaguicidas está subsidiado.

En función de los diferentes niveles de toxicidad de los plaguicidas, la propuesta del INE considera tres escenarios: 1. Eliminar la exención del impuesto al valor agregado (IVA) a todos los plaguicidas, cualquiera que sea su nivel de toxicidad, lo cual reduciría su uso drásticamente; 2. Reducir el impuesto en función de la toxicidad a 0, 5, 10 y 15%, dependiendo de que se sean menos, moderadamente, muy y extremadamente tóxicos y, 3. Gravar solo los plaguicidas más nocivos con 10% y dejar exentos a los demás [Muñoz y Ávila Forcada, 2005].

Como las elasticidades cruzadas son importantes, los autores concluyen que el escenario en el que se observan los cambios más significativos en la demanda de plaguicidas, es un impuesto a su toxicidad, siempre y cuando la elasticidad de precio sea alta y la cruzada mayor que 1 por ciento.

Es inadmisible que las autoridades correspondientes (Semarnat, Secretaría de Salud, Sagarpa y el Cicoplafest) permitan el uso de plaguicidas altamente tóxicos, particularmente el paratión metílico.

Tarifa 09 sobre riego agrícola (INE)

La propuesta para "desacoplar" la tarifa eléctrica para bombeo agrícola [Ávila *et al.*, 2005], reconoce los siguientes factores: 1. El agua para riego agrícola es gratuita; 2. La electricidad que consumen las bombas está subsidiada, aun para agricultores que no tienen un título de concesión (45 382, que representan 43.3% del total de usuarios de agua de pozo) y, 3. La eficiencia del riego agrícola, tanto el de gravedad como el de pozo es muy baja (45%). Estos factores tienen como consecuencia que 88 de los principales acuíferos estén sobreexplotados y que existan problemas de subsidencia e intrusión salina en el agua subterránea.

"Desacoplar", para el caso de la tarifa eléctrica,[5] es dar en efectivo el subsidio que ahora reciben los agricultores que utilizan energía eléctrica para el bombeo agrícola, vía la tarifa 09. Esta propuesta contempla cinco escenarios: 1. Que la "reingeniería" del subsidio se aplique solo en los acuíferos sobreexplotados, donde se encuentra 30% de los productores; 2. Reintegrar el subsidio promedio a todos los usuarios[6] (5 899 pesos al mes a los que tienen un título y 5 398 pesos a los que carecen de él), medida que beneficiaría a los productores pequeños, pero perjudicaría a los grandes que tienen el mayor consumo de electricidad y agua, y los que detentan el mayor poder político; 3. Otorgar el subsidio de acuerdo con el monto promedio histórico de consumo de electricidad de 2002 y 2003; permanecerían las mismas inequidades, los grandes agricultores no verían disminuido su ingreso, pero se transparentaría el subsidio; 4. Que el subsidio solo aplique a los usuarios que tienen una concesión con la finalidad de regularizar pozos sin permiso (los autores reconocen que habría oposición de la autoridad del agua porque si no hay permiso es porque se trata de zonas de veda y vulnerables) y, 5. Conceder un subsidio por hectárea cultivada, tipo Procampo, con las variantes de "con y sin concesión". Los autores consideran que este escenario beneficiaría a los productores más eficientes que requieren poca agua, pero que la alternativa 3 que subsidia de acuerdo con el consumo histórico es más fácil de administrar (se basa en los recibos de consumo existentes) y menos polémica en cuanto a oposición de grandes usuarios, porque conserva la inequitativa distribución del

[5] Se desacopla el subsidio a la generación de energía eléctrica para bombeo agrícola pero se mantiene el subsidio a la transmisión.

[6] El dinero se expediría en un cheque o como financiamiento para la compra de insumos agrícolas y/o compra de equipo de riego, mediante los Centros de Apoyo al Desarrollo Rural (Cader). Con ello, cabe la posibilidad de que el subsidio a la compra de insumos –plaguicidas y/o fertilizantes– incentive el sobreúso de estos.

subsidio: 33 usuarios reciben un subsidio mayor a 500 mil pesos anuales, mientras 17 mil reciben menos de 500 pesos al año.

En los resultados de este estudio se menciona que desacoplar el subsidio por concepto de generación de energía eléctrica (manteniendo el de transmisión), equivale a aumentar la tarifa promedio hasta 0.63 pesos, con lo cual se reduciría el consumo de agua entre 15 y 19%, aproximadamente (2 988 millones de litros). Si también se cobrara el costo de transmisión, la tarifa llegaría a 1.40 pesos/kw/hora y la recarga de acuíferos "sería aún mayor".

Los beneficios generales del desacoplamiento de la tarifa serían: 1. Producir cultivos menos intensivos en agua, 2. Incentivar el empleo de tecnologías de riego más eficientes, 3. Disminuir el consumo de agua y energía eléctrica, 4. Mejorar la eficiencia de la actividad agropecuaria.

Reducción del agua para riego agrícola

Yúnez y Rojas [2008] analizan los efectos de una reducción en la disponibilidad de agua para riego en la producción agrícola y el bienestar, y concluyen que dado el bajo precio del agua para riego, un aumento en su costo no haría más eficientes las prácticas de riego. La reducción en la disponibilidad de agua puede provenir de una decisión de política (por ejemplo, canalizar el agua de riego para otros usos que no son los agrícolas), pero también puede ser un resultado de su contaminación y de los efectos del cambio climático. Cualesquiera que fueran las causas de su menor disponibilidad, esta tendrá efectos negativos en la producción agrícola (particularmente en los hogares del norte y del río Bravo y, en menor medida, en el ingreso real de los hogares ricos de estas regiones, en uno de los escenarios analizados). Como factores que pueden aminoran estos efectos se señalan la inversión de recursos por parte de las Asociaciones de Usuarios de Agua (cuyos

ingresos aumentarán por efecto de un incremento en el precio sombra del agua resultado de su menor oferta, según otro de los escenarios), y la adopción de tecnologías que incrementen la eficiencia del riego.

El modelo de equilibrio general que emplean para el sector agropecuario, incluye escenarios macro de apertura comercial total y el establecimiento del IVA en los alimentos. Los efectos en este sentido son distintos entre regiones, por lo que se sugiere que las medidas políticas tomen en cuenta las particularidades regionales; esto a su vez requiere, señalan los autores, una mayor coordinación institucional entre las secretarías de Agricultura, Medio Ambiente, Desarrollo Social y Hacienda. El párrafo final del artículo es llamativo: como las medidas que se pueden tomar para lograr un uso más eficiente del agua afectarán algunos sectores de la sociedad, se requerirá de voluntad política para llevar a cabo estas acciones.

Este último estudio no señala o propone una política específica de reducción de la disponibilidad de agua para la agricultura, pero muestra escenarios de los impactos de esta posibilidad que es necesario tomar en cuenta. ¿Sería aceptable afectar el bienestar, de por sí precario, de los productores agrícolas de ingresos medios y bajos, mientras el de los estratos más ricos prácticamente no se modifica?

Propuestas para el DR011

Las propuestas que se plantean en este apartado son resultado de la investigación realizada en el DR011, de su situación específica respecto del uso de insumos, y de la obligación de los agricultores de cumplir con la NTA 005. Sólo bajo ciertas circunstancias se podrían hacer extensivas a zonas de riego con características y problemas similares.

Ante los problemas detectados, se sugieren las siguientes medidas de política agroambiental (cuadro 1):

Cuadro 1. Propuestas de política agroambiental

Problema	Medida política
Sobreúso y uso inadecuado de plaguicidas: insecticidas, herbicidas, fertilizantes.	Prohibición de insecticidas altamente tóxicos (paratión metílico). Prohibición de herbicidas tóxicos (atrazinas). Capacitación en el uso de agroquímicos (insecticidas, herbicidas, fertilizantes). Divulgación de resultados de investigación relativos a sobreúso y mal uso (combinaciones) de agroquímicos e impacto en los costos. Campaña de información sobre problemas de salud relacionados con el uso de insecticidas y herbicidas. Aplicar un impuesto al paratión metílico.
Sobreúso de agua.	Capacitación en el empleo de agua.
Incumplimiento de la NTA 005.	Subsidio a la compra, operación y mantenimiento de maquinaria para el empacado de esquilmos. Coordinación entre el Instituto de Ecología y la Secretaría de Desa rrollo Agropecuario para promover el cumplimiento de la NOM 005.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto de los fertilizantes, solo se proponen medidas de capacitación, pues es poco práctico proponer lo contrario a lo que hacen todas las instituciones que tienen injerencia en la producción agrícola, subsidiarlos; puesto que este subsidio es una demanda generalizada de los agricultores y dado que una parte importante de la contribución de Procampo se utiliza precisamente en la compra de fertilizantes.

Con excepción del impuesto al paratión metílico, las propuestas de política para el DR011 para reducir y/o evitar el sobreúso de insecticidas, herbicidas y agua, se encuentran en el rubro de medidas voluntarias, a las cuales no aplican los supuestos y forma de operar de las metodologías que se mostraron al inicio de este capítulo, por las siguientes razones:

1. Las variables agregadas no impactan (precios de los productos e insumos, producción, salarios, ganancias, uso de la tierra y otros recursos); 2. No significan un gasto para los productores; 3. Para quienes sobreúsan insumos

suponen una reducción en los costos de producción; 4. Suponen, de manera intuitiva, menor escorrentía de contaminantes hacia los cuerpos de agua; 5. No requieren modelos de "destino y transporte de contaminantes" a nivel de cuenca, ya que no se trabajó a esa escala; 6. No se trabaja con *variables proxy* de desempeño ambiental porque no existe información sobre la pérdida en campo de plaguicidas o nutrientes y la investigación tampoco obtuvo información al respecto; 7. No existen gastos adicionales por parte de la autoridad, puesto que ya existen programas de capacitación e información.

El problema fundamental de incumplimiento de la NTA 005 es que establece prácticas agrícolas que la institución que la emite (Instituto de Ecología de Guanajuato, IEG) y la vigila (Procuraduría de Protección al Ambiente de Guanajuato, PPAG), no están en posibilidad ni de promover. Hacer cumplir las 10 prácticas agrícolas de la NTA 005 (de la undécima, quema de esquilmos, se hace cargo la PPAG) requiere, forzosamente, que estas instituciones acuerden con la Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Guanajuato para que esta se encargue de la NTA 005, con excepción de la vigilancia de la quema de esquilmos. La otra premisa para su cumplimiento es que se apoye a los pequeños productores en la compra de la maquinaria necesaria para empacar los esquilmos. Este podría ser un subsidio que se otorgara a estos productores quienes llevan a cabo en mayor medida la quema de esquilmos.

El impuesto al paratión metílico

El intenso uso que se hace de paratión metílico[7] –insecticida altamente tóxico prohibido en otros países–,[8] es resultado de una decisión de tipo político-administrativa

[7] Se trata de la formulación a 2% en polvo.
[8] *Diario Oficial de la Federación* 03/01/1991.

que otorga a la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (Cicoplafest) la facultad de autorizar su uso. Como además, los plaguicidas están exentos del pago del IVA, su impacto en el costo de producción de los cultivos es muy bajo.

En el espacio de estudio, los insecticidas representaron entre 1.2 y 3.6% del costo total de producción de los cuatro cereales, y los herbicidas alrededor de 6% [Pérez Espejo *et al.,* 2011b]. ¿Cuál es el impacto del paratión metílico en los costos y rendimientos? La respuesta es muy compleja; los insecticidas se emplean de manera preventiva, exista o no la plaga; si esta no se presenta, los rendimientos son los mismos si se aplica o no el insecticida, pero si no se aplica y hay un ataque, los rendimientos pueden reducirse de manera considerable.

Para contar con mayor información que apoyara no solo la eliminación del subsidio, sino el establecimiento de un impuesto al paratión metílico en el espacio de estudio, se estimó un modelo econométrico basado en una función de producción mixta [Heady y Dillon, 1961; Volke Haller, 1982] para el trigo y la cebada en el ciclo otoño-invierno 2007-2008.[9] Esta función permitió identificar las relaciones entre los insumos agroquímicos (fertilizantes, insecticidas y herbicidas), agua y semilla, con los rendimientos, así como una función de utilidad y relación rendimiento-costo para fertilizantes, insecticidas y agua,[10] cuyas características, supuestos y limitaciones se presentan en el anexo 5.

El paratión metílico es el insecticida más tóxico (nivel II de la OMS) y más empleado por los usuarios del DR011 en los cuatro principales cultivos de la región: trigo y cebada en otoño-invierno y sorgo y maíz en primavera-verano.

[9] Cuando se realizó la encuesta aún no se levantaba la cosecha del ciclo primavera-verano 2008.

[10] En esta tarea se contó con la valiosa colaboración de la licenciada Thalia Hernández Amezcua.

Este insecticida tiene una fórmula sumamente flexible, que permite su aplicación a una amplia gama de cultivos y su bajo precio (6 pesos/ kg) estimula su sobreúso, empleándose en dosis mucho mayores a las recomendadas (véase capítulo 8 de esta obra).

Ya que los impuestos son un instrumento para desincentivar el sobreúso de insecticidas, se simuló el gravamen del precio de venta con un impuesto y su efecto en el ingreso de los agricultores. La función de ingreso se estimó en dos situaciones diferentes: para las cantidades recomendadas, y para las medidas realmente empleadas.

La función de producción que se estimó solo incluye algunos de los insumos de la producción agrícola y dejó fuera la preparación de terreno (1 860 pesos), siembra y fertilización (700) pesos, y cosecha (916 pesos), por lo que solo explica alrededor de 40% de los costos totales y por tanto, el ingreso neto obtenido es superior al realmente obtenido por el agricultor. A pesar de esto, la información permite evaluar el impacto de un incremento de 100% en el precio del paratión metílico.

La intención del impuesto no es que el agricultor asuma el costo del daño ambiental (que es muy difícil estimar), sino que reduzca la cantidad empleada de este insumo. El incremento en el costo marginal del paratión metílico resultado de un impuesto de 100% sobre su precio produce dos efectos: 1. Se reduce de 40 kg a 20 kg la cantidad de este insumo que maximiza el ingreso del agricultor, manteniendo el resto de los insumos constantes (anexo 5, cuadro 38); 2. Se reduce en menos de 1% el ingreso del productor, en cualquiera de los dos casos estimados, para cantidades recomendadas y para cantidades medias realmente empleadas (anexo 5, cuadro 39).

Otros resultados del modelo son los siguientes:

1. El óptimo económico de la lámina de riego se aproxima a la lámina calculada recomendada (programa DRiego). Los agricultores obtendrían mejores resultados en sus ingresos si disminuyeran la cantidad de agua empleada.

2. Los fertilizantes hacen la contribución más importante al rendimiento.
3. La semilla se relaciona de manera positiva con el rendimiento, pero se encontró una gran diferencia entre la recomendación y el promedio empleado.
4. El óptimo económico para clorpirifos, sal dimetilamina y el tralkoxidim muestra coeficientes negativos; el primero se puede explicar porque se trata de un insecticida que no se recomienda para el trigo y la cebada. Los herbicidas, por lo visto, no contribuyen al rendimiento.

La contribución del paratión metílico al rendimiento es mínima y su costo, por ser muy bajo, no impacta gastos. La cantidad óptima es mayor que la recomendada porque la racionalidad económica de su uso es independiente de sus efectos ambientales. Pero, con un impuesto de 100% al paratión metílico, el equilibrio se obtiene con una cantidad similar a la recomendada (20 kg).

Subsidio a la compra, operación y mantenimiento de maquinaria para el empacado de esquilmos

En el DR011 existen programas de apoyo a la mecanización para la siembra directa o labranza cero, con lo cual se estimula a la industria de maquinaria agrícola y se apoya el cumplimiento de la NTA 005. Sin embargo, esta estrategia queda trunca porque la cantidad que se otorga para la adquisición de empacadoras de esquilmos es muy reducida. Mientras el monto que se otorga a la compra de sembradoras ha variado entre 70 y 75% del apoyo del programa, el destinado a empacadoras varió entre 1 y 12% de 2008 a 2010 (véase capítulo 10 de este estudio).

El costo de una empacadora de esquilmos es de cerca de 300 000 pesos[11] y el de las sembradoras de casi la mitad,

[11] John Deer bajo la cotización de enero de 2012.

125 000 pesos, de los cuales el productor asume 60% y el programa de apoyo 40% restante.

El costo de la superficie afectada en 2007 (700 hectáreas de incendios detectados, con una sanción de 3 200 pesos/ha), fue de 2 240 000 pesos, con lo cual se pudieron adquirir por lo menos siete empacadoras nuevas.

Aunque los montos otorgados a la adquisición de empacadoras han ido en ascenso, estos solo permitieron comprar una empacadora en 2008, tres en 2009 y seis en 2010. ¿Podrá incidir este subsidio en la reducción de la superficie que se quema? La respuesta es, obviamente, una cuestión empírica que merece atención en investigaciones futuras.

Conclusiones

1. La teoría aún no dispone de instrumentos económico-ambientales para controlar la contaminación del agua que sean de costo-efectivos, políticamente aceptables y ambientalmente eficientes.
2. Desde el punto de vista ambiental, sería razonable gravar –en lugar de subsidiar– los fertilizantes y los plaguicidas, pero desde la óptica de los productores, eso sería inaceptable. Por tanto, habría que implementar medidas de tipo voluntario que los convenzan de hacer, por lo menos, un uso adecuado de estos insumos.
3. Las autoridades no deberían aprobar el uso, bajo ninguna circunstancia, del paratión metílico, ya que, dado su bajo precio, se emplea de manera intensiva y por encima de las recomendaciones. Una simulación de un impuesto de 100% sobre su precio reduciría su uso a la mitad y el ingreso del productor solo bajaría en menos de 1%. En otras palabras, el daño marginal (tanto ambiental como sanitario) de su utilización es mucho mayor que los beneficios que aporta al productor.

4. Para cumplir con la Norma Técnica Ambiental sobre manejo y quema de esquilmos, tendría que implementarse una estrategia de coordinación entre instituciones (Instituto de Ecología de Guanajuato y Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Guanajuato) para promover y vigilar las medidas que establece. Con los escasos recursos que se destinan a la adquisición de maquinaria para el empacado de esquilmos (medida indispensable para cumplir con la norma), es prácticamente imposible impedir que se quemen. Sería necesario otorgar mayores subsidios a la adquisición de empacadoras y además, focalizarlos en los grupos de productores pequeños y medianos que son quienes recurren en mayor medida a esta práctica.

Existen varias medidas voluntarias vigentes, como son los programas de capacitación, divulgación e información que pueden orientarse al uso adecuado de los agroquímicos para prevenir su sobreúso y uso inadecuado en cultivos para los cuales no están formulados. Llevar a cabo demostraciones públicas del sobreúso y la pérdida de ingreso que este conlleva, sería una medida inicial para resolver el problema de contaminación agrícola del agua.

Bibliografía

Ávila, Sara; Muñoz, Carlos; Jaramillo, Luis y Martínez, Adán [2005], "Análisis del subsidio a la tarifa 09", *Gaceta Ecológica*, México, Instituto Nacional de Ecología, (75), pp. 65-76.

Bishop, J. T. [1994], "A local agency's approach to solve the difficult problem of nitrate in the groundwater", *Journal of Soil and Water Conservation,* 49 (2ss), pp. 682-84.

Heady, Earl O. y Dillon, John L. [1961], *Agricultural production functions*, Iowa, Estados Unidos, Iowa State University Press, p. 667.

Muñoz, Carlos y Ávila Forcada, Sara [2005], "Los efectos de un impuesto ambiental a los plaguicidas en México", *Gaceta Ecológica*, México, Instituto Nacional de Ecología, (074), pp. 643-53.

Pérez Espejo, Rosario; Jara, Alethya y Santos Baca, Andrea [2011], "Contaminación agrícola y costos en el Distrito de Riego 011, Guanajuato", *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, México, (1), pp. 669-84.

Ribaudo, Marc O. y Shortle, James S. [2001], "Estimating Benefits and Costs of Pollution Control Policies", J. S. Shortle y D. Abler (ed.), *Environmental Policies for Agricultural Pollution Control*: CABI Publishing), pp. 685-122.

USEPA [2008], "Guidelines for Preparing Economic Analysis: External review draft", Estados Unidos, US Environmental Protection Agency, Office of Polilcy Economics and Innovation, National Center for Environmental Economics, p. 274.

Volke Haller, Víctor H. [1982], *Optimización de insumos de la producción en la agricultura*, México, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, p. 61.

Yúnez Naude, Antonio y Rojas Castro, Luis G. [2008], "Perspectivas de la agricultura mexicana ante reducciones en la disponibilidad de agua para irrigación: un enfoque de equilibrio general", A. Yúnez Naude y J. Medellín Azuara H. Guerrero García (ed.), *El agua en México. Consecuencias de las políticas de intervención en el sector,* México, Fondo de Cultura Económica, pp. 6183-209.

Conclusiones

El objetivo de este trabajo fue discutir el problema de la contaminación difusa generada por la agricultura. La información disponible no permite realizar investigación únicamente con fuentes documentales, por lo que fue necesario hacer trabajo de campo para indagar sobre los temas fundamentales que subyacen en la contaminación agrícola del agua. Estos temas son la percepción de los agricultores sobre los efectos de sus prácticas agrícolas en el recurso agua; el uso inadecuado de insumos agrícolas y el importante papel de las políticas públicas que han estimulado el uso ineficiente del agua, plaguicidas y fertilizantes.

Con excepción del capítulo 3, "Vulnerabilidad del agua y análisis de información sobre uso de atrazina", los estudios de este libro son resultado de la aplicación de una encuesta a 145 productores del DR011, Alto Río Lerma. De estos, solo se seleccionaron 94 que producen cereales (maíz, trigo, sorgo y cebada) en siete de los 11 módulos del Distrito. Se podría preguntar qué tan representativos son estos productores del total de productores de cereales del DR011 y de otras zonas de riego del país. En México no hay muchas investigaciones con las que se puedan contrastar estos resultados; sin embargo, las escasas referencias sobre trabajos similares (y no tan escasas para otros países), indican que el trabajo no presenta resultados atípicos: los productores agrícolas de las zonas de riego de países desarrollados y en desarrollo sobreúsan agua, plaguicidas

y fertilizantes, al considerar que su actividad no daña la calidad del agua además de que reciben subsidios innecesarios. En general, en los países en desarrollo se carece de los conocimientos necesarios para emplear insumos en manera adecuada; la autoridad ha delegado la capacitación y asesoría técnica en manos de consultores privados (que solo pueden pagar agricultores grandes) y en las empresas que comercializan los insumos, pero ninguno de estos agentes tiene entre sus objetivos mantener la calidad del agua bajo parámetros adecuados.

La cuenca del Lerma Chapala es la segunda más contaminada del país; sin embargo, no hay información ni sobre fuentes de contaminación, ni acerca de contaminantes específicos, como plaguicidas. La agricultura emplea 78% del agua que se extrae, y por la cantidad y tipo de insumos que emplea, tiene un impacto negativo en la calidad del agua. A pesar de ello, las descargas difusas agrícolas carecen de regulaciones porque la innegable necesidad de producir alimentos –que además se pierden y desperdician en montos escandalosos– y otros insumos, relega la preservación de los recursos a un segundo plano, comprometiendo la actividad a corto y mediano plazos.

En este estudio se encontró: 1. Plaguicidas en los cuerpos de agua en una época en la que no se estaban aplicando, ya que se encuentran acumulados en drenes y canales; 2. Sobreúso y uso inadecuado de agua, insecticidas, herbicidas y fertilizantes; 3. Una percepción sesgada de los agricultores acerca del problema; 4. Políticas públicas que estimulan ese uso incorrecto del agua y los agroquímicos; 5. Insustentabilidad de prácticas agrícolas.

Las prácticas poco sustentables documentadas en este trabajo, tienen como marco institucional un conjunto de programas hidroagrícolas cuyo efecto es el opuesto al deseado: en lugar de ahorrar agua aumenta su uso, y con este, el empleo de insumos agrícolas. Ningún programa, de los muchos en marcha en el DR011, tiene como objetivo mejorar la calidad del agua.

Guanajuato cuenta con una norma técnica ambiental, única en el país, sobre manejo de esquilmos agrícolas, su cumplimiento y vigilancia podría tener efectos positivos indirectos en la calidad del agua; para ello se requiere una coordinación entre instituciones que por ahora, no existe.

Aun cuando una porción considerable del DR011 se trabaja bajo un régimen de renta, siguen siendo los pequeños agricultores el grupo más numeroso y el que en este trabajo presenta las prácticas agrícolas más inadecuadas. También sus costos de producción son más elevados por el sobreúso de insumos agrícolas.

La teoría económica no ofrece instrumentos económico–ambientales para el control de la contaminación del agua que sean de costo-efectivos, políticamente aceptables y ambientalmente eficientes. Desde el punto de vista ambiental, sería razonable gravar –en lugar de subsidiar– los fertilizantes y plaguicidas, pero desde la óptica de los productores, eso sería inaceptable. Por lo tanto, solo quedan medidas de tipo voluntario que los convenzan de hacer, por lo menos, un uso adecuado de estos insumos. Entre estas medidas se encuentran la capacitación –a fondo– en el uso de agroquímicos; las campañas de información sobre los problemas ambientales y de salud que representa su uso y la divulgación de resultados de investigación que demuestran el sobreúso y uso incorrecto de agroquímicos y los impactos en costos de estas prácticas.

Se recomienda que las autoridades correspondientes, Instituto de Ecología de Guanajuato y Secretaría de Desarrollo Agropecuario de Guanajuato, realicen la coordinación necesaria para promover y vigilar el cumplimiento de la norma sobre manejo y quema de esquilmos, y sería muy conveniente que otros estados del país contaran con normas como esta.

El monto de los recursos que se destinan a la adquisición de maquinaria para el empacado de esquilmos (medida indispensable para cumplir con la norma), es completamente insuficiente para impedir que estos se quemen. Es

necesario otorgar mayores subsidios a la adquisición de maquinaria (sembradoras y empacadoras necesarias en la labranza cero), pero además, dirigirlos a los grupos de productores pequeños y medianos que son quienes recurren en mayor medida a esta práctica.

Un ejercicio que supone y modela un impuesto de 100% al paratión metílico, insecticida que debería estar prohibido, demuestra que la maximización del ingreso es compatible con la reducción de su uso, y que un impuesto de 100% a su precio, tendría un efecto en el ingreso de menos de 1 por ciento.

Por último, es necesario que la autoridad correspondiente, la Comisión Nacional del Agua, genere información más precisa sobre indicadores de calidad del agua, que estos incluyan la presencia de agroquímicos en los cuerpos de agua y que su monitoreo sea sistemático.

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AMIFAC	Asociación Mexicana de la Industria Fitosanitaria, A. C.
ARIA	Agrupación Regional de Innovación Agrícola
Asosid	Agricultura Sostenible Basada en Siembra Directa A. C.
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades)
Cader	Centros de Apoyo al Desarrollo Rural
CDT	Centro de Desarrollo Tecnológico
CE	Convenio de Estocolmo
CEAG	Comisión Estatal del Agua de Guanajuato
Cesaveg	Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato
CFC	Clorofluorocarbonos
CFE	Comisión Federal de Electricidad
Cicoplafest	Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
CMNUCC	Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
Cofepris	Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios
Conagua	Comisión Nacional del Agua
Conaza	Comisión Nacional de las Zonas Áridas
Coneval	Consejo Nacional de Evaluación para la Política Social
COP	Compuestos Orgánicos Persistentes
Cotas	Consejos Técnicos de Aguas Subterráneas
Coussa	Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua
CP	Colegio de Posgraduados
CR	Convenio de Rótterdam
Creams	Chemicals and Erosion from Agricultural Management System Models
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DDA	2,2-bis(4-chlorophernyl)-acetic acid
DDD	Diclorodifenildicloroetano
DDE	Diclorodifenildicloroetileno
DDT	Dicloro Difenil Tricloroetano
DNP	Descargas no puntuales

DP	Descargas puntuales
DQO	Demanda química de oxígeno
DR011	Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma
DR085	Distrito de Riego 085 La Begoña
EPIC	Erosion-Productivity Impact Calculator model
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
Fertimex	Fertilizantes Mexicanos, S. A.
Fidea	Fideicomiso Irrevocable de Inversión y Administración para la Ejecución de Programas Hidroagrícolas
FILSA	Fertilización Integral de la Laguna, S. A.
FIRA	Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura
Firco	Fideicomiso de Riesgo Compartido
Fortran	Hydrologyc Simulation Porgram
FPNP	Función de producción no puntual
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial del Banco Mundial (Global Environmental Facility)
GEI	Gases con efecto invernadero
GLEAMS	Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems
GUS	Groundwater Ubiquity Score
ha	Hectáreas
ha6	Millones de hectáreas
hp	Horse Power / caballos de fuerza
HSPF	Heating Seasonal Performance Factor
IEG	Instituto de Ecología del estado de Guanajuato
IF	Incentivos flexibles
IFA	Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (International Fertilizer Industry Association)
IL	Índices de lixiviación
IMNC	Instituto Mexicano de Normalización y Certificación
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INIFAP	Insituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Inpofos	Instituto del Fósforo y la Potasa

IUPAC	Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (International Unión of Pure and Applied Chemistry)
IVA	Impuesto al valor agregado
kW	Kilowatt
LAG	Ley de Aguas del estado de Guanajuato
LAN	Ley de Aguas Nacionales
LCA	Low Cost Allocation
LDRS	Ley de Desarrollo Rural Sustentable
LEACHMG	Leaching Estimation and Chemistry Model
LGEEPA	Ley General del Equilibrio y la Protección al Ambiente
LGIRG	Ley para la Gestión Integral de Residuos del estado y los municipios de Guanajuato
LGS	Ley General de Salud
LPPAG	Ley para la Protección y Preservación del Ambiente del Estado de Guanajuato
M ha	Millón de hectáreas
m^3	Metros cúbicos
MAP	Manejo Agroecológico de Plagas
mg/l	Miligramos por litro
MIM	Manejo Integrado de Malezas
mm	Milímetros
MO	Materia orgánica
NCCES	North Carolina Cooperative Extension Service
NLEAP	Nitrogen Leaching and Economic Analisis Package model
NOM	Norma Oficial Mexicana
NOM-001	Norma Oficial Mexicana 001 sobre descargas de aguas residuales
NOM-015	NOM-015-Semarnat-SAGAR,1997 que regula el uso del fuego
NOM-002	Norma Oficial Mexicana-002-Semarnat, 1997 sobre límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal
NOM-003	Norma Oficial Mexicana-003-Semarnat,1997 sobre límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público
NOM-015	Norma Oficial Mexicana-015-Semarnat-SAGAR-1997 que regula el uso del fuego en terrenos forestales y agropecuarios

NTA 005	Norma Técnica Ambiental, NTA-IEE-005/2007 sobre las especificaciones para la gestión integral de los residuos agrícolas (esquilmos), así como para la prevención y control de la contaminación generada por su manejo inadecuado
OC	Organoclorados
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
O-I	otoño-invierno
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Oganización de las Naciones Unidas
PAPIIT	Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica
PCFP	Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo
Pelmo	Performance of the Pesticide Leaching Model
Pemex	Petróleos Mexicanos
PIB	Producto interno bruto
PND	Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012
PNH	Programa Nacional Hídrico
PNI	Plan Nacional de Implementación
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PPAG	Procuraduría de Protección al Ambiente del estado de Guanajuato
Prokasih	Clean River Program or Program Kali Bersih (Programa de Ríos Limpios)
PRZM	Pesticide Root Zone Model
P-V	primavera-verano
S.A. de C.V	Sociedad Anónima de Capital Variable
Sagarpa	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SAHR	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
SDA	Secretaría de Desarrollo Agropecuario del estado de Guanajuato
Secofi	Secretaría de Economía y Fomento Industrial
Sedesol	Secretaría de Desarrollo Social
Semarnat	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SHYCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público

SNIIM	Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados
SPARROW	SPAtially Referenced Regressions on Watershed attributes
SRA	Secretaría de la Reforma Agraria
SRL	Sociedad de Responsabilidad Limitada
SSA	Secretaría de Salubridad y Asistencia
SST	Sólidos Suspendidos Totales
STPS	Secretaría del Trabajo y Previsión Social
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
t	Toneladas
ton/ha	Toneladas por hectárea
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
URDERALES	Unidades de Riego para el Desarrollo Rural
USEPA	Agencia para la Protección Ambiental de Estados Unidos (United State Environmental Protection Agency)
USLE	Universal Soil Loss Equation
WEHABWorking Group	Water, Environment, Health, Agriculture and Biodiversity
Elementos Químicos	
B	Boro
C	Carbono
Ca	Calcio
Cl	Cloro
$CO(NH_2)_2$	Urea
CO_2	Dióxido de carbono
Cu	Cobre
DAP	Fosfato diamónico
Fe	Hierro
H	Hidrógeno
H_2O	Agua
K	Potasio
K_2O	Óxido de postasio
Mg	Magnesio
Mo	Molibdeno

N	Nitrógeno
N_2O	Óxido nitroso
NH_3	Amoniaco
$NH_4H_2PO_4$	Fosfato monoamónico
NO_5	Nitrato
O	Oxígeno
P	Fósforo
P_2O_5	Pentóxido de fósforo
S	Azufre
Zn	Zinc

Agricultura y contaminación del agua, es una obra del Instituto de Investigaciones Económicas de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se terminó de imprimir el 28 de septiembre de 2012. Se tiraron 500 ejemplares en impresión digital en los talleres de Publidisa, S.A. de C.V., calzada Chabacano 69, planta alta, col. Asturias, México, D.F. La formación tipográfica estuvo a cargo de José Dolores López Sánchez; se utilizaron fuentes Century Schoolbook, Univers Condensed de 11:13, 10:12, 9:11 y 8:10 puntos sobre papel cultural de 75 g. y los forros en cartulina couché de 250 g. El cuidado de la edición estuvo a cargo de Hélida De Sales Y.

ANEXO
Agricultura
y contaminación del agua

Anexo 1
Metodología del capítulo 2

Karla Alethya Jara Durán
Andrea Santos Baca

La información a partir de la cual se diseñó la muestra de productores a entrevistar se obtuvo en dos etapas. En la primera, la Comisión Nacional del Agua (Conagua) proporcionó un sistema de información georreferenciada (formato Arc-View GIS) con el cual se ubicaron los módulos del Distrito de Riego 011 (DR011) que se consideraron más importantes para los fines de la investigación. En la segunda etapa, en visitas de campo a los módulos seleccionados el personal de estos proporcionó información sobre cultivos y tipo de riego para cada usuario en los ciclos agrícolas –otoño-invierno 2007-2008 y primavera-verano 2008 Con la información de la Conagua y la obtenida en los módulos de riego se diseñó, una muestra representativa del agricultor "tipo" de los siete módulos seleccionados de un total de 10 que integran el DR011.

Selección de los de módulos de riego

El sistema georreferenciado proporcionado por la Conagua (de 1993) incluye información sobre carreteras, cuerpos de

agua, drenes, vías de ferrocarril, poblaciones y ríos en el DR011. Con esta información con la cual se seleccionaron los siete módulos más cercanos a los principales cuerpos de agua de la región: Cortazar, Jaral del Progreso, Valle de Santiago, Salamanca, Huanímaro, Salvatierra y Acámbaro. Aunque los contaminantes son transportados por el agua de los diferentes afluentes, se consideró que su concentración sería mayor en los cuerpos de agua más importantes. La información específica para cada módulo de riego contiene tablas de atributos con los siguientes datos: número de identificación de la unidad de producción (id, N°_parc, Cuenta, Subcuenta), número de identificación geográfica (Unidad, Zona, Sección), tipo de tenencia de la tierra, datos geográficos generales (estado, municipio, ejido), sistema de riego, equipo de bombeo (privado o público), datos del propietario de la unidad de producción (apellidos, nombre), superficie física y de riego y fecha de generación de esa información.[1]

Para seleccionar los siete módulos de riego más cercanos a los diferentes brazos del río Lerma se utilizó esta información y se realizaron las siguientes tareas:

1. En cada módulo se seleccionaron las unidades de producción localizadas a la orilla del río.
2. Con esa selección se construyó una nueva capa o mapa, que se identificó con el nombre del módulo y la terminación "ribera", ejemplo: Salamancaribera.
3. A partir de los cuadros de atributos de cada uno de los mapas, se exportó la información a Excel para realizar las operaciones necesarias.
4. Se calcularon logaritmos naturales de las superficies de riego para normalizar la distribución y, de esta manera, determinar el tamaño de las unidades de producción. La fórmula utilizada fue superficie de

[1] La información de la Conagua no incluye cultivos.

riego $(1 + \ln n)$, para evitar obtener números negativos.

5. Se ordenaron los logaritmos naturales de la superficie de riego de menor a mayor para elaborar clases, y posteriormente construir histogramas de la distribución normalizada de las superficies de riego de cada módulo.
6. Se calculó el promedio y la desviación estándar de los logaritmos naturales de las superficies de riego de cada módulo.
7. En general, la superficie del DR011, mostró estar altamente fraccionada. Por esta razón, se determinó que el tamaño de las unidades de producción sería un segundo criterio de selección, y que solamente interesarían las medianas y grandes. Para identificar a las unidades de producción grandes y medianas se empleó el criterio estadístico de las distribuciones normales: unidades cuya superficie fuera igual o mayor al promedio más dos y tres desviaciones estándar, lo que se denominó como S2 y S3 respectivamente.
8. Se asignó una clave única de identificación a cada una de las unidades de producción de los 11 módulos para poder empatar los logaritmos de la superficie de riego con las imágenes de Arc View. Esta clave se elaboró de esta manera porque las proporcionadas por la Conagua como claves de identificación, contenían problemas que impedían relacionar los datos. Así, se acordó que las claves se integrarían mediante las primeras dos letras del nombre del módulo y el número según el listado en las imágenes de Arc View proporcionadas.
9. Se importó al formato Arc View la información manejada en Excel (los logaritmos de las superficies de riego) y se unieron los cuadros de logaritmos naturales con las tablas de atributos de las unidades de producción ribereñas.
10. En los mapas de las unidades de producción ribereñas, se identificaron las unidades medianas y grandes

o que su superficie de riego era mayor a 2S y 3S. Además, se identificaron las unidades sin datos.

11. Por último, se exportaron o se convirtieron en nuevas capas los mapas de las unidades medianas, grandes y aquellos que no tenían datos para identificarlos con mayor facilidad.

Manejo de la información obtenida en los módulos de riego seleccionados

En esta etapa de la investigación se sistematizó la información obtenida en la primera visita a los siete módulos de riego seleccionados. El objetivo principal de este trabajo fue elaborar una muestra representativa de agricultores, por cultivo y tipo de riego, de los ciclos agrícolas otoño-invierno 2007/2008 y primavera-verano 2008, en los módulos de riego: Cortazar, Valle de Santiago, Jaral del Progreso, Huanímaro, Acámbaro, Salamanca, Salvatierra.

Para llevar a cabo esta tarea, se construyeron patrones de cultivos con base en dos fuentes: la relación de pagos que los usuarios realizan a los módulos por concepto de riego por gravedad, y las hojas de campo de los "canaleros" (trabajadores del módulo que se encargan de abrir los canales de distribución de agua para proporcionar riego a las parcelas o unidades) en el caso de los usuarios que utilizan pozo particular u oficial.

La información de riego por gravedad se obtuvo en forma digital y la de pozos, impresa, lo que requirió un trabajo adicional para su captura y sistematización en el programa Excel. Una vez digitalizada toda la información se realizaron las siguientes operaciones con el objetivo de seleccionar la muestra de agricultores:

1. Se consideró únicamente la superficie reportada para el primer riego con el objetivo de evitar la duplicación

de la información, primer riego que coincide con la superficie sembrada.

2. A continuación, se separó la información por ciclo agrícola y tipo de riego. Además, se eliminaron a los usuarios que no tenían datos sobre superficie de riego y cultivo.
3. Los datos de los ciclos agrícolas OI 2007-2008 (Otoño-Invierno) y PV 2008 (Primavera-Verano) y para cada tipo de riego, se procesaron de la misma manera; por tal motivo, lo que se señala a continuación aplica para ambos ciclos y todos los tipos de riego.
4. Se ordenaron los datos de los usuarios de manera ascendente, de acuerdo con la superficie sembrada para cada cultivo y se calcularon la superficie total y el número de usuarios, el promedio y la desviación estándar.
5. Para establecer la importancia de cada módulo en el DR011, se elaboró un cuadro estadístico con superficies y usuarios totales por módulo; sus porcentajes respecto al total del distrito, y porcentajes respecto del total correspondiente a la selección de los siete módulos.
6. Asimismo, se calculó la superficie total, número de usuarios, promedio y desviación estándar por cultivo.
7. Partiendo de esta información, se elaboró un cuadro estadístico para cada ciclo agrícola que contiene los siguientes datos:

   - Superficie sembrada total, número de usuarios, promedio, desviación estándar y porcentaje de la superficie sembrada con respecto a la superficie total del módulo, para cada tipo de riego.
   - Para cada uno de los cultivos y tipos de riego: superficie sembrada total, número de usuarios, promedio, desviación estándar, así como nombre del usuario, sección, número de lote y superficie sembrada.

- Porcentaje de la superficie sembrada total, sumando todos los tipos de riego para cada cultivo con respecto a la superficie total que conforma al módulo.
- De la misma manera, se elaboró otro cuadro estadístico con la misma información que el anterior, pero con los datos agregados, con el objeto de determinar la importancia de cada cultivo en el módulo correspondiente.

8. Con el objetivo de determinar el tamaño de las superficies sembradas por cultivo, se aplicaron logaritmos naturales a las superficies sembradas para "normalizar" la distribución.
9. A partir de los resultados, se calcularon promedios y desviaciones estándar. Del mismo modo, se determinaron –S1, –S2, –S3, S1, S2 y S3, los cuales se definen por medio de la fórmula: promedio ± (*n*) desviación estándar, según sea el caso.
10. Se asignó un color a cada una de las desviaciones y se identificaron las superficies correspondientes a cada una de las desviaciones estándar seleccionadas para cada cultivo.
11. Para clasificar el tamaño de las superficies sembradas en pequeñas, medianas y grandes, se consideró que en la distribución normal los rangos que van de –S2 al límite superior de S1, abarcan más de 60% de la distribución y pueden corresponder a superficies pequeñas; los rangos que van del límite inferior de S2 al límite inferior de S3, se consideraron de tamaño mediano y los mayores a S3, superficies grandes.
12. Una vez establecido el tamaño de las superficies, se construyó un cuadro para cada ciclo agrícola, en el cual se incluyó: tamaño o categoría, rango de valor que abarca cada categoría, superficie total por tipo de riego y para cada tamaño o categoría, y porcentaje de la superficie de cada categoría con respecto a la

superficie total del tipo de riego para el cultivo correspondiente.

13. Por último, conforme a la importancia de cada cultivo, el tamaño de la superficie sembrada y su representatividad, seleccionamos una muestra representativa de agricultores, es decir, los tipos de usuarios que serían entrevistados posteriormente, en cada módulo.

En las reuniones con autoridades, directivos y canaleros de los módulos, se entregó la lista con el número de productores según los criterios de cultivo, rango de superficie y cultivo necesarios para la muestra. Pero para la selección específica de los productores a entrevistar se siguieron las sugerencias realizadas por los módulos, siempre respetando las especificaciones del cultivo, rango de superficie y el tipo de riego señaladas. De otra forma era sumamente difícil –si no imposible–, acudir a los predios seleccionados a priori y localizar a los productores y contar con su anuencia para aplicar el cuestionario.

Cuadro 1. Unidades de producción a la orilla del río en el DR011

Módulo	No. total de unidades de producción	No. total de unidades de producción sin información	Superficie total (ha)[a]	Superficie de riego (ha)		No. unidades de producción con sup. de riego > (u+ S3)	No. unidades de producción con sup. de riego > (u+ S2)
				Promedio (u)	Desv.est.(S)		
Salvatierra	557	122	906	2.1	2.6	5	14
Purísima	121	42	435	5.5	10.0	1	5
Irapuato	266	55	1 172	5.6	7.8	2	13
Corralejo	32	5	85	3.2	1.8	1	1
Abasolo	107	6	604	6.0	5.5	1	3
Acámbaro	207	23	682	3.7	4.8	1	9
Cortazar	235	22	780	3.7	5.0	4	9
Huanimaro	333	18	828	2.6	2.6	1	10
Jaral del Progreso	478	16	1 176	3.8	4.6	3	22
Salamanca	394	17	1 633	4.3	6.7	3	14
Valle de Santiago	75	24	261	5.1	1.1	0	2
TOTAL	2805	350	8 561			22	102

a Con los datos disponibles.
S3: tres desviaciones estándar
S2: dos desviaciones estándar
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 2. Unidades de producción grandes (superficie de riego mayor que S3)

Número de predios: 22				Superficie total: 765.04 ha (8.9%)	
Módulo	Clave	Sup. Riego	Módulo	Clave	Sup. Riego
Salvatierra	sa504	17.75	Cortazar	CZ187	25
	sa506	18.15		CZ119	33
	sa503	19.45		CZ118	33
	sa505	19.95		CZ117	33
	sa403	22.4	Huanímaro	HU325	21.1
Purísima	pu099	71.25	Jaral	JA142	28.25
Irapuato	ir097	44.65		JA145	34.65
	ir137	61.7		JA186	39.65
Corralero	co010	8.84	Salamanca	SM250	43
Abasolo	ab083	38.9		SM162	52.1
Acámbaro	AC034	42.5		SM248	56.75

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3. Unidades de producción medianas (superficie de riego mayor que S2)

Número de predios: 102			Superficie: 2.334.5 ha (27.2%)		
Módulo	Clave	Sup. Riego	Módulo	Clave	Sup. Riego
Salvatierra	sa329	7.35	Acámbaro	AC006	15.6
	sa518	7.6		AC060	15.9
	sa347	7.75		AC059	15.9
	sa514	7.75		AC053	15.9
	sa397	9.1		AC014	17.5
	sa330	9.2		AC009	19
	sa419	9.25		AC013	19.25
	sa391	10.35		AC015	20
	sa085	10.95		AC034	42.5
	sa504	17.75	Cortazar	CZ092	14
	sa506	18.15		CZ227	14.65
	sa503	19.45		CZ116	18
	sa505	19.95		CZ146	20
	sa403	22.4		CZ120	20
Purísima	pu110	21		CZ187	25

Continúa...

Continuación...

	pu010	25.75		CZ119	33
	pu097	32.3		CZ118	33
	pu112	34.15		CZ117	33
	pu099	71.25	Huanímaro	HU274	9.4
Irapuato	ir096	20		HU237	9.4
	ir144	20		HU216	10.25
	ir182	20		HU315	10.45
	ir030	23.2		HU305	10.95
	ir106	24.35		HU330	13.95
	ir260	26.55		HU329	13.95
	ir261	26.55		HU327	13.95
	ir035	30.8		HU217	14.9
	ir098	31.65		HU325	21.1
	ir099	35.15	Jaral	JA143	13.2
	ir031	40		JA314	13.41
	ir097	44.65		JA300	13.5
	ir137	61.7		JA263	13.75
	ir096	20		JA429	14.6
Corralejo	co010	8.84		JA426	14.85
Abasolo	ab043	23.4		JA129	15
	ab085	28.3		JA163	15.75
	ab083	38.9		JA478	16.45
Salamanca	SM040	20		JA475	16.8
	SM107	22		JA115	18.75
	SM282	22.15		JA444	19.3
	SM247	25.45		JA110	19.5
	SM041	25.7		JA470	20
	SM281	26.7		JA340	20
	SM204	26.85		JA335	20
	SM260	27.35		JA181	20
	SM221	29.15		JA339	22
	SM075	37		JA477	24.4
	SM077	37.1		JA142	28.25
	SM250	43		JA145	34.65
	SM162	52.1		JA186	39.65
	SM248	56.75	Valle	VA24	21.7
				VA23	21.7

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4. Usuarios registrados, superficie por módulo y total en el DR011

	Superficie (ha)	% respecto del Distrito	% respecto de total 7	Usuarios	% respecto del Distrito	% respecto de total 7	ha/usuario
Total Distrito	115 536.2	100.0		25 543	100		5.0
Total 7[a]	82 672.1	71.6	100.0	17 583	68.8	100	5.0
Abasolo	17 978.4	15.6		5 498	21.5		3.3
Acámbaro	8 550.9	7.4	10.3	1 738	6.8	9.9	4.9
Corralejo	1 556.5	1.4		275	1.1		5.7
Cortazar	18 330.9	15.9	22.2	3 045	11.9	17.3	6.0
Huanímaro	3 803.0	3.3	4.6	834	3.3	4.7	4.6
Irapuato	8 330.7	7.2		1 268	5.0		6.6
Jaral del Progreso	6 713.7	5.8	8.1	1 390	5.4	7.9	4.8
La Purísima	4 998.4	4.3		1 018	4.0		4.9
Salamanca	15 914.8	13.8	19.3	2 702	10.6	15.4	5.9
Salvatierra	16 071.9	13.9	19.4	5 523	21.6	31.4	2.9
Valle de Santiago	13 286.8	11.5	16.1	2 252	8.8	12.8	5.9

[a]Acámbaro, Cortazar, Huanímaro, Jaral del Progreso, Salamanca, Salvatierra, Valle de Santiago.
Fuente: Gerencia en el estado de Guanajuato. Comisión Nacional del Agua-Semarnat.

Cuadro 5. Módulo Valle de Santiago. Patrón de cultivos agregados, ciclo otoño-invierno 2007-2008

Cultivo	Tipo de riego	Superficie (ha)	% Sup. tot.	Usuarios	% Usuar. tot.
Total Mod		6 625.81	100	1 812	100
Cebada	Gravedad	4 485.44	67.7	1 137	62.75
Trigo	Gravedad	2 098.83	31.68	644	35.54

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 6. Módulo Valle Santiago. Patrón de cultivos agregados, ciclo primavera-verano 2008

Cultivo	Tipo de riego	Superficie (ha)	% sup. cult.	Usuarios	% usu. cult.
Maíz		4 689.5	100	1 084	100
	Gravedad	2 630.2	56.1	801	73.9
	Pozo particular	2 009.6	42.9	267	24.6
	Pozo oficial	49.7	1.1	16	1.5
Sorgo		5 366.4	100.0	1 015	100
	Gravedad	3 789.2	70.6	801	78.9
	Pozo particular	1 547.2	28.8	201	19.8
	Pozo oficial	30.1	0.6	13	1.3
Alfalfa		944.6	100.0	510	100
	Gravedad	646.0	68.4	434	85.1
	Pozo particular	283.7	30.0	69	13.5
	Pozo oficial	15.0	1.6	7	1.4
Espárrago		106.1	100	6	100
	Pozo particular	106.1	100	6	100

Cultivo	Superficie (ha)	% Sup tot.	Usuarios	% Total de usuarios
Total mod	11 147.2	100	2 609	100
Maíz	4 689.5	42.1	1 084	41.6
Sorgo	5 366.4	48.1	1 015	38.9
Alfalfa	944.6	8.5	510	19.6

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 7. Módulo Cortazar. Patrón de cultivos agregados, ciclo otoño-invierno 2007-2008

Cultivo	Tipo de riego	Promedio	Desv. est.	Usuarios por cultivo	Superficie sembrada (ha)	% del total
Superficie total Cortazar (ha)					18 400.0	100
	Gravedad	3.2	3.0	2 891	9 150.8	49.73
	Pozo particular	17.5	18.1	296	5 189.8	28.21
	Pozo oficial	22.1	16.2	69	1 525.4	8.29
Total				3 256	15 866.0	86.23
Ajo	Gravedad	2.6	1.4	3	7.8	
	Pozo particular	22.0	23.8	5	110.0	
Subtotal					117.8	0.64
Apio	Gravedad			1	8.0	
	Pozo particular			1	8.0	
Subtotal					16.0	0.09
Brócoli	Gravedad	2.4	1.6	4	9.4	
	Pozo particular	30.4	20.7	44	1 336.2	
	Pozo oficial			1	15.8	
Subtotal					1 361.4	7.40
Calabaza						
	Gravedad	0.6	0.5	2	1.3	
subtotal					1.3	0.01
Cebolla	Gravedad	1.3	0.6	20	26.1	
	Pozo particular	14.0	12.1	9	125.9	
	Pozo oficial	4.2	1.1	2	8.5	
Subtotal					160.4	0.87
Cilantro	Gravedad	1.0	0.7	2	2.0	

Continúa...

Continuación...

Subtotal					2.0	0.01
Coliflor	Pozo particular			1	85.9	
Subtotal					85.9	0.47
Col	Gravedad			1	1.0	
Subtotal					1.0	0.01
Chile	Gravedad	3.0	0.5	2	6.1	
Subtotal					6.1	0.03
Espárrago	Pozo particular	14.0	8.5	2	28.0	
Subtotal					28.0	0.15
Lechuga	Gravedad	2.7	2.8	3	8.2	
	Pozo particular	16.9	14.6	28	471.8	
	Pozo oficial	7.3	2.3	4	29.1	
Subtotal					509.1	2.77
Rábano	Gravedad			1	0.7	
Subtotal					0.7	0.00
Sandía	Gravedad			1	1.1	
Subtotal					1.1	0.01
Tomate	Gravedad	3.2	3.0	5	16.2	
	Pozo particular			1	1.0	
	Pozo oficial	7.4	0.5	2	14.8	
Subtotal					32.0	0.17
Nopal	Pozo particular			1	3.0	
Subtotal					3.0	0.02
1. Subtotal hortalizas					2 165.0	12.64
Alfalfa	Gravedad	1.5	1.3	59	90.3	
	Pozo particular	12.8	18.7	15	192.4	
	Pozo oficial	5.0	4.0	7	35.2	

Subtotal					318.0	1.73
Cebada	Gravedad	3.8	3.6	649	2 451.1	
	Pozo particular	16.6	15.8	65	1 077.8	
	Pozo oficial	20.0	13.2	18	360.1	
Subtotal					3 888.9	21.14
Maíz	Gravedad	1.3	0.6	8	10.0	
Subtotal					10.0	0.05
Sorgo	Gravedad			1	1.0	
Subtotal					1.0	0.01
Trigo	Gravedad	3.2	2.8	2 022	6 368.8	
	Pozo particular	14.1	16.6	123	1 737.9	
	Pozo oficial	30.3	15.6	35	1 062.1	
Subtotal					9 168.7	49.83
2. Subtotal Granos + Alfalfa					13 386.5	72.75
3. Subtotal principales cultivos					15 551.6	85.39
Avena	Gravedad	1.6	1.3	9	14.8	
	Pozo particular			1	12.0	
Subtotal					26.8	0.15
Cacahuate	Gravedad	1.3	0.8	11	14.0	
Subtotal					14.0	0.08
Frijol	Gravedad	1.4	1.1	17	24.4	
Subtotal					24.4	0.13
Garbanzo	Gravedad	1.3	0.8	70	88.9	
Subtotal					88.9	0.48
4. Subtotal otros cultivos					154.0	0.84
Total					15 705.6	86.23

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 8. Módulo Cortazar. Patrón de cultivos agregados, ciclo primavera-verano 2007-2008

Cultivo	Tipo de riego	Promedio	Desv. est.	Usuarios por cultivo	Superficie sembrada (ha)	% del total
Superficie total Cortazar (ha)					18 400.0	100
	Gravedad	3.12	2.88	2 830	8 843.3	48.06
	Pozo particular	17.45	18.6	297	5 182.4	28.17
	Pozo oficial	22.85	16.15	66	1 507.8	8.19
Total					15 533.6	84.42
Maíz	Gravedad	2.84	3.57	708	2 013.0	
	Pozo particular	23.76	21.39	137	3 255.3	
	Pozo oficial	16.22	13.66	25	405.5	
Subtotal					5 673.8	30.84
Sorgo	Gravedad	3.28	2.62	2 045	6 700.2	
	Pozo particular	11.58	11.87	126	1 458.9	
	Pozo oficial	34.09	11.6	31	1 056.7	
Subtotal					9 215.8	50.09
1. Subtotal granos					14 889.6	80.92
Alfalfa	Gravedad	1.65	1.22	53	87.6	
	Pozo particular	20.74	27.17	15	311.1	
	Pozo oficial	4.74	3.42	8	37.9	
Subtotal					436.6	2.37
Brócoli	Pozo particular			1	9.5	

Subtotal					9.5	0.05
Caña	Gravedad			1	1.1	
Subtotal					1.1	0.01
Cacahuate	Gravedad	1.83	2.23	2	3.7	
Subtotal					3.7	0.02
Calabaza	Gravedad			1	0.7	
Subtotal					0.7	0.00
Cebolla	Gravedad	3.02	1.5	8	24.2	
	Pozo particular	11.36	9.68	4	45.5	
	Pozo oficial			1	3.0	
Subtotal					72.6	0.39
Chile	Pozo particular			1	17.6	
Subtotal					17.6	0.10
Cilantro	Gravedad			1	0.7	
Subtotal					0.7	0.00
Espárrago	Pozo particular	13.98	8.52	2	28.0	
Subtotal					28.0	0.15
Frijol	Gravedad	0.76	0.55	5	3.8	
	Pozo particular			1	5.0	
Subtotal					8.8	0.05
Garbanzo	Gravedad			1	1.0	
Subtotal					1.0	0.01
Lechuga	Gravedad			1	1.0	
	Pozo particular	5.45	3.49	7	38.2	
	Pozo oficial			1	4.8	

Continúa...

Continuación...

Subtotal					43.9	0.24
Melón	Gravedad			1	1.5	
Subtotal					1.5	0.01
Nopal	Pozo particular			1	3.0	
Subtotal					3.0	0.02
Rábano	Gravedad	0.78	0.46	2	1.6	
Subtotal					1.6	0.01
Tomate	Gravedad			1	3.4	
	Pozo particular	5.23	0.95	2	10.5	
Subtotal					13.8	0.08
2. Subtotal otros					644.0	3.50
Total					15 533.6	84.42

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 9. Módulo Jaral del Progreso. Patrón de cultivos agregados, otoño-invierno 2007-2008

Superficie total Jaral del Progreso					7 406.10 (ha)	100
Cultivo	Tipo de riego	Promedio	Desv. est.	Usuarios por cultivo	Superficie sembrada (ha)	% del total
Ajo	Gravedad	6.33	6.086	6	37.95	
	Pozo particular	3.9	1.556	2	7.8	
Subtotal					45.75	0.62
Cebolla	Gravedad	0.65		1	0.65	
Subtotal					0.65	0.01
Lechuga	Gravedad	2.23	1.581	3	6.70	
	Pozo particular	3.85		1	3.85	

Subtotal					10.55	0.14
Brócoli	Gravedad	4.43	3.999	136	603.00	
	Pozo particular	7.81	7.942	72	562.00	
	Pozo oficial	2.7	1.027	14	38.00	
Subtotal					1 202.99	16.24
Zanahoria	Gravedad	1.8	1.131	7	12.58	
	Pozo particular	9.43	8.571	5	47.15	
	Pozo oficial	2.2	0.141	2	4.40	
Subtotal					64.13	0.87
1. Subtotal hortalizas					1 324.07	17.88
Cebada	Gravedad	3.37	4.047	664	2 235.78	
	Pozo particular	6.84	7.021	123	841.68	
	Pozo oficial	2.7	1.286	64	173.09	
Subtotal					3 250.55	43.89
Trigo	Gravedad	2.37	2.267	489	1 158.14	
	Pozo particular	7.89	6.471	22	173.51	
	Pozo oficial	2.62	1.297	29	75.84	
Subtotal					1 407.49	19.00
Alfalfa	Gravedad	2.16	2.509	60	129.39	
	Pozo particular	4.34	3.805	21	91.06	
	Pozo oficial	1.41	0.825	32	45.26	
Subtotal					265.71	3.59
2. Subtotal granos + alfalfa					4 923.75	66.48

Continuación...

Subtotal Princ cultivos						84.36
Avena	Gravedad	2.63		1	2.63	
Subtotal					2.63	0.04
Frijol	Gravedad	2.91	2.902	29	84.52	
	Pozo particular	3.33	1.025	2	6.65	
	Pozo oficial	4.19	1.729	6	25.15	
Subtotal					116.32	1.57
Garbanzo	Gravedad	1.41	0.978	24	33.88	
Subtotal					33.88	0.46
Cacahuate	Gravedad	0.97	0.661	13	12.66	
	Pozo particular	4.35		1	4.35	
Subtotal					17.01	0.23
Sandía	Gravedad	1.62		1	1.62	
	Pozo particular	1.95		1	1.95	
	Pozo oficial	3.11		1	3.10	
Subtotal					6.67	0.09
Camote	Gravedad	2.14		1	2.14	
Subtotal					2.14	0.03
3. Otros					178.65	2.41
4. Sin datos					989.96	13.37
Total					6 426.47	86.77

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 10. Módulo Jaral del Progreso. Patrón de cultivos agregados, ciclo primavera-verano 2008

Superficie total Jaral del Progreso					7 409.85 (ha)	100
Cultivo	Tipo de riego	Promedio	Desv. est.	Usuarios por cultivo	Superficie sembrada (ha)	% del total
Maíz	Gravedad	2.99	3.49	1 307	3 913.93	
	Pozo particular	6.97	7.01	243	1 694.28	
	Pozo oficial	2.61	1.30	116	302.34	
Subtotal					5 910.55	79.77
Sorgo	Gravedad	3.24	3.53	124	401.43	
	Pozo particular	14.13	7.05	4	56.50	
	Pozo oficial	2.19	1.08	14	30.62	
Subtotal					488.55	6.59
1. Subtotal granos					6 399.10	86.36
Alfalfa	Gravedad	2.21	2.58	56	123.89	
	Pozo particular	4.61	4.19	17	78.32	
	Pozo oficial	1.22	0.59	26	31.70	
Subtotal					233.91	3.16
Cacahuate	Gravedad	0.97	0.66	13	12.66	
	Pozo particular	4.35		1	4.35	
Subtotal					17.01	0.23
Brócoli	Gravedad	2.00		1	2.00	
Subtotal					2.00	0.03
Chile	Gravedad	4.98	1.17	2	9.95	

Subtotal					9.95	0.13
Camote	Gravedad	2.14		1	2.14	
Subtotal					2.14	0.03
Frijol	Gravedad	2.18	0.89	4	8.71	
	Pozo oficial	6.00		1		
Subtotal					8.71	0.12
2. Subtotal otros					273.72	3.69
3. Sin dato					731.03	9.87
Total					6 672.82	90.05

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Estadísticas

Cuadro 11. Volúmenes de extracción de agua (m^3) en los DR011 y DR085 por año y cultivo

Año	DR011			DR085	
	Maíz	Sorgo	Caña de azúcar	Maíz	Sorgo
1989	18 193	152 619	158	3 469	13 124
1990	29 323	205 453	127	4 949	24 962
1991	34 026	103 929	67	2 276	5 811
1992	66 182	227 895	56	5 013	19 102
1993	190 951	188 828	157	10 572	5 644
1994	182 819	225 026	269	10 837	12 366
1995	64 348	251 654	172	9 263	14 936
1996	41 965	238 314	205	1966	5 883
1997	34 382	215 523	184	1 979	5 819
1998	49 651	312 441	144	2 137	11 414
1999	62 262	220 943	107	4 440	11 552
2000	103 759	344 332	140	7 378	23 461
2001	78 397	251 426	86	1 914	7 515
2002	98 063	199 356	58	3 818	7 689
2003	76 889	159 518	75	2 139	3 575

Fuente: Conagua, 2007a.

Cuadro 12. Producción de maíz grano en el DR011 durante el ciclo agrícola 2004-2007

Año agrícola	Superficie (ha)		Producción	Valor de la cosecha
	Sembrada	Cosechada	(Ton)	(Miles $)
2006-2007				
Otoño-invierno	133.0	133.0	1 121.0	2 444.9
Primavera-verano	7 471.0	7 471.0	68 470.0	144 885.2
Segundos cultivos	23 752.0	23 752.0	216 115.0	445 200.3
2005-2006				
Otoño-invierno	6.0	6.0	48.0	98.2
Primavera-verano	15 145.0	15 145.0	141 732.0	304 334.8
Segundos cultivos	9 487.0	9 487.0	82 824.0	176 958.0
2004-2005				
Otoño-invierno	3.0	3.0	21.0	33.3
Primavera-verano	8 924.0	8 924.0	76 338.0	104 501.8
Segundos cultivos	31 353.0	31 353.0	291 283.0	418 563.0

Fuente: Conagua, 2007a.

Cuadro 13. Producción de sorgo en el DR011 durante el ciclo agrícola 2004-2007

Año agrícola	Superficie (ha)		Producción	Valor de la cosecha
	Sembrada	Cosechada	(Ton)	(Miles $)
2006-2007				
Otoño-invierno				
Primavera-verano	10 959.0	10 959.0	88 211.0	178 101.8
Segundos cultivos	40 714.0	40 714.0	342 823.0	712 873.3
2005-2006				
Otoño-invierno				
Primavera-verano	15 346.0	15 346.0	139 410.0	243 671.2
Segundos cultivos	20 124.0	20 124.0	172 975.0	308 649.4
2004-2005				
Otoño-invierno				
Primavera-verano	5 197.0	5 197.0	47 897.0	63 155.5
Segundos cultivos	43 252.0	43 252.0	387 442.0	508 947.2

Fuente: Conagua, 2007a.

Cuadro 14. Producción de caña de azúcar en el DR011 durante el ciclo agrícola 2004-2007

Año agrícola	Superficie (ha)		Producción	Valor de la cosecha
	Sembrada	Cosechada	(Ton)	(Miles $)
2006-2007				
Perennes	3.0	3.0	326.0	163.1
2005-2006				
Otoño-invierno	5.0	5.0	559.0	290.4
2004-2005				
Otoño-invierno	7.0	7.0	806.0	403.2

Fuente: Conagua, 2007a.

Cuadro 15. Producción de maíz grano en el DR085 durante el ciclo agrícola 2006-2007

Año agrícola	Superficie (ha)		Producción	Valor de la cosecha
	Sembrada	Cosechada	(Ton)	(Miles $)
2006-2007				
Otoño-invierno	1.0	1.0	5.0	9.5
Primavera-verano	440.0	440.0	3 170.0	7 505.1
Segundos cultivos				
2005-2006				
Otoño-invierno				
Primavera-verano	467.0	467.0	3 267.0	8 167.8
Segundos cultivos				
2004-2005				
Otoño-invierno				
Primavera-verano	631.0	534.0	3 959.0	5 740.6
Segundos cultivos	302.0	302.0	2 114.0	3 065.3

Fuente: Conagua, 2007a.

Cuadro 16. Producción de sorgo en el DR085 durante el ciclo agrícola 2006-2007

Año agrícola	Superficie (ha)		Producción	Valor de la cosecha
	Sembrada	Cosechada	(Ton)	(Miles $)
2006-2007				
Otoño-invierno				
Primavera-verano	413.0	413.0	3 302.0	6 962.4
Segundos cultivos				
2005-2006				
Otoño-invierno				
Primavera-verano	1 370.0	1 370.0	10 961.0	19 730.2
Segundos cultivos				
2004-2005				
Otoño-invierno				
Primavera-verano	745.0	472.0	3 114.0	4 048.2
Segundos cultivos	1 088.0	1 088.0	8 704.0	11 315.2

Fuente: Conagua, 2007a.

Cuadro 17. Superficies sembrada, cosechada y producción histórica en los DR011 y DR085

Año	DR011									DR085					
	Superficie sembrada(ha)			Superficie cosechada (ha)			Producción (Ton)			Sup. Sembrada (ha)		Sup. Cosecha-da (ha)		Producción (Miles $)	
	Maíz	Sorgo	Caña	Maíz	Sorgo	Caña	Maíz	Sorgo	Caña	Maíz	Sorgo	Maíz	Sorgo	Maíz	Sorgo
1970	27 317	19 871	364	23 091	19 410	329	78 965	123 598	24 327	2 272	698	2 272	698	7 211	3 541
1971	16 418	21 037	304	15 221	18 669	246	48 779	111 476	16 033	2 091	926	2 091	926	7 881	5 026
1972	26 949	30 675	82	26 949	30 650	81	95 130	192 068	5 289	2 035	1 677	2 035	1 677	8140	8 553
1973	15 000	21560		12 791	18 719		41 438	131 076		1 019	2 461	1 019	2 461	4 076	14 766
1974	24 158	31911		23 983	31 791		89 729	223 931		3 130	1 619	3 130	1 619	12 520	9 321
1975	11 617	27 000	18	11 617	27 000	7	44 416	189 321	50	1 565	2 444	1 565	2 444	5 937	15 084
1976	17 617	40 429		15 806	38 593		58 309	264 157		2 237	2 138	2 030	2 123	6 779	11 669
1977	31 347	54 310		31 347	54 310		107 104	338 563		4 190	3 035	4 183	3 035	22 778	20 302
1978	25 270	63 501	9	25 270	63 501	9	99 526	457 200	585	3 249	4 193	3 249	4 193	18 007	29 027
1979	21 477	64 100		21 140	63 378		73 415	383 285		1 621	4 440	1 621	4 440	8 399	2 8145
1980	22 743	59 682		22 704	59 475		98 090	364 501		2 666	911	2 666	911	17 115	6 460
1981	23 105	66 786		23 052	66 678		89 486	440 547		2 149	1 905	2 149	1 905	11 460	14 149
1982	27 571	68 978		26 658	66 888		120 551	537 627		1 867	1 971	1 839	1 920	9 046	12 258
1983	14 935	66 808		14 922	66 808		70 417	524 458		2 524	3 155	2 379	3 155	8 679	21 642
1984	11 031	60 859		11 008	60 590		49 914	434 591		795	2 457	795	2 457	2 942	15 233
1985	9 477	77 207		9 472	77 151		38 431	548 082		714	2 128	714	2128	3 214	14 045
1986	3 457	4 863		3 456	4 843		14 212	33 692		916	1 898	916	1 898	2 748	11 768
1987	13 225	75 019	34	13 216	74 930	33	53 883	547 981	2 211	831	2 100	831	2 100	3 489	16 590

Continúa...

Continuación...

1988	11 296	81 793		11 294	81 793		46 839	638 156		717	2 672	717	2 672	2 725	22 445
1989	3 335	33 502		3 335	33 485		11 821	248 926		284	945	284	945	1 136	6 143
1990	8 375	65 611		8 375	65 581		35 139	460 851		698	2 824	698	2 824	2 444	14 120
1991	7 942	30 073		7 654	29 522		42 843	223 536		103	279	103	279	381	1 395
1992	13 431	50 838		13 374	50 776		71 437	347 897		759	2 834	759	2 834	3 241	20 692
1993	35 135	37 302		35 135	37 010		182 273	262 840		1 568	954	1 568	954	8 630	7 155
1994	36 522	44 965		36 506	44 936		213 177	308 589		1 466	1 506	1 466	1 506	7 037	11 296
1995	12 485	53 961		12 485	53 955		82 231	432 670		1 235	1 982	1 235	1 982	8 645	15 856
1996	9 874	60 756		9 874	60 756		64 551	489 611		355	987	355	987	2 308	7 896
1997	8 222	61 830	23	8 222	61 830	23	55 077	525 556	1 495	319	793	319	793	2 074	6 344
1998	9 993	70 074	18	9 993	70 074	18	69 951	630 666	1 170	318	1 984	318	1 984	1 749	15 872
1999	13 030	63 610	9	13 030	63 526	9	84 696	536 918	585	685	2 046	685	2 046	3 425	12 276
2000	17 515	60 464	13	17 515	60 464	13	148 426	510 310	959	728	2 194	728	2 194	5 096	17 552
2001	16 059	64 363	10	16 059	64 363	10	145 668	574 709	960	394	1 348	394	1 348	2 364	10 784
2002	22 091	58 490	6	22 091	58 490	6	185 795	534 560	468	628	1 346	628	1 346	3 798	9 288
2003	22 032	59 687	10	21 579	54 512	10	184 700	439 129	1 083	302	794	302	794	2 419	6 746
2004	26 241	53 325	7	26 241	53 325	7	263 527	494 471	794	655	1 491	655	1 491	4 913	12 674
2005	40 461	48 448	7	40 461	48 448	7	370 721	435 339	806	937	1 833	840	1 560	6 103	11 818
2006	24 638	35 471	5	24 638	35 471	5	224 604	312 386	559	467	1 370	467	1 370	3 267	10 961
2007	31 355	51 674	3	31 355	51 674	3	285 706	431 033	326	440	415	440	415	3 174	3 323

Fuente: Conagua, 2007a.

Cuadro 18. Porcentaje de productores que usaron composta, ciclo primavera-verano 2008 2008

Superficie de siembra	Emplea composta		Total
	No	Sí	
Pequeño	31.09	2.52	33.61
Mediano	34.45	2.52	36.97
Grande	25.21	4.20	29.41
Total	90.76	9.24	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 19. Porcentaje de productores que usaron control biológico de plagas, ciclo primavera-verano 2008 2008

Superficie de siembra	Control biológico		Total
	No	Sí	
Pequeño	31.93	0.84	32.77
Mediano	35.29	2.52	37.82
Grande	26.05	3.36	29.41
Total	93.28	6.72	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 20. Porcentaje de superficie en descanso, ciclo primavera-verano 2008 2008

Superficie en descanso (ha)	Superficie sembrada (rangos)			Total
	Pequeño	Mediano	Grande	
0	29.37	40.48	26.19	96.03
0.5			0.79	0.79
1	0.79			0.79
1.5	0.79			0.79
5			0.79	0.79
10			0.79	0.79
Total	30.95	40.48	28.57	100.00

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 21. Destino del rastrojo por superficie sembrada, ciclo primavera-verano 2008 2008 (%)*

	Superficie sembrada			Total
	Pequeño	Mediano	Grande	
No queda rastrojo	1.63	0.81		2.44
Quema	3.25	2.44		5.69
Barbecha e incorpora	0.81	0.81	0.81	2.44
Corta e incorpora	0.81	0.81	2.44	4.07
Empaca	0.81	3.25	2.44	6.50
Empaca e incorpora	5.69	10.57	2.44	18.70
Empaca y da a animales	6.50	4.07	0.81	11.38
Empaca y regala	2.44	2.44	2.44	7.32
Empaca y vende	2.44	1.63	4.07	8.13
Empaca para producción de champiñones y celulosa		0.81		0.81
Incorpora	1.63	2.44	0.81	4.88
Incorpora todo	*0.81*	*6.50*	*8.13*	*15.45*
Labranza cero	*1.63*	*1.63*	*1.63*	*4.88*
Labranza de conservación			*0.81*	*0.81*
Labranza mínima		*1.63*		*1.63*
Bate e incorpora	2.44		1.63	4.07
Incorporan en otros terrenos	0.81			0.81
Total	31.71	39.84	28.46	100.00

*Las categorías en cursivas se consideran prácticas sustentables.
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 22. Destino del rastrojo ciclo otoño-invierno 2007 2008*

Categorías	Frecuencia	%	% válido	% acumulado
No queda rastrojo	2	1.38	1.75	1.75
Quema	7	4.83	6.14	7.89
Barbecha e incorpora	4	2.76	3.51	11.40
Corta e incorpora	5	3.45	4.39	15.79
Empaca	8	5.52	7.02	22.81
Empaca e incorpora	17	11.72	14.91	37.72
Empaca y da a animales	10	6.90	8.77	46.49
Empaca y regala	7	4.83	6.14	52.63
Empaca y vende	8	5.52	7.02	59.65
Empaca para producción de champiñones y celulosa	4	2.76	3.51	63.16
Bate e incorpora	8	5.52	7.02	70.18
Incorpora	*4*	*2.76*	*3.51*	*73.68*
Incorpora todo	*18*	*12.41*	*15.79*	*89.47*
Labranza cero	*7*	*4.83*	*6.14*	*95.61*
Labranza de conservación	*3*	*2.07*	*2.63*	*98.25*
Labranza mínima	*2*	*1.38*	*1.75*	*100.00*
Subtotal prácticas sustentables	*34*	*23.45*	*29.82*	
Total con información	114	78.62	100.00	
Valores perdidos	31	21.38		
Total	145	100.00		

*Las categorías en cursivas se consideran prácticas sustentables.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 23. Prueba estadística de diferencias de medias para lámina empleada

Lámina empleada	Prueba	Valor T/F	P-valor	Prueba de homocedasticidad (p-valor)	Decisión
Tipo de riego otoño-invierno	T	2.52	0.014	0.80	Se rechaza *Ho*: $u_g = u_p$
Tipo de riego primavera-verano	T	1.59	0.114	0.018	No se rechaza *Ho*: $u_g = u_p$
Tamaño otoño-invierno	ANOVA	2.89	0.061	0.110	Se rechaza *Ho*: $u_c = u_m = u_g$
Tamaño primavera-verano	ANOVA	1.25	0.290	0.308	No se rechaza *Ho*: $u_c = u_m = u_g$

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 24. Comparación *post hoc* para lámina empleada por tamaño de productor otoño-invierno 2007 2008

Tamaño del productor		Diferencia de media	p–valor
Pequeño	Mediano	36.2976605	.050
	Grande	9.4647557	.851
Mediano	Chico	–36.2976605	.050
	Grande	–26.8329048	.333
Grande	Chico	–9.4647557	.851
	Mediano	26.8329048	.333

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 25. Prueba de diferencia de medias para lámina relativa

Lámina relativa	Prueba	Valor T/F	P-valor	Prueba de homocedasticidad (p-valor)	Decisión
Tipo de riego otoño-invierno	T	2.86	0.005	0.050	Se rechaza Ho: $u_{ug} = u_p$
Tipo de riego primavera-verano	T	1.54	0.125	0.027	No se rechaza Ho: $u_g = u_p$
Tamaño otoño-invierno	ANOVA	2.923	0.060	0.158	Se rechaza Ho: $u_c = u_m = u_g$
Tamaño primavera-verano	ANOVA	1.291	0.28	0.265	No se rechaza Ho: $u_c = u_m = u_g$

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 26. Comparación *post hoc* por tamaño de productor otoño-invierno 2007-2008 (lámina relativa)

Tamaño del productor		Diferencia de media	p–valor
Pequeño	Mediano	.74190	.056
	Grande	.08686	.969
Mediano	Chico	–.74190	.056
	Grande	–.65504	.223
Grande	Chico	–.08686	.969
	Mediano	.65504	.223

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 27. Prueba de diferencia de medias para escala de sobrerriego

Escala de sobre uso	Prueba	Valor T/F	P-valor	Prueba de homocedasticidad (p-valor)	Decisión
Tipo de riego otoño-invierno	T	1.71	0.091	0.285	Se rechaza *Ho*: $u_g = u_p$
Tipo de riego primavera-verano	T	1.39	0.168	0.007	No se rechaza *Ho:* $u_g = u_p$
Tamaño otoño-invierno	ANOVA	3.423	0.037	0.753	Se rechaza *Ho*: $u_c = u_m = u_g$
Tamaño primavera-verano	ANOVA	1.90	0.155	0.013	No se rechaza *Ho*: $u_c = u_m = u_g$

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 28. Comparación *post hoc* para tamaño de productor otoño invierno 2007-2008 (escala de sobrerriego)

Tamaño del productor		Diferencia de media	p–valor
Pequeño	Mediano	1.135	.069
	Grande	–.279	.880
Mediano	Chico	–1.135	.069
	Grande	–1.414	.067
Grande	Chico	.279	.880
	Mediano	1.414	.067

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 29. Prueba de hipótesis para diferencias de medias para costos asociados al riego

Costo asociado al riego	Prueba	Valor T/F	P-valor	Prueba de homocedasticidad (p-valor)	Decisión
Tipo de riego otoño-invierno	T	–1.539	0.128	0.000	No se rechaza *Ho*: $ug = U_p$
Tipo de riego primavera-verano	T	2.344	0.021	0.640	Se rechaza *Ho*: $u_g = U_p$
Tamaño otoño-invierno	ANOVA	2.089*	0.137	0.032	No se rechaza *Ho*: $u_c = U_m = U_g$
Tamaño primavera-verano	ANOVA	0.183	0.833	0.133	No se rechaza *Ho*: $u_c = U_m = U_g$

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3
Marco legal y normativo de los programas agroambientales en Guanajuato

Ámbito federal

Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012

Programa Nacional Hídrico 2007-2012 Conagua, Semarnat, 6 de agosto de 2007.

Programa de Medio Ambiente y Recursos Naturales 2007-2012

Ley de Aguas Nacionales

Artículo 96. En las zonas de riego y en aquellas zonas de contaminación extendida o dispersa, el manejo y aplicación de sustancias que puedan contaminar las aguas nacionales superficiales o del subsuelo, deberán cumplir con las normas, condiciones y disposiciones que se desprendan de la presente ley y sus reglamentos.

"La Comisión" promoverá en el ámbito de su competencia, las normas o disposiciones que se requieran para hacer compatible el uso de los suelos con el de las aguas, con el objeto de preservar la calidad de las mismas dentro de un ecosistema, cuenca hidrológica o acuífero.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

Artículo 120. Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetos a regulación federal o local:

III. Las descargas derivadas de actividades agropecuarias;
IV. La aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas;

Ley de Desarrollo Rural Sustentable
Ley de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria
Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales
Norma Oficial Mexicana-001-Semarnat-1996
Norma Oficial Mexicana-002-Semarnat-1997
Norma Oficial Mexicana-003-semarnat-1997

Ámbito estatal

Ley de Aguas para el estado de Guanajuato
Ley para la Protección y Preservación del Ambiente del estado de Guanajuato

Artículo 102
III. Los usos productivos de suelo deben evitar prácticas que favorezcan la erosión, degradación o modificación de las características topográficas.
IV. En las acciones de preservación y aprovechamiento sustentable de suelo deberán considerarse las medidas necesarias para prevenir o reducir su erosión, deterioro de las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo y la pérdida de la vegetación natural;

Artículo 103
I. Los apoyos a las actividades agrícolas que otorgue el Gobierno del estado, de manera directa o indirecta, sean de naturaleza crediticia, técnica o de inversión,

para que promuevan la progresiva incorporación de cultivos compatibles con la preservación del equilibrio ecológico y la restauración de los ecosistemas;

Artículo 104

Quienes realicen actividades agrícolas y pecuarias, deberán llevar a cabo las prácticas de preservación, aprovechamiento sustentable y restauración necesarias para evitar la degradación del suelo… y, en su caso, lograr su rehabilitación…

Ley para la Gestión Integral de Residuos del estado y los municipios de Guanajuato

Norma Técnica Ambiental NTA-IEE-005/2007

Procuraduría de Protección al Ambiente del estado de Guanajuato

Anexo 4
Metodología del apartado referente al uso de fertilizantes en México (capítulo 8) sobre insecticidas
Razones de uso

Con el objetivo de cuantificar la magnitud del empleo de cantidades superiores a las recomendadas, se construyó la razón de sobreúso, que es resultado de dividir la cantidad empleada entre el límite superior de la recomendación de cada una de las sustancias empleadas por los entrevistados (cuadro 31).

La razón de empleo de insecticida promedio en el ciclo primavera-verano es de 1.06 y de 0.98 en el ciclo otoño-invierno; pero los rangos difieren, en primavera-verano la razón máxima es de 6.89 y en otoño-invierno el valor máximo es de 3. Por tanto, la mayoría de los agricultores emplean una dosis de insecticidas, pero hay casos que emplean más de seis dosis, que pueden ser de un mismo insecticida o de diversos. Debido a que se considera el límite superior de las recomendaciones, un valor menor a 1 no necesariamente significa el empleo de cantidades inferiores a las recomendadas. De hecho, si la razón es igual o superior que 0.70 se está hablando de cantidades que corresponden al límite inferior de la recomendación.

En el ciclo primavera-verano se encuentran los valores más altos que corresponden al cultivo de maíz con una razón promedio de casi una dosis y media de insecticida. En el ciclo otoño-invierno, los dos cultivos, cebada y trigo, presentan casi los mismos valores, siendo ligeramente superior en el trigo.

Las dosis empleadas difieren según el tamaño del productor. En el ciclo primavera-verano, los productores medianos presentan las razones más elevadas, en promedio de 1.47 con un máximo de 6.89, mostrando una importante tendencia hacia el sobreúso. Le siguen los productores grandes y, por último, los pequeños que presentan valores correspondientes a una aplicación de cantidades adecuadas (alrededor de 1). En el ciclo otoño-invierno los productores grandes presentan la razón promedio más elevada, ligeramente superior a una dosis y, en general, los pequeños presentan los valores reducidos, que en términos de dosis significa que emplean las menores cantidades.

Se realizó la prueba estadística ANOVA-un factor, para determinar si las diferencias obtenidas por la encuesta en el uso de insecticidas entre productores pequeños, medianos y grandes no eran producto del azar. En los dos periodos se cumple el supuesto de homogeneidad de las varianzas. Los resultados presentados en el cuadro 32 apuntan a que las diferencias son significativas únicamente en el periodo primavera-verano con un nivel de confianza de 93 por ciento.

Para determinar con mayor precisión entre qué grupos se presentan diferencias, se realizó una comparación *post hoc* con el método Tukey, dado que el supuesto de homocedasticidad se cumple. El resultado (cuadro 33), apunta a que la diferencia se encuentra entre los productores chicos y los medianos con un nivel de confianza de 94%; estos productores son los que presentan las razones extremas, los usuarios chicos las más pequeñas y los usuarios medianos las más elevadas (cuadro 34).

Cuadro 30. Principales plagas en el DR011

Maíz	Sorgo	Trigo	Cebada
Alfilerillo	Chinche café		Pulgón de cogollo
Araña roja	Chinchilla	Araña roja	Pulgón de espiga
Cenicilla	Chocho		Pulgón de follaje
Chinches	Ergo		Pulgón ruso
Chocho			Gusano soldado
Diabrótica			
Enfemedad de raíz			
Gallina ciega	Gallina ciega		
Gusano cogollero	Gusano cogollero		
Gusano elotero			
Gusano de mazorca			
Gusano soldado	Gusano soldado		
Gusano trozador			
Palomilla	Mosca del sorgo		
Pulgón (mielecilla)	Pulgón (mielecilla)	Pulgón (mielecilla)	
Trips	Pulgón verde	Roya pulgón	
	Picudos		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 31. Dosis recomendadas de los insecticidas empleados en el DR011

Nombre comercial	Sustancia activa	Maíz	Sorgo	Cebada	Trigo	Referencia
Brigadier (kg/ha)	Bifentrina	45				
Carbofurán (kg/ha)	Carbofurán	20				
Furadán (kg/ha)	Carbofurán	20				
Furadán líquido (lt/ha)	Carbofurán	0.5				
Cipermetrina líquido (lt/ha)	Cipermetrina	0.7				
Cipermetrina (kg/ha)	Cipermetrina	20				
Control (lt/ha)	Clorpirifos	1.5	1.5			
Carioca (lt/ha)	Clorpirifos	1.5	1.5			
Lorsban (lt/ha)	Clorpirifos	1.5	1.5			
Magnum (lt/ha)	Clorpirifos	1.5	1.5			
Lorsban polvo (kg/ha)	Clorpirifos	15	15			
Disparo (lt/ha)	Clorpirifos-permetrina	1.5				
Dragón (lt/ha)	Diazinón			0.75	1.5	Cesaveg
Dimetoato (lt/ha)	Dimetoato	1		1.5	1	Cesaveg
Flecha (lt/ha)	Dimetoato	1		1.5	1	Cesaveg
Thimet (kg/ha)	Forato	30				
Karate (lt/ha)	Lambda-cihalotrina	0.4	0.5			
Malatión (lt/ha)	Malatión			1.5	1	INIFAP
Folidol(kg/ha)	Paratión metílico	28	30	25	25	INIFAP
Parationpolvo(kg/ha)	Paratión metílico	28		25	25	INIFAP
Parationliq (lt/ha)	Paratión metílico	1	1.5	1	1	INIFAP
Curacron (lt/ha)	Profenofos	0.4				
Force (kg/ha)	Teflutrina	20				
Triunfo(kg/ha)	Terbufos	20				

Fuente: Folletos Cesaveg, Folletos de INIFAP.

Cuadro 32. Prueba estadística de diferencias de medias ANOVA-un

Lámina empleada	Prueba	Valor-F	P-valor	Prueba de homocedasticidad (p-valor)	Decisión
Tanaño OI	ANOVA	0.78	0.066	0.151	Se rechaza *Ho*: $u_c = u_m = u_g$
Tamaño PV	ANOVA	0.859	0.427	0.58	No se rechaza *Ho*: $u_c = u_m = u_g$

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 33. Comparación *post hoc* para razón otoño-invierno 2007 2008

Tamaño		Diferencia de media	p-valor
Chico	Mediano	–0.615*	0.054
	Grande	–0.15	0.878
Mediano	Chico	0.615	0.054
	Grande	0.465	0.364
Grande	Chico	0.15	0.878
	Mediano	–0.46	0.364

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 34. Razones de uso de insecticidas por ciclo, cultivo y estrato.

Ciclo Cultivo Estrato de productor	Razón de uso de insecticidas (promedio)	Valor máximo de razón de uso de insecticidas
Primavera-verano		
Maíz	1.4	6.89
Sorgo	0.59	3.75
Chico	0.86	3.75
Mediano	1.47	6.89
Grande	1.01	3.89
Promedio	1.06	
Otoño-invierno		
Trigo	1.04	3.0
Cebada	0.90	2.0
Chico	0.93	3.0
Mediano	0.94	2.0
Grande	1.16	2.0
Promedio	0.98	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5.
Modelo de regresión lineal rendimiento-insumos para el DR011

Con la información obtenida en el DR011, se estimó una función de producción con el objetivo de identificar la relación entre los insumos agroquímicos (fertilizantes, insecticidas y herbicidas), agua y semilla con los rendimientos.

No existe una forma única para caracterizar a las funciones de producción bajo todas las condiciones ambientales posibles. La selección de cualquier tipo de ecuación para expresar el fenómeno de la producción, impone ciertas restricciones y supuestos respecto de las relaciones entre variables. Por lo general se emplea la función de producción Cobb Douglas, donde los coeficientes que se obtienen representan las elasticidades de producción. Esta forma de función permite que la productividad marginal sea constante, creciente o decreciente, pero supone una elasticidad de producción constante. Por tanto, no se puede emplear de manera satisfactoria cuando los datos presentan productos marginales positivos y negativos. Es decir, la función Cobb Douglas permite productividades marginales decrecientes, pero no un producto total decreciente. Este tipo de relación, en la que una gran cantidad de un insumo puede reducir el rendimiento total, se puede encontrar bajo determinadas condiciones biológicas, por ejemplo, la reacción

del producto a grandes cantidades de fertilizante. La función de producción cuadrática, por otro lado, sí permite este tipo de relaciones.

La forma de función que se estimó con el programa Stata, es una combinación de Cobb Douglas y cuadrática. La función se estimó de manera logarítmica aplicando la formula $ln(x+1)$ para rescatar los valores originales iguales a cero. Debido a que la lámina de riego se plantea como una variable fundamental, se decidió otorgarle un "peso" mayor (que el programa calcula automáticamente), o bien, un rango de importancia. El peso refleja el grado de importancia de la observación y no tiene una definición estadística formal, es una herramienta econométrica que nos permite corroborar la significancia global de un modelo para garantizar la significancia de los parámetros estimados. Con el objetivo de evaluar los efectos del sobreúso de fertilizante, se modeló esta variable al cuadrado por la posible reacción de la producción a las dosis que se emplean.

La función de producción estimada corresponde al periodo otoño-invierno 2007/2008, y se estima de manera conjunta para los cultivos del trigo y la cebada. En un primer momento se incluyeron 14 variables: tamaño de productor (chico, mediano y grande), semilla (kg/ha), lámina de riego (cm), fertilizante (nitrógeno), seis herbicidas (sal dimetilamina del ácido 2,4-D; tralkoxidim; pinoxaden; clodinafop-propagyl; atrazina; picloran-ácido 2,4D) y cuatro insecticidas (paratión metílico, clorpirifos, cipermetrina y dimetoato). La selección de estos agroquímicos se realizó bajo tres criterios: el uso extendido entre los productores; el sobreúso de manera más frecuente y el uso equivocado, es decir, agroquímicos que se aplican en cultivos para los que no están formulados.[1]

Como resultado, se obtuvo una función de producción con una constante y ocho variables explicativas significativas:

[1] Para más detalle sobre las prácticas de empleo de los agroquímicos de los usuarios del DR011 consultar los capítulos correspondientes.

lámina de riego, semilla, fertilizante, dos herbicidas (sal dimetilamina del ácido 2,4-D, Lhd y tralkoxidim, Lht), dos insecticidas (paratión metílico, Lip, clorpirifos, Lic) y el tamaño del productor. Los resultados del modelo se muestran en la siguiente tabla (cuadro 35).

Cuadro 35. Resultados de la función de producción estimada ciclo otoño-invierno 2007 2008 para el trigo y la cebada

Variable	Coeficiente	Estadístico *t*
Lámina de riego	0.0301***	3.21
Semilla	0.00930***	2.89
Fertilizante	0.295**	2.08
Fertilizante2	–0.0457**	–2.42
Dimetilamina	–0.0560***	–3.18
Tralkoxidim	–0.0473**	–2.2
Paratión	0.00860*	1.91
Clorpirifos	–0.517***	–10.54
Tamaño	–0.0205**	–2.48
Constante	1.370***	5.1

Nota: *** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$
R–squared 0.331; Prob > F 0.0000
Fuente: Elaboración propia.

El poder explicativo de la función es de 0.331 (*r*-cuadrado ajustado), lo que es considerablemente bueno si se toma en cuenta las variables no incluidas por el modelo. La significancia global del modelo es consistente y las variables independientes muestran comportamientos esperados y consistentes con la teoría. Es posible observar que salvo el paratión metílico, los insecticidas y herbicidas muestran una relación negativa con el rendimiento agrícola, mientras que la lámina de riego y la semilla son insumos que se relacionan de manera positiva. De todos los insumos modelados, el fertilizante tiene la mayor incidencia positiva

en el rendimiento. Hay que observar que el insecticida clorpirifos tiene un impacto negativo considerable en el rendimiento, lo que se explica por qué este insecticida no está recomendado para los cultivos de trigo y cebada, y por lo visto su uso incorrecto afecta de manera significativa el rendimiento. Por último, el tamaño del productor tiene una influencia negativa mínima en el rendimiento: a medida que aumenta el tamaño de la unidad, hay una ligera disminución en los rendimientos. El rendimiento se explica por otro tipo de factores, entre ellos los insumos.

Función de producción agrícola estimada

Forma logarítmica:

$$\hat{Y} = 1.37 + 0.0092Lsemilla + 0.0301Llámina + 02492\ Lfertilizante - 0.0457Fer2 - 0.0559Lhd - 00472\ Lht + 0.0085Lip - 0.5168Lic - 0.0205tama$$

Forma transformada:

$$\hat{Y} = 1.37\ (Semilla^{0.0092})(Lámina^{0.0301})\ (fertilizante^{0.02492}\ (Fer^{-0.0457+2})(Lhd^{-0.0559})(Lht^{-0.0472})(Lip^{0.0085})\ (Lic^{-0.5168})(tama^{-0.0205})$$

Evaluación de la función de producción agrícola

Para apreciar el comportamiento de la función estimada, se calculó el rendimiento de tres diferentes combinaciones de insumos: 1. Las dosis recomendadas; 2. La media empleada por los entrevistados y, 3. Las cantidades máximas empleadas por los estos. Es importante recordar que la función fue estimada para el logaritmo de las cantidades más 1. A continuación se muestran los resultados transformados a cantidades y, posteriormente un cuadro con datos en logaritmo (cuadro 36 y cuadro 37, respectivamente).

Cuadro 36. Resultados transformados de la evaluación de la función de producción agrícola

	*Q*Recomendada Trigo	*Q*Recomendada Cebada	*Q*promedio	*Q*máxima
Lámina	55.00	42.00	92.9	264.00
Fertilizante	34.60	31.30	48.86	146.13
Semilla	80.00	100.00	210	350
Paratión metílico	25.00	25.00	19.7	2
Clorpirifos[1]			0.02	2.00
Sal dimetilamina del ácido 2, 4–D	1.50	1.00	0.56	2.00
Tralkoxidim	1.00	1.00	0.21	2.00
Rendimiento[2]	6.70	6.7	7.64	4.7

Q: cantidad

[1] El clorpirifos es un insecticida que no está formulado para el trigo o la cebada (Cicoplafest); en la región se usa ampliamente en los cultivos de maíz y sorgo.

[2] Rendimiento medio de los tres tamaños.

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 37. Resultados logarítmicos de la evaluación de la función de producción agrícola

	Recomendado trigo	Recomendado cebada	Empleado (promedio)	Máximo empleado
Lámina	4.03	3.76	4.54	5.58
Fertilizante	3.57	3.48	3.91	4.99
Fertilizante 2	7.09	6.89	7.78	9.97
Semilla	4.39	4.62	5.35	5.86
Paratión	3.26	3.26	3.03	1.10
Clorpirifos	–	–	0.02	1.10
Sal 2, 4-D	0.92	0.69	0.44	1.10
Tralkoxidim	0.69	0.69	0.19	1.10
Rendimiento	2.04	2.03	2.16	1.71

Fuente: Elaboración propia.

Las cantidades recomendadas de insecticidas y herbicidas rebasan la media empleada, esto se debe a que en el promedio entran en consideración aquellos que no emplearon las sustancias en cuestión, y por tanto, las cantidades aplicadas se promedian tomando en cuenta el total usuarios. También encontramos una notable diferencia entre la recomendación de semilla y el promedio empleado, cuestiones que junto a los factores no considerados por el modelo dan cuentan de: 1. El rendimiento estimado, tanto para las cantidades empleadas como para las recomendadas, es ligeramente superior al informado por los encuestados, que fue de 6.6 ton/ha para trigo y 6.0 para cebada; 2. El rendimiento estimado obtenido con las cantidades recomendadas es inferior al estimado que corresponde a las cantidades medias efectivamente empleadas, que por lo general expresan un sobreúso o un uso inadecuado de agroquímicos; 3. El empleo de cantidades máximas y de sustancias no adecuadas tiene un efecto negativo en el rendimiento. En este último punto, el fertilizante al cuadrado refuerza el efecto negativo del empleo de cantidades de agroquímicos por encima de las recomendadas.

El análisis se hizo para trigo y cebada de manera conjunta, pero las características del uso de insumos (agua, plaguicidas y fertilizantes) para estos cultivos por separado se muestra en los capítulos 6, 7, y 8 de este estudio.

Función de utilidad y relación rendimiento-costo de cada insumo

El objetivo de la producción agrícola en el DR011, como en la mayor parte del mundo, es la obtención de utilidades con la venta de un producto; en el DR011 la producción para autoconsumo es marginal. El ingreso neto de la unidad está en función de tres elementos: el precio de mercado del producto cultivado, el rendimiento obtenido y el costo de producción; tanto el rendimiento como el costo suponen el empleo

de una determinada cantidad de insumos. La cantidad de equilibrio entre el costo de un insumo y el rendimiento obtenido se denomina óptimo económico de un insumo, y es el punto en el que el valor del producto marginal obtenido es igual al costo marginal del insumo empleado en la producción. El supuesto fundamental del criterio económico de la optimización es la existencia de rendimientos decrecientes, mismo que se incluyó en la definición de función de producción con el empleo de la forma cuadrática para fertilizantes, y se comprobó con las diferentes evaluaciones realizadas.

Volke [1982] señala que el óptimo económico en la agricultura depende de las condiciones ecológicas de suelo y clima, del manejo del cultivo y la disponibilidad de capital para invertir en insumos. A continuación se muestra la forma de la función de ingreso y la condición de optimización derivada de la misma:

$$IN = YP \sum_{1}^{m} X_1 \, P_{X1} dy/dx$$

en donde IN es el ingreso neto, Y la función de producción, P_y el precio de mercado del producto, X_1 el insumo 1 y P_{x1} el precio del insumo 1. Volke señala que cuando se tiene n insumos, los óptimos económicos se obtienen de la misma manera que si solo existiera uno: en el punto en que el valor del producto marginal de cada uno de ellos es igual a su precio. No obstante, algunas formas de funciones de producción no permiten resolver el sistema de ecuaciones y obtener los óptimos económicos.

Con la información obtenida en campo, y con los coeficientes de la función de producción se calcularon los óptimos para lámina de riego, fertilizantes y paratión metílico; para los insumos cuyo coeficiente es negativo, el óptimo económico es cero (no se incluyó semilla).

En promedio, el precio del producto que notificaron los agricultores es de: 3 310.00 pesos la tonelada de cebada y de 3 633.00 pesos la tonelada de trigo. Se calcularon las cantidades que maximizan el ingreso para tres insumos:

lámina de agua, fertilizante y paratión metílico. La cantidad óptima para lámina de agua no constituye un resultado significativo, debido a que en este caso no existe un precio unitario del insumo y lo que se emplea como precio es el costo asociado al servicio del riego. En el caso del paratión metílico, la cantidad de insumo que equilibra la contribución al rendimiento y el costo es de 5 kg.

Óptimos económicos

$$\hat{Y} = 1.37\ (\text{Semilla}^{0.0092})(\text{Lámina}^{0.0301})\ (\text{fertilizante}^{0.02492}\ (\text{Fer}^{!0.0457+2})(\text{Lhd}^{!0.0559})(\text{Lht}^{!0.0472})(\text{Lip}^{!0.0085})\ (\text{Lic}^{!0.5168})(\text{tama}^{-0.0205})$$

Cuadro 38. Óptimos económicos

	Coeficiente	$\frac{dy}{dx}$	P_y ($/kg)	P_x ($por unidad)	$\frac{P_y}{D_x}$	X óptimo
Lámina (cm)	0.0301	$0.0301X^{(0.0301-1)}$	11.07	19.06	0.580	0.047
Fertilizante (kg)	0.2492	$0.2492X_2^{(0.2492-1)}$	11.07	83.17	0.133	2.31
Paratión metílico (kg)	0.0085	$0.0085X_4^{(0.0085-1)}$	11.07	6	1.845	0.00439

Px_1 = costo por centímetro de lámina.
Px_2 = costo por kilogramo de nitrógeno.
Px_4 = costo por kilogramo de paratión metílico.

Cuadro 39. Impuesto al paratión metílico

Función de ingreso	Cantidad recomendada	Cantidad media
Ingreso	23 261	26 386
Costos (sin paratión)	4 564	7 220
Paratión	150	118
Ingreso neto	18 548	19 048
Paratión* (impuesto 100%)	300	236
Ingreso neto*	18 398	18 930
Impacto sobre el ingreso	–0.8%	–0.6%

Anexo 6
Metodología del capítulo 4 sobre contaminación del agua por plaguicidas

El método más utilizado en los programas de seguimiento de plaguicidas en agua incluye la toma de muestras (simple), seguida por la extracción de los analitos de interés [Colin *et al.,* 2000; Katsomata *et al.,* 2005; Liska, 2000; Pichon, 2000; Sánchez *et al.,* 2003] y su posterior análisis mediante técnicas avanzadas de cromatografía [Barceló y Hennion, 1997b; Namiesnik, 2000; Tuzimski, 2002]. Este método tradicional tiene muchas desventajas desde el punto de vista económico y de eficiencia, además de que solo refleja la concentración de los analitos de interés en un momento específico [Hernández *et al.,* 2001].

Muestreo y análisis de muestras

La muestra se recolectó con base en las normas Mexicana NMX-AA-003-1980 y Oficial Mexicana NOM-014-SSA1-1993; estas indican que una vez tomada la muestra se deben etiquetar los frascos contenedores y colocarse en una hielera para su transporte al laboratorio, a una temperatura entre 4 ºC y 10 ºC, cuidando de no congelar las muestras.

En el laboratorio se almacena, para la determinar los plaguicidas de interés: el almacenamiento no debe ser mayor de siete días en caso de no haber efectuado el proceso de extracción, y no mayor de 40 días si dicho proceso se ha llevado a cabo.

El análisis de las 66 muestras se realizó para identificar los plaguicidas de la familia de los organoclorados (10), carbamatos (6) y triazinas (9) que son compuestos altamente utilizados en esta zona y cuyas propiedades físicas se presentan en el cuadro 40.

Para poder llevar acabo la identificación de los compuestos de interés es necesario cumplir con los siguientes pasos:

a) Uso de los siguientes reactivos

- Acetona grado HPLC marca Burdick y Jakson.
- Agua grado HPLC (desionizada). Obtenida de equipo purificador marca Modulab Analytical. Research Grade UF/Polishing System. Mod. LBPUO 1002.
- Gas helio cromatográfico. Pureza 99.998% marca Infra S.A. de C.V.
- Gas aire comprimido extraseco UN 1002 marca Infra S.A. de C.V.
- Isooctano grado HPLC marca Burdick y Jakson.
- Jabón Dextran Hyclin-Plus marca Hycel de México S.A. de C.V.
- n-hexano grado HPLC marca Burdick y Jakson.
- Estándares de plaguicidas puros certificados:
  i) Mezcla de plaguicidas organoclorados marca Chem Service. Pureza 99%. Lote: 315-3A: 4,4'-DDD, 4,4'-DDE, 4,4'-DDT, aldrín, dieldrín, lindano, heptacloro, epoxido de heptacloro, trasclordano, metoxicloro;
  ii) Mezcla de plaguicidas con número de referencia (Mix 18003400) (atrazina, cianazina, metamitrón, metribuzín, prometrín, propazina, simazina, terbutilazina y terbutrín) en una concentración de 100 mg L^{-1} y,

iii) Mezcla de plaguicidas carbámicos con número de referencia (Mix 18005400) (carbaril, carbofurán, 3OH-carbofurán, propoxur, profán y clorprofán) en una concentración de 100 mg L^{-1} distribuidas por doctor Ehrenstorfer Laboratory (Alemania), con una pureza de 95.5-99.5%. Reactivos: Acetona (Merck), etil acetato (J.T. Baker), isooctano (Fluka), metanol (J.T Baker) y acetonitrilo, grado cromatográfico (HPLC).

b) Preparar una solución estándar de plaguicidas organoclorados carbámicos y triazinas

A partir de una solución estándar de una mezcla de 10 plaguicidas organoclorados, a una concentración de 1 000 mg/L se prepara una solución madre, que incluye a todos los compuestos en cuestión. Se toma de manera cuantitativa una alícuota de 100 μL la cual se pasa a un matraz volumétrico de 10 mL y se lleva a volumen. Esta solución tiene una concentración de 10 mg/L. A partir de la solución anterior se preparan 10 soluciones estándar de concentraciones diferentes y siguiendo un patrón de dilución. Estas concentraciones deben estar en el intervalo de 0.1 mg/L a 1.25 x 10^{-5} mg/L.

c) Curvas de calibración

Se obtuvieron curvas de calibración para cada uno de los plaguicidas manejando coeficientes de correlación siempre entre 0.999 y 0.993 para todos los compuestos.

d) Establecer las condiciones analíticas para la determinación y cuantificación

Determinación de organoclorados por CG–EM

La cantidad de los compuestos se determinan por cromatografía de gases-espectrometría de masas (CG-EM), en un

equipo cromatográfico marca Fisson MD800, usando el modo de ion selectivo. La columna empleada para el análisis es de 5% fenil-metilsiloxano (DB-5) de 30 m x 0.25 mm i.d. con un espesor de 0.25 mm. La temperatura inicial en el horno es de 100 °C y se aumenta a 160 °C a una tasa de cambio de 30 °C min^{-1}; posteriormente sube a 210 °C a razón de 15 °C/min y por último a 270 °C a una velocidad de 3.5 °C/min. El tiempo total de la corrida es de 25 minutos.

Determinación de carbamatos y triazinas por CG-EM

La cantidad de los compuestos se determinan por cromatografía de gases-espectrometría de masas (CG-EM), en un equipo cromatográfico marca Fisson MD800, usando el modo de ion selectivo. La columna empleada para el análisis es de 5% fenil-metilsiloxano (DB-5) de 30 m x 0.25 mm i.d. con un espesor de 0.25 *m*m. Se utiliza un rampa de temperaturas para llevar a cabo la separación de todos los compuestos: la temperatura inicial en el horno es de 80 °C (2 min), y se aumenta a 300 °C a una tasa de cambio de 10 °C min^{-1}; donde permanece por 2 min.

e) Extracción de la muestra problema

La concentración de plaguicida en el agua muestreada se determina mediante una extracción en fase sólida (*solid-phase extraction, SPE*), utilizando un cartucho de 500 mg de ENVI-Carb, acondicionado con 25 mL de metanol seguido por 25 mL de agua, teniendo cuidado que los cartuchos no se sequen. Se utilizan 125 mL de muestra que se pasan a través de los cartuchos a una velocidad de 60 gotas por minuto. La elusión de los analitos se hace mediante 5 mL de metanol obteniendo un extracto 1 y 25 mL de cloruro de metileno para obtener un extracto 2. Ambos extractos se juntan y se evaporan mediante una corriente de nitrógeno

y se redisuelven en un vial adicionando 1 mL de acetona. La cuantificación se realiza mediante CG-EM según lo señalado en el punto anterior para cada familia de plaguicidas.

Cuadro 40. Índices técnicos de siete módulos de riego del DR011, Guanajuato

Número y nombre del módulo	Índice						
	Canales (m/ha)	Drenes (m/ha)	Tamaño (adim)	Bombeo (adim)	Área regada (adim)	Densidad (usuario/ha)	Pozo oficial (número)
Huanímaro	11.2	11.9	0.033	0.165	0.974	0.225	7
Jaral del Progreso	14.0	5.9	0.060	0.075	0.943	0.219	13
Salamanca	14.2	15.4	0.669	0.000	0.708	0.235	18
Acámbaro	16.3	14.2	0.079	0.000	0.924	0.218	4
Valle de Santiago	13.5	9.3	0.122	0.069	0.0193	0.169	22
Salvatierra	15.8	13.7	0.142	0.086	0.924	0.381	18
Cortazar	12.2	4.7	0.165	0.116	1.075	0.171	42

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 41. Muestreo en los siete módulos del DR011

Modulo	Mes	Fecha	Nombre del dren	Muestreo del dren	
				Inicio	Fin
Cortazar	agosto	21-08-08	La presa Lomo Verde	x	
		21-08-08	Cruce de canales	x	
		21-08-08	La Charca	x	
		21-08-08	Dren El Gato		x
		21-08-08	Río Laja	x	
		21-08-08	La Churo	x	
		21-08-08	Arroyo Feo		x
		22-08-08	Los Alacranes	x	
		22-08-08	Oteros	x	
		22-08-08	Dren Sardinas		x
		22-08-08	Canal Bajo Salamanca		x

Continúa...

Continuación...

Jaral del progreso	septiembre	22-09-08	Canal Sandoval	x	x
		22-09-08	Canal Arroyito	x	x
		22-09-08	Canal Arroyo	x	x
		22-09-08	Canal Tlalayote	x	x
Valle de Santiago	septiembre	23-09-08	Unión dren Jabonero 1 y 2	x	
		23-09-08	Dren Acequia Vieja y Villa Diego	x	
		23-09-08	Dren Acequia Vieja y Ocalo	x	
		23-09-08	Dren acequia	x	
		23-09-08	Dren Ocalo		x
		23-09-08	Dren Tercer Padrón	x	x
		23-09-08	Dren desagûe		x
		23-09-08	Dren colector		x
		23-09-08	Dren San Vicente	x	
Salamanca	octubre	08-10-08	Dren Arroyo Feo	x	x
		08-10-08	Dren El Gato	x	x
		08-10-08	Dren Charca	x	x
		08-10-08	Dren Sardinas	x	x
		08-10-08	Dren Granados	x	x
		08-10-08	Dren Salamanca	x	x
		08-10-08	Dren Paredón	x	x
Huanímaro	octubre	09-10-08	Dren El Dique		x
		09-10-08	Dren bombeo		x
		09-10-08	Dren lateral 6		x
		09-10-08	Dren desfogue		x
		09-10-08	Dren lateral 7		x
		09-10-08	Dren repartidos margen izquierda		x
		09-10-08	Dren repartidos margen derecha		x
Salvatierra	noviembre	12-11-08	Dren Tarimoro	x	x
		12-11-08	Dren Seguido	x	x
		12-11-08	Desagüe Blanco	x	x
Acámbaro	noviembre	12-11-08	Dren Gavillero	x	x
		12-11-08	Dren El Ocal	x	x
		12-11-08	Dren El Coyote	x	x
		12-11-08	Dren El Romero	x	x
Muestras			Totales	66	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 42. Propiedades físicas de plaguicidas de interés

Compuesto	Fórmula	P.M	p.e., °C	Log K_{ow}	S_{H2O} (mg/L)	LD_{50} (mg/kg)
Organoclorados						
B-lindano	$C_6H_6Cl_6$	290.85	60	3.78	5	164-780
Heptacloro	$C_{10}H_5Cl_7$	373.35	135-145	5.44	0.05	100-200
Aldrín	$C_{12}H_8Cl_6$	364.9	D	6.5	0.011	15-25
Epoxido de heptacloro	$C_{10}H_5Cl_7O$	389.40	142-149	5.4	0.275	100-200
trans-clordano	$C_{10}H_6Cl_8$	409.76	104-105	4.64	0.056	600-800
Dieldrín	$C_{12}H_8Cl_6O$	380.93	D	6.2	0.110	37-65
4,4′-DDE	$C_{14}H_8Cl_4$	318.03	336	6.51	0.12	500-2500
4,4′-DDD	$C_{14}H_{10}Cl_4$	320.05	350	6.02	0.09	500-2500
4,4′-DDT	$C_{14}H_9Cl_5$	354.51	D	6.91	0.025	500-2500
Metoxicloro	$C_{16}H_{15}Cl_3O_2$	345.65	252	5.22	0.045	5000-6000
Carbamatos						
Carbofurán	$C_{12}H_{15}NO_3$	221.3	150-2	1.44	350	n.d
Profán	$C_{10}H_{13}NO_2$	179	89	2.60	32	1000
3OH-Carbofurán	$C_{12}H_{15}NO_4$	237	84-7	1.94	350	n.d
Carbaril	$C_{12}H_{11}NO_2$	201	142	2.41	0.1%	25
Propoxur	$C_{11}H_{15}NO_3$	209	84-7	2.15	1%	100
Clorprofán	$C_{10}H_{12}NClO_2$	213.5	41	n.d	80	80
Triazinas						
Simazina	$C_7H_{12}N_5Cl$	201.7	228	2.10	5	5000
Atrazina	$C_8H_{14}ClN_5$	215.7	175-9	2.20	35	3080
Propazina	$C_9H_{16}ClN_5$	229.71	210-212	3.02	8.6	5000

Continúa...

Continuación...

Terbutilazina	$C_9H_{16}ClN_5$	229.71	177-9	3.21	8.5	n.d
Prometrín	$C_{10}H_{19}N_5S$	241.36	118-20	2.78	40	2500
Metribuzín	$C_8H_{14}N_4OS$	214.29	125	1.70	1050	n.d
Terbutrín	$C_{10}H_{19}N_5S$	241.36	104-5	3.65	58	n.d
Cianazina	$C_9H_{13}N_2Cl$	240.69	165-167	2.20	171	n.d
Metamitrón	$C_{10}H_{10}N_4O$	202	168-169	1.8	1700	n.d

PM: peso molecular; K_{ow}: Coeficiente de reparto octanol-agua; p. e.: punto de ebullición; S: solubilidad en agua; DL o LD_{50}: dosis letal para el 50% de organismos de prueba; $T_{(1/2)}$, tiempo de vida media. N.d: no determinado.

Fuente: Datos recolectados de la literatura [Albanis *et al.*, 1998; Fernández-Alba *et al.*, 2000; Noble, 1993].

Cuadro 43. Concentración (mg/L) en todos los puntos muestreados en cada uno de los Módulos de Riego del DR011

	Punto 1 la Presa Lomo Verde	Punto 2: confluencia de tres canales	Punto 3: La Charca	Punto 4: dren El Gato	Punto 5: Río Lajas	Punto 6: La Churí	Punto 7: Arroyo Feo	Punto 8: Los Alacranes	Punto 9: Oteros	Punto 10: dren Sardinas
Compuesto										
Organoclorados										
Lindano	0,001124229	0,00415015	0,00369254	n.d	n.d	0,00104902	0,0016903	n.d	0,00282799	n.d
Heptacloro	n.d	0,00221486	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Aldrin	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Epoxido de heptacloro	0,085703192	0,10225415	0,07864584	0,03915992	0,03131416	0,04728695	0,05236475	0,03458216	0,06815855	0,0303773
Trasclordano	0,016961029	0,01578746	0,02612023	n.d	n.d	0,0013147	0,00225585	n.d	n.d	n.d
4,4-DDE	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Dieldrin	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,0001629	n.d	n.d	n.d	n.d
4,4-DDD	0,354041943	0,0250429	0,02784373	0,0341211	0,01819753	0,33425989	0,32424155	0,30362709	0,25458327	0,01649353
4,4-DDT	0,044876711	0,01465502	0,01249086	0,0077802	0,00952266	0,00390416	0,0033918	0,01710212	0,01756532	0,004942
Metoxiclor	0,653766034	0,51594991	0,40036277	0,10359438	0,08520027	0,43280626	0,22788868	0,05325332	0,27349045	0,10952403
Carbamatos										
Carbofurán	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Profán	47,76913578	50,469894	54,9206512	56,9066908	56,464295	55,2632708	55,2698676	57,6280062	56,5273766	56,8568027
3-Ohcarbofurán	n.d	n.d	n.d	2,60800733	37,0774565	9,43778621	n.d	31,595316	n.d	12,617166
Carbaril	25,16720437	13,8373428	47,7323003	6,49008002	5,59334434	40,7336974	23,4302553	n.d	15,3062873	1,57010034
Baygón	4,737222789	4,39764055	4,72871892	4,83438354	4,81142719	4,82726973	4,82831227	4,82974321	4,77350731	4,80527415

Continúa...

Continuación...

Clorpofán	6,146169649	3,1617774	5,34608062	6,47643196	5,9828432	4,91640874	5,44970117	5,41390771	5,54640366	5,83395446
s-Triazinas										
Atrazinadesetil	n.d	5,31256347	11,0565241	10,5656793	8,57998923	10,4818203	10,9011156	10,7795584	10,8934221	9,59091399
Simazina	21,00195652	25,7736957	12,3454348	26,0628261	25,941087	25,7845652	25,8932609	25,888913	26,3823913	25,1258696
Atrazina	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	149,760667
Propazina	n.d	6,5078309	n.d	3,41803499	6,36439067	7,00987172	6,31132945	4,55156268	4,63377843	6,12415743
Terbutilazina	47,87952239	15,7699098	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	6,10507614	n.d
Prometrín	11,38260376	11,85427	11,3123268	11,1731245	11,4609896	11,4380144	11,7718298	11,5204546	n.d	10,974457
Metribuzin	n.d	2,73133669	4,29269081	7,29869177	6,95882126	0,55569224	1,46648214	1,27564997	2,36544361	7,71820712
Terbutrín	6,505242177	7,87259318	7,95880008	7,90548136	7,62393861	7,76545744	7,80681682	7,74751844	6,88096472	7,64536576
Cianazina	0,579866382	1,93013786	0,32972974	1,5770593	1,86893906	2,05778806	2,0725464	1,82172126	0,50268771	1,61387186
Metamitrón	n.d	0,78029167	0,70453285	0,83373431	0,66217568	n.d	n.d	0,86510282	0,83218525	0,85503392
	Punto 11: Canal Bajo Salamanca	Punto 12: Sandoval (inicio de canal)	Punto 12': Sandoval (fin de canal)	Punto 13: Arroyito (inicio de canal)	Punto 14: Arroyo (inicio de canal)	Punto 15: Arroyito (fin de canal)	Punto 16: Talayote (inicio de canal)	Punto 17: Arroyo (fin de canal)	Punto 18: Talayote (fin de canal)	Punto 19: Unión de jaboneros 1 y 2
Compuesto										
Organoclorados										
Lindano	n.d	n.d	n.d	0,00202678	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Heptacloro	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Aldrin	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	0,02094864	n.d
Epoxido de heptacloro	0,01151793	0,00059524	0,00401595	0,05270213	0,0071767	0,00059524	0,004158	0,01256204	0,00059524	0,49970304
Trasclordano	n.d	n.d	n.d	0,00913366	6,3916E–05	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d

4,4–DDE	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Dieldrin	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
4,4-DDD	0,01173409	0,01741408	0,00917809	0,02392649	0,00510416	0,00818899	0,00956002	0,00935436	0,05275736	0,00030554
4,4-DDT	0,00061369	0,00172581	n.d	0,00114571	0,00150513	0,00244137	0,003855	0,00073713	0,0016974	0,00028049
Metoxiclor	0,03084923	0,00514004	0,00330019	0,0042312	0,00360609	0,00516664	0,00362161	0,00371471	0,00859808	0,00624174
Carbamatos										
Carbofurán	n.d	n.d	n.d	1783,44732	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Profán	59,0823875	58,8420177	58,8372763	58,3664319	58,8055293	58,2072849	59,0990855	56,9330778	57,8448749	58,4270397
3-Ohcarbofurán	28,2065943	1,31270444	17,4385712	n.d	6,16027738	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Carbaril	n.d	17,6135399	49,8223549	127,154376	20,6181125	7,47255176	95,9445446	16,3325797	16,1388797	12,2953639
Baygón	4,83710232	4,78569073	4,85770784	4,45923224	4,85770784	4,81584266	4,65741728	4,77268963	4,75758301	4,79147582
Clorpofán	6,47537922	6,4448495	6,53884492	2,86806051	6,5803533	6,54877084	6,47552961	6,47537922	6,56411089	6,38243654
s-Triazinas										
Atrazinadesetil	11,1211494	7,90911679	10,0986844	11,4765887	10,4765887	4,63092014	n.d	9,16623327	9,18008155	10,99328358
Simazina	25,7606522	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n–d	n.d	n.d	n.d
Atrazina	n.d	n.d	n.d	105,702772	n.d	28,1975088	538,72207	n.d	n.d	n.d
Propazina	8,41920117	8,1200758	8,02619825	7,83669388	8,07109621	n.d	8,78013411	7,92357434	8,98829738	9,41453644
Terbutilazina	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Prometrín	11,7907505	10,9244523	10,4987364	n.d	4,8846918	12,0407741	12,0407741	12,0407741	7,04570703	6,72540646
Metribuzin	7,81914315	8,11248847	n.d	n.d	n.d	2,44429987	5,46212928	n.d	n.d	n.d
Terbutrín	7,63290811	7,09822603	8,12174606	8,12174606	8,12174606	8,12174606	8,12174606	7,21134144	7,95431533	7,562647
Cianazina	1,87724548	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	1,52110198	0,81818747
Metamitrón	0,7420976	0,8105952	0,78745608	0,75482896	0,86640985	0,86098813	0,87536536	0,87536536	0,87536536	0,87536536

Continúa...

Continuación...

	Punto 20: Acequia vieja y Villa Diego	Punto 21: Acequia vieja y ocalo	Punto 22: Acequia	Punto 23: Dren Ocalo	Punto 24: Tercer padón (inico de canal)	Punto 25: Tercer padrón (fin canal)	Punto 26: Desagüe	Punto 27: Dren colector	Punto 28: Dren San Vicente (inicio de canal)	Punto 28': Arroyo feo (fin del dren)
Compuesto										
Organoclorados										
Lindano	n.d	n.d	n.d	0,00120736	n.d	n.d	0,001566	0,00531159	0,00291349	n.d
Heptacloro	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Aldrin	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Epoxido de heptacloro	0,00059524	0,01325102	0,00838346	0,00059524	0,03199319	0,07903579	0,01448406	0,08675654	0,00059524	0,04316306
Trasclordano	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
4,4-DDE	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Dieldrin	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
4,4-DDD	0,00971671	0,01375146	0,00020761	0,01315409	0,00899202	0,00910954	n.d	0,0200778	0,01651312	0,00326306
4,4-DDT	0,00428106	0,00320062	0,00189404	0,00379383	0,00159253	0,00163732	0,00168976	0,0038703	0,0016974	0,00128882
Metoxiclor	0,00418021	0,00336225	0,00357062	0,00308074	0,00306078	0,00444622	0,00422898	0,00241794	0,00302088	0,00332014
Carbamatos										
Carbofurán	n.d	n.d	214,193564	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Profán	59,8851028	568533559	59,698538	57,695623	59,4017123	58,5251667	58,6441147	51,8236746	58,8995333	57,9607307
3-Ohcarbofurán	n.d	32,18409	n.d	n.d	33,6363993	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Carbaril	4,70549981	5,02939159	10,986968	12,6224311	n.d	n.d	n.d	11,241128	n.d	3,9923028
Baygón	4,8152294	2,94215082	4,83340233	4,82473492	4,83174652	4,84090453	4,83792	4,85024652	4,77563328	4,61804602
Clorpofán	6,55057555	4,51215323	6,51763956	4,98167916	6,40935683	6,49899087	6,44620304	6,37581926	6,299119	6,01186899

s-Triazinas										
Atrazinadesetil	10,0009771	11,4765887	n.d	n.d	9,62476535	10,4965887	9,65887	12,887	n.d	n.d
Simazina	n.d	n.d	n.d	n.d	26,915	n.d	n.d	n.d	2,33021739	26,915
Atrazina	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Propazina	7,96730612	8,3264898	8,5445656	8,27692711	8,36555685	8,33523615	8,44252478	8,2291137	8,29092128	8,39354519
Terbutilazina	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Prometrín	10,3514251	7,28491884	9,91489736	0,89782817	9,23780628	8,898585	10,3041234	9,85272931	8,74046194	10,525766
Metribuzin	8,244967	8,244967	n.d	0,8947742	7,55891746	1,64942869	2,87327798	1,7929471	6,99036376	7,32708003
Terbutrín	8,12174606	6,66978274	7,77841339	9,78439306	8,07390871	7,36481961	7,8137931	5,81080327	6,94933227	5,57759617
Cianazina	1,89524644	0,11321856	2,01154748	2,18342828	2,22697038	2,10961438	1,75269354	n.d	2,19880849	2,25237827
Metamitrón	0,87536536	0,87536536	0,78953763	0,83199162	0,69078492	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
	Punto 29: Dren El Gato (inicio dren)	Punto 30: Dren Charca (inico del dren)	Punto 31: Dren Charca (fin del dren)	Punto 32: Dren El Gato (fin del dren)	Punto 33: Arroyo Feo (inicio del dren)	Punto 34: Dren Sardi-nas (inicio del dren)	Punto 35: Dren Granados (inicio del dren)	Punto 36: Dren Salamanca (inicio)	Punto 37: Dren sardinas (fin)	Punto 38: Dren granados (fin)
Compuesto										
Organoclorados										
Lindano	0,00293645	n.d	n.d	0,00692588	n.d	n.d	n.d	0,0006777	n.d	0,00068562
Heptacloro	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Aldrin	n.d	n.d	n.d	0,00359485	0,00725089	0,00262021	n.d	n.d	n.d	n.d
Epoxido de heptacloro	0,00813629	0,00059524	0,05013021	0,00059524	0,15003189	0,06889866	0,00059524	0,01249244	0,00059524	0,01065423
Trasclordano	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
4,4-DDE	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d

Continúa...

Continuación...

Dieldrin	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
4,4-DDD	0,00014886	n.d	0,00657313	0,00513354	0,01794291	0,05281612	0,00471244	0,00871781	0,01902015	n.d
4,4-DDT	0,0018864	0,0017706	0,00122328	0,00247632	0,00242607	0,00166135	0,00073604	0,00160673	0,00595579	0,00363651
Metoxiclor	0,00469005	0,00331349	0,00254873	0,00312507	0,00361052	0,00442183	0,00277705	0,00132512	0,00298763	0,00488734
Carbamatos										
Carbofurán	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Profán	58,7853267	58,3074733	58,7407985	58,2112017	58,8803614	59,0329117	58,9943618	55,6603138	58,5729932	57,6801619
3-Ohcarbofurán	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Carbaril	10,6047758	58,2905373	36,8412803	n.d	12,1905754	7,43444684	5,66256827	12,53619	51,4627715	20,2091198
Baygón	4,79123051	4,72109406	4,73728411	4,79343825	4,81964487	4,656988	4,81126366	4,1952649	4,68525926	4,64145209
Clorpofán	6,40604819	6,1266186	6,25279806	6,39822777	6,23008876	6,1923402	6,50605932	6,23369819	6,38664754	6,47131861
s-Triazinas										
Atrazinadesetil	7,30440837	3,11068626	7,11745653	11,4765887	9,45089244	7,93219726	7,53290506	n.d	n.d	11,4765887
Simazina	26,915	26,915	26,915	26,915	n.d	15,441087	n.d	n.d	n.d	n.d
Atrazina	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Propazina	8,16963848	8,32182507	7,88742274	8,25418659	7,95156268	8,1748863	7,5381516	8,24485714	8,2471895	8,46701458
Terbutilazina	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Prometrín	10,8717446	8,43637912	3,74674631	8,78100631	7,54440285	10,4879245	6,39699701	10,0919411	10,4744097	7,69576852
Metribuzin	1,96879657	6,21993802	n.d	8,244967	5,45818646	5,1277787	0,97126478	n.d	2,68165724	2,58781828
Terbutrín	7,82375922	n.d	7,56314531	7,86810843	7,84269484	7,79087104	7,88804066	7,30851106	7,65084712	7,41215866
Cianazina	2,25790848	2,25462145	2,06515057	2,18834773	2,26226158	2,26794726	2,24641497	0,49113867	2,13432266	1,95977669
Metamitrón	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d

Fuente: Elaboración propia.

BIBLIOGRAFÍA

Albanis, T. A.; Hela, D. G.; Sakellarides, T. M. y Konstantinou, I. K. [1998], "Monitoring of pesticide residues and their metabolites in surface and underground waters of Imathia (N. Greece) by means of solid-phase extraction disks and gas chromatography", *Jounal of Chromatography A,* Elsevier, 823 (1-2), pp. 59-71.

Barceló, D. y Hennion, M. C. [1997], "Sampling of polar pesticides from water matrices", *Analytica Chimica Acta,* 338, pp. 3-18.

Colin, F. P.; Gunatilleka, A. D. y Sethurama, R. [2000], "Contribution of theory to method development in solid-phase extraction", *J. Chromat. A.,* 885, pp. 17-39.

Fernandez-Alba, Amadeo; Chiron, Serge; Rodríguez, Antonio, y García-Calvo-Eloy [2000], "Pesticide chemical oxidation: state-of-the-art", *Water Research,* Elsevier, 34 (2), pp. 366-377.

Hernández, F.; Sancho, J. V.; Pozo, O.; Lara, A. y Pitarch, E. [2001], "Rapid direct determination of pesticides and metabolites in environmental water simples at sub -mg/L level by on-line solid-phase extraction-liquid chromatography-electrospray tandem mass", *J. Chromat. A.,* 939, pp. 1-11.

Katsomata, H.; Fujii, A.; Kaneo, S.; Suzuki, T. y Ohta, K. [2005], "Determination of simazina in water by HPLC after preconcentration with diatomaceous earth", *Talanta,* 65, 129-134.

Liska, I. [2000], "Fifty years of solid-phase extraction in water analysis historical development and overview", *J. Chromat. A.,* 885, pp. 3-16.

Namiesnik, J. [2000], "Trends in Environmental analytical and monitoring", *Critical Reviews in Analytical Chemistry,* 30 (2 y 3), pp. 221-269.

Noble, A. [1993], "Partition coefficients (n-octanol–water) for pesticides", *Journal of Chromatography,* 642 (1-2), pp. 3-14.

Pichon, V. [2000], "Solid-phase extraction for multiresidue analysis of organic contaminats in water", *J. Chromat. A.,* 885, pp. 195-215.

Sánchez, C.; Carisson, H.; Colmsjö, A.; Crescenzi, C.; y Batlle, R. [2003], "Determination of nitroaromatic compounds in air samples at fentogram level using C18 membrane sampling and on line extraction with LC-MS", *Anal. Chem.,* 75, pp. 4639-4645.

Tuzimski, T. y Soczewinsk, K. [2002], "Correlation of retention parameters of pesticides in normal-and reversed phase systems and their utilization for the separation of a mixture of 14 triazines and urea herbicides by means of two-dimensional thin-layer chromatography", *J. Chromat. A.,* 961, pp. 277-282.

Anexo 7
Marco normativo sobre los plaguicidas (Antecedentes, cap. 8)

Cuadro 44. Plaguicidas sujetos al procedimiento de consentimiento fundamentado previo

Producto químico	Número o números CAS	Categoría
2, 4, 5–T y sus sales y ésteres	93-76-5	plaguicida
Aldrina	309-00-2	plaguicida
Binapacril	485-31-4	plaguicida
Captafol	2425-06-1	plaguicida
Clordano	57-74-9	plaguicida
Clordimeformo	6164-98-3	plaguicida
Clorobencilato	510-15-6	plaguicida
DDT	50-29-3	plaguicida
Dieldrina	60-57-1	plaguicida
Dinitro-ortho-cresol (DNOC) y sus sales (como las sales de amonio, potasio y sodio)	534-52-1 2980-64-5 5787-96-2 2312-76-7	plaguicida
Dinoseb y sus sales y ésteres	88-85-7	plaguicida
1,2-dibromoetano (EDB)	106-93-4	plaguicida
Dicloruro de etileno	107-06-2	plaguicida
Óxido de etileno	75-21-8	plaguicida
Fluoroacetamida	640-19-7	plaguicida

Continúa...

Continuación...

HCH (mezcla de isómeros)	608-73-1	plaguicida
Heptacloro	76-44-8	plaguicida
Hexaclorobenceno	118-74-1	plaguicida
Lindano	58-89-9	plaguicida
Compuestos de mercurio, incluidos compuestos inorgánicos de mercurio, compuestos alquílicos de mercurio y compuestos alcoxi alquílicos y arílicos de mercurio		plaguicida
Monocrotofos	6923-22-4	plaguicida
Paratión	56-38-2	plaguicida
Pentaclorofenol y sus sales y ésteres	87-86-5	plaguicida
Toxafeno	8001-35-2	plaguicida
Todos los compuestos del tributilo de estaño, a saber: – Óxido – Fluoruro – Metacrilato – Benzoato – Cloruro – Linoleato – Naftenato	 56-35-9 1983-10-4 2155-70-6 4342-36-3 1461-22-9 24124-25-2 85409-17-2	plaguicida
Formulaciones de polvo seco que contengan una combinación de: – Benomil a 7% o superior, – Carbofurano a 10% o superior, y – Tiram a 15% o superior	 17804-35-2 1563-66-2 137-26-8	Formulación plaguicida extremadamente peligroso
Methamidofos (Formulaciones líquidas solubles de la sustancia que sobrepasen los 600 g/l de ingrediente activo)	10265-92-6	Formulación plaguicida extremadamente peligroso
Fosfamidón (Formulaciones líquidas solubles de la sustancia que sobrepasen los 1000 g/l de ingrediente activo)	13171-21-6 (mezcla, isómeros (E) y (Z)) 23783-98-4 (isómero (Z)) 297-99-4 (isómero (E))	Formulación plaguicida extremadamente peligroso

Metil-paratión (concentrados emulsificables (CE) a 19.5% o superior de ingrediente activo y polvos a 1.5% o superior de ingrediente activo)	298-00-0	Formulación plaguicida extremadamente peligrosa

Fuente: Procedimiento de Consentimiento Previo Fundamentado del Código Internacional de Plaguicidas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Cuadro 45. Relación de decisiones de México sobre plaguicidas del anexo III

Chemical	Decision Type/Conditions/Remarks	Decision
Chlordane	Interim decision on import Published: 12/1/1994 Remarks: Manufactured in country. Use as termiticide only.	consent
Lindane (gamma-HCH)	Interim decision on import Published: 12/1/1998 Conditions for import: General conditions apply.	consent under conditions
Dieldrin	Final decision on import Published: 12/7/1993	no consent
DDT	Interim decision on import Published: 12/7/1993 Conditions for import: Direct import by Secretariat of Health for public health campaigns.	consent under conditions
Heptachlor	Final decision on import Published: 12/1/1994	no consent
Pentachlorophenol and its salts and esters	Interim decision on import Published: 12/1/1998 Conditions for import: General conditions apply.	consent under conditions
Dinoseb and Dinoseb Salts	Final decision on import Published: 12/7/1993	no consent
2,4,5–T and its salts and esters	Final decision on import Published: 12/1/1998 Remarks: Import of this product is banned. Product classified as “Use Banned”.	no consent
Mercury compounds, including inorganic mercury compounds, alkyl mercury compounds and alkyloxyalkyl and aryl mercury compounds	Final decision on import Published: 12/1/1994	no consent
EDB (1,2–dibromoethane)	Final decision on import Published: 12/1/1997 Remarks: Not registered.	no consent

Continúa...

Continuación...

Hexachlorobenzene	Final decision on import Published: 12/1/1998 Remarks: Compound not registered and no request for registration.	no consent
Aldrin	Final decision on import Published: 12/7/1993	no consent
Chlorobenzilate	Final decision on import Published: 12/1/1998 Remarks: Compound not registered and no request for registration.	no consent
HCH (mixed isomers)	Final decision on import Published: 12/1/1994	no consent
Fluoroacetamide	Final decision on import Published: 12/7/1993	no consent
Captafol	Interim decision on import Published: 12/1/1998 Conditions for import: General conditions apply.	consent under conditions
Chlordimeform	Final decision on import Published: 12/1/1997 Remarks: Not registered.	no consent
Polychlorinated Biphenyls (PCB)	Final decision on import Published: 12/12/2006 Legislative or administrative measures: Articles 86, section I and II of the General Law on Prevention and Complete Waste Management.	no consent
Binapacryl Ethylene dichloride Parathion	Final decision on import Published: 12/12/2006 Legislative or administrative measures: No registration for use.	no consent
Phosphamidon (Soluble liquid formulations of the substance that exceed 1000 g active ingredient/l)	Interim decision on import Published: 12/12/2006 Conditions for import: Registration and permission from the Mexico. Secretariat of Health is requested.	consent under conditions
Methamidophos (Soluble liquid formulations of the substance that exceed 600 g active ingredient/l)	Interim decision on import Published: 12/12/2006 Conditions for import: Registration and permission.	consent under conditions
Monocrotophos	Interim decision on import Published: 12/12/2006 Conditions for import: Registration and permission from the Mexico. Secretariat of Health is needed.	consent under conditions
Toxaphene (Camphechlor)	Final decision on import Published: 12/12/2006 Legislative or administrative measures: Not registered	no consent
Tris(2,3 dibromopropyl) phosphate	Interim decision on import Published: 12/12/2007	consent

Actinolite asbestos Amosite, asbestos Anthophyllite Crocidolite Tremolite	Final decision on import Published: 12/12/2007 Conditions for import: The asbestos is generically defined, in the agreement that establishes the classification and codification of woods which import is subject to regulation from the dependencies that integrate the intersectarial commission for the control of the process and use of pesticides, fertilizers and toxic chemicals . The asbestos fibers included in annexed III are not used in Mexico. In prohibition process. Legislative or administrative measures: Agreement establishing the classification and codification of woods which import is subject to regulation from the dependencies that integrate the intersectarial commission for the control of the process and use of pesticides, fertilizers and toxic chemicals. Published in the official bulletin of the federation on 29 march 2002 (first section) 174.	consent under conditions
Tetramethyl lead Tetraethyl lead	Final decision on import Published: 12/12/2007 Conditions for import: The tetramethyl lead and tetraethyl lead are is listed in the agreement that establishes the classification and codification of woods which import is subject to regulation from the dependencies that integrate the intersectarial commission for the control of the process and use of pesticides, fertilizers and toxic chemicals. Legislative or administrative measures: Agreement establishing the classification and codification of woods which import is subject to regulation from the dependencies that integrate the intersectarial commission for the control of the process and use of pesticides, fertilizers and toxic chemicals. Published in the official bulletin of the federation on 29 march 2002 (first section) 174.	consent under conditions
Ethylene oxide	Final decision on import Published: 12/12/2007 Remarks: Pesticide never registered in Mexico.	no consent
Dinitro–ortho–cresol (DNOC) and its salts (such as ammonium salt, potassium salt and sodium salt)	Final decision on import Published: 12/12/2007 Remarks: Pesticide never registered in Mexico, it cannot be imported.	no consent

Continúa...

Methyl–parathion (emulsifiable concentrates (EC) at or above 19.5% active ingredient and dusts at or above 1.5% active ingredient)	Interim decision on import Published: 12/12/2007 Conditions for Import: The Health Secretary in Mexico requires an import license.	consent under conditions
Dustable powder formulations containing a combination of benomyl at or above 7%, carbofuran at or above 10% and thiram at or above 15%	Final decision on import Published: 12/12/2007 Remarks: Mixture never registered in Mexico.	no consent
Polybrominated Biphenyls (PBB)	Interim decision on import Published: 12/12/2008 Conditions for import: The importation of PBB in the case of hazardous waste, is subject to import control in accordance with the provisions of Chapter VII of the General Law on the Prevention and Management of Wastes and Articles 115 and 177 of the Rules of the same Law.	consent under conditions
Polychlorinated Terphenyls (PCT)	Interim decision on import Published: 12/12/2008 Conditions for import: The importation of PBB in the case of hazardous waste, is subject to import control in accordance with the provisions of Chapter VII of the General Law on the Prevention and Management of Wastes and Articles 115 and 177 of the Rules of the same Law.	no consent
Tributyltin compounds	Final decision on import Published: 12/12/2009 Legislative or administrative measures: Any substance that is used as a pesticide must obtain a health registration, according to the General Health Law, the regulation concerning the registration, import and export licenses and export licenses for pesticides, plant nutrients and toxic substances or hazardous materials. So its importation is not authorized.	no consent

Cuadro 46. Normas Oficiales Mexicanas relativas a plaguicidas

Tipo de Norma	Norma Oficial Mexicana (NOM)
Toma de muestra	NOM-AA-105-1988. Determinación de residuos del plaguicida en suelo. Método de toma de muestras.
Ecológicas	NOM-090-ECOL-1994, que establece los requisitos para el diseño y construcción de los receptores de agroquímicos.
	NOM-052-ECOL-1993, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
Sanitarias	NOM-044-SSA1-1993, que establece los requisitos para contener plaguicidas. Envase y embalaje.
	NOM-045-SSA1-1993, que establece el etiquetado de plaguicidas. Productos para uso agrícola, forestal, pecuario, de jardinería, urbano e industrial.
	NOM-046-SSA1-1993, que establece el etiquetado de plaguicidas. Productos para uso doméstico.
	Proyecto de NOM-058-SSA1-1993, por la que establecen los requisitos sanitarios para los establecimientos que fabrican y formulan plaguicidas y fertilizantes y que procesan sustancias tóxicas o peligrosas.
	Proyecto de NOM-043-SSA1-1993, relativa al almacenamiento de plaguicidas.
Zoosanitarias	NOM-023-ZOO-1994, que establece el análisis de residuos de plaguicidas organoclorados y bifenilos policlorados en grasa de bovinos, equinos, porcinos, ovinos y aves por cromatografía de gases.

Cuadro 47. Eliminación de plaguicidas*

Producto químico	Actividad	Exención específica
Aldrina* N° de CAS: 309-00-2	Producción	Ninguna
	Uso	Ectoparasiticida local Insecticida
Clordano* N° de CAS: 57-74-9	Producción	La permitida para las partes incluidas en el registro
	Uso	Ectoparasiticida local Insecticida Termiticida en edificios y presas Termiticida en carreteras Aditivo para adhesivos de contrachapado
Dieldrina* N° de CAS: 60-57-1	Producción	Ninguna
	Uso	En actividades agrícolas

Continúa...

Continuación...

Endrina* N° de CAS: 72-20-8	Producción	Ninguna
	Uso	Ninguno
Heptacloro* N° de CAS: 76-44-8	Producción	Ninguna
	Uso	Termiticida Termiticida en estructuras de casas Termiticida (subterráneo) Tratamiento de la madera Cajas de cableado subterráneo
Hexaclorobenceno N° de CAS: 118-74-1	Producción	La permitida para las partes incluidas en el registro
	Uso	Intermediario Solvente en plaguicidas Intermediario en un sistema cerrado limitado a un emplazamiento
Mirex* N° de CAS: 2385-85-5	Producción	La permitida para las partes incluidas en el registro
	Uso	Termiticida
Toxafeno* N° de CAS: 8001-35-2	Producción	Ninguna
	Uso	Ninguno
Bifenilos policlorados (BPC)*	Producción	Ninguna
	Uso	Artículos en uso con arreglo a las disposiciones de la parte II del presente anexo

*Las partes deberán tomar medidas para eliminar la producción y uso de los químicos incluidos en este anexo.

Cuadro 48. Intoxicaciones por plaguicidas en México 1965-1995

Año/ periodo	Localidad	Número de intoxica-ciones	Total de muertes	Observaciones
1964-1967 1967 1967-1968	Cd. Mante, Tamps. Tijuana, B.C. Distrito Federal	266 559 77	7 16	Trabajadores de campo en cultivo de algodón. Harina de trigo contaminada con paratión en el transporte de los 77 casos, 50% fueron niños. Excepto uno, no se especifica el plaguicida.
1970	Mexicali, B.C.	59	4	Trabajadores agrícolas en el cultivo de algodón y trigo con organofosforados y organoclorados.
1971	IMSS (Hospital Pediatría C.M.N.)	35		22 casos con raticidas. 13 casos con insecticidas. 35 casos de un total de 433.
1974	Comarca Lagunera, Coah. y Dgo.	847	4	La principal vía de intoxicación fue por inhalación. Debida a falta de protección, deficiente protección y escaso control de plaguicidas.
1977 1978-1981	Petatitlán, Gro. IMSS-C.M.N. (Hospital de Pediatría)	23 36	0 2	Inadecuado manejo de paratión en polvo. 26 intoxicados accidentalmente por polvo raticida endrín, de los cuales, 2 murieron (eran menores de 5 años) y 4 casos con raticidas a base de talio.
1979	IMSS Medicina del Trabajo	216		–
1980	IMSS Medicina del Trabajo	300		–
1976-1980 1980	Apatzingán, Mich. Ejido Manuel Ávila Camacho, Mpio. Tamuín, S.L.P.	1049 4	2	Intoxicados con paratión polvo. Contaminación accidental con paratión etílico, niños de 1 a 6 años.
1980	Banderas, Mpio. Tuxpan, Veracruz	14	1	Agua almacenada y contaminada por residuos de envases de plaguicidas usados.
1981	San Esteban Amatlán, Mpio. de Miahuat-lán, Oax.	7	4	Contaminación por paratión etílico, utilizado para matar pulgas, esparcidos en el piso del dormitorio.
1983	Sahuayo, Chih.	24	8	Paratión (contaminación por consumo de tortilla).
1995	Distrito Federal	139		Consumo de carne de res contaminada por herbicidas.
1995	Coahuila	113		Intoxicación de trabajadores.

Fuente: Sedesol-INE, 1999.

Cuadro 49.Plaguicidas de mayor uso en México

Plaguicidas (Reportados por)	CT*	Persistencia	Efectos ecológicos	Efectos en salud humana si se manejan inadecuadamente
Paratión (AMIFAC, UMFFASC, Coesplafest)	I	Ligeramente persistente	Extremadamente peligroso para animales de sangre caliente (mamíferos y aves) y altamente tóxico para abejas	El paratión metílico es extremadamente peligroso por inhalación, ingestión y de rápida absorción por la piel. Produce efectos en la reproducción, disminución del peso testicular. Teratogénico y potencialmente carcinogénico.
Metamidofos AMIFAC, UMFFASC, Coesplafest)	II		Tóxico para abejas, pájaros y otras formas de vida silvestre	Altamente peligroso, irritante dérmico y del tracto respiratorio.
Malation (AMIFAC, UMFFASC, Coesplafest)	IV	Poco persistente en suelo	Altamente tóxico para peces y abejas	Irritante dérmico, de mucosas y del tracto respiratorio. Potencialmente teratogénico.
2.4 D (AMIFAC, UMFFASC, Coesplafest)	III	Poco persistente	No tóxico para peces y abejas	Irritante dérmico. Carcinogénico, teratogénico y mutagénico.
Clorotalonil (AMIFAC, UMFFASC, Coesplafest)	IV	Poco persistente	Tóxico para peces	Irritante ocular. El daño puede ser irreversible. Causa reacciones alérgicas. Carninogénico en ratas.
Atrazina (AMIFAC, UMFFASC, Coesplafest)	IV	Medianamente persistente	No aplicar donde los mantos acuíferos sean poco profundos o los suelos sean muy permeables. Evítese contaminación de cuerpos de agua por arrastre profundo	Irritante dérmico y ocular. Efectos de sensibilidad. Embriotóxico en animales a altas dosis y se ha relacionado con el aumento del riesgo de cáncer de ovario.
Endosulfan (AMIFAC, UMFFASC, Coesplafest)	II	Medianamente persistente	Tóxico para peces, aves y abejas	Irritante dérmico y de mucosas. Estimulantes del sistema nervioso central. Teratógenico, carcinogénico en humanos y animales.

Paraquat (AMIFAC, UMFFASC, Coesplafest)	II	Poco persistente	Tóxico para peces y pájaros	Si se ingiere produce fibrosis pulmonar, irritante ocular, teratogénico y potencialmente carcinogénico en humanos.
Glifosato (AMIFAC, UMFFASC, Coesplafest)	IV	Ligeramente persistente	No tóxico para los peces	Fuerte irritante dérmico se bioacumula en el sistema óseo.
Metomilo (AMFAC)	II	Poco persistente	Tóxico para abejas, aves y peces	Irritante dérmico y del tracto respiratorio y digestivo. Potencialmente teratogénico.
Clorpirifos Etil (AMFAC)	III	Poco persistente	Tóxico para peces, crustáceos, aves y abejas	Irritante dérmico.
Carbofuran (Coesplafest)	II	Poco persistente	Tóxico para peces, abejas y vida silvestre: extremadamente tóxico a aves	Neurotóxico. Se ha observado degeneración testicular en perros bajo estudio de toxicidad crónica. Teratogénico y Genotóxico.
Captan (UMFFASC, Coesplafest)	IV	Poco persistente	Tóxico para abejas	Puede causar reacción alérgica en la piel. Teratogénico y carcinogénico en animales y potencialmente en humanos.
Omeotato (Coesplafest)	II	Moderadamente persistente, se metaboliza rápidamente en los vegetales	Tóxico para abejas	Irritante dérmico, potencialmente teratogénico y carcinogénico.

Fuente: Sedesol-INE, 1999.

Cuadro 50. Plaguicidas prohibidos en México

Triamifos	Erbon	DBCP
Mercurio	Formotión	Dialiafor
Ácido 2,4,5-T	Scradan	Dieldrin
Aldrin	Fumisel	Dinoseb
Cianofos	Kepone/Clordecone	Endrin
Cloranil	Mirex	Monuron
Nitrofen	HCH	EPN
Paration etilico	Toxafeno	Sulfato de talio
Fluoroacetato de sodio (1080)	Acetato o propionato de fenil	

Fuente: Diario Oficial de la Federación 3/01/1991.

Cuadro 51. Plaguicidas restringidos en México

1,3-Dicloropropeno	Sotiocianato de metilo
Lindano	Bromuro de metilo
Clordano	Metoxicloro
Cloropicrina	Mevinfos
Forato	Pentaclorofenol
Pentaclorofenol	Clorotalonil
Metamidofos	Aldicarb
Alaclor	Metam sodio
Paraquat	Dicofol
Clorotalonil	Quintozeno

Fuente: Cicoplafest, 2004.

Cuadro 52.Plaguicidas prohibidos en otros países y autorizados en México

Alaclor	Metidatión	Aldicarb
Metamidofos	Metoxicloro	Captafol
Azinfos metílico	Mevinfos	Carbarilo
Monocrotofos	Ometoato	Clordano
Captan	DDT	Dicofol
Oxyfluorfen	Paraquat	Endosulfán
Paratión metílico	Diurón	Pentaclorofenol
Quintoceno	Forato	Sulprofos
Fosfamidón	Triazofos	Kadetrina
Tridemorf	Linuron	Vamidothion
Maneb	2,4-D	

Fuente: Cicoplafest, 2004.

Anexo 8
Cuestionario aplicado

Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto de Investigaciones Económicas
Unidad de Economía y Medio Ambiente
Cuestionario del Proyecto PAPIIT 305107: "Políticas agroambientales para el control de la contaminación del agua".
El caso del Distrito de Riego 011, Gto.

En este proyecto participan el Instituto de Investigaciones Económicas y las Facultades de Economía y Química de la UNAM, el Instituto Mexicano de Tecnología de Agua y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Este cuestionario se aplicará a los diferentes agentes que participan en la producción agrícola y ganadera y a los funcionarios involucrados en la producción agropecuaria y el mejoramiento del medio ambiente y los recursos naturales. Les solicitamos, de la manera más atenta su cooperación en el llenado del cuestionario, en el entendido de que la información recabada será de carácter confidencial y sólo se utilizará para los fines de esta investigación. Agradecemos de antemano la veracidad de sus respuestas.

Entrevistó _____ Fecha _____ (dd/mm/aaa

Nombre del entrevistado(a) _____

Edad _____ Nivel de escolaridad _____

1. Cultivos

2. Tierra

2.1 ¿Cuanta tierra dejó en descanso en el ciclo O-I del año pasado? _____ (ha)

2.2 ¿Cuánta tierra dejó en descanso en el ciclo P-V del este año? _____ (ha)

2.3 ¿Practica la labranza de conservación (o labranza cero) en su parcela? Sí ( ) No ( )

2.4 Tiene tierras ensalitradas. ¿Cuántas hectáreas? _____ (ha)

2.5 En la misma tierra, ¿qué ha sembrado en los ciclos O-I en los últimos años?

1. En la misma tierra, ¿qué ha sembrado en los ciclos P-V en los últimos años?

_____

3. Agua

3.1.1 ¿Quién riega la parcela?

3.1.2 Usted ( )

3.1.3 Un trabajador (regador) ( )

3.1.4 Otros ( )

3.2 En su opinión, ¿cuáles son los principales problemas con el agua? (pregunta abierta)

_____

3.3 Si usted ha comprado agua, ¿cuánto le costó? _____
(el productos debe especificar cantidad y unidad)

4. Sanidad vegetal

Cultivo y ciclo	Enfermedades	Plagas	¿Cómo la controla?
Trigo O-I			
Cebada O-I			
Brócoli O-I			
Lechuga			
Otro			
Maíz			
Sorgo			
Alfalfa			
Otro			

5. AGROQUÍMICOS

5.1 ¿Quién aplica los agroquímicos en su parcela?
- 5.1.1 La empesa que los vende ( )
- 5.1.2 Usted y su familia ( )
- 5.1.3 Contrata a un trabajador ( )

5.2 La aplicación es
- 5.2.1 Manual ( )
- 5.2.2 Mecanizada ( )
- 5.2.3 ¿En aerosol? Sí ( ) No ( )

5.3 ¿Ha tenido o su trabajador algún problema de salud debido a los agroquímicos?
- 5.3.1 Sí ( )
- 5.3.2 No ( )

En caso positivo

5.4 ¿Qué síntomas o enfermedad ha tenido usted o el trabajador?
- 5.4.1 Dolor de cabeza ( )
- 5.4.2 Náuseas ( )
- 5.4.3 Mareo ( )
- 5.4.4 Vómito ( )
- 5.4.5 Enfermedad ( )

5.5 ¿Quién le dice qué cantidad emplear de
- 5.5.1 Herbicidas_____
- 5.5.2 Fungicidas_____
- 5.5.3 Insecticidas_____

6. MECANIZACIÓN

6.1 ¿Cuál de la siguiente maquinaria tiene?
- 6.1.1 Tractor ( )
- 6.1.2 Trilladora ( )
- 6.1.3 Sembradora ( )
- 6.1.4 Cosechadora ( )
- 6.1.5 Desgranadora ( )
- 6.1.6 Otra ( )

6.2 En total, ¿cuánto pagó por el uso de maquinaria ajena en cada ciclo?

	OI	PV
6.2.1 Tractor	$_____	_____
6.2.2 Trilladora	$_____	_____
6.2.3 Sembradora	$_____	_____
6.2.4 Desgranadora	$_____	_____
6.2.5 Tracción animal	$_____	_____
6.2.6 Otra	$_____	_____

3. Mano de obra

¿Cuánto pagó por las siguientes tareas agrícolas?

Concepto	Cultivo 1	Cultivo 2	Cultivo 3	Cultivo 4	Cultivo 5	Cultivo 6	Cultivo 7
Barbecho (700/ha)							
Rastreo (700/ha)							
Empareje (250)							
Trazo de nego o surcado (300)							
Prep terreno (2200)							
Maquila + 1ª fort (350)							
Semilla*** (2400)							
Escardas (270)							
Labores de cultivo							
2ª fertilización** (1050)							
Aplic. Pert. Org.							
Aplic. herbicidas (900)							
Fungicidas							
Insecticida* (150)							
5.18 Cosecha							
5.19 Transporte							
5.20 Otras tareas							

*Gusano.

** Manual 400 kilos de urea 2800; diciembre-enero 4 000.00; ahora una ton = 8 400; 25 pesos tirada de bulto de 50 kilos.

***Bulto y medio/ha. Puma de Asgrow.

Puede incluirse: reparación de canales, bordeo, subsoleo, trazos de curvas de nivel, resiembra.

8. Crédito y seguro agrícola

8.1 ¿Cuánto pagó en el ciclo O-I por concepto de crédito? _____ (pesos).

8.2 ¿Quién le proporcionó el crédito?_____ (institución o particular)

8.3 ¿A qué tasa le prestaron? _____

8.4 ¿Cuánto espera pagar en el ciclo P-V por concepto de crédito?
_____ (pesos)
8.5 ¿Cuánto pagó en el ciclo O-I por concepto de seguro agrícola?
_____ (pesos)

9. Asistencia técnica y capacitación
9.1 ¿Recibe usted algún tipo de asistencia técnica?
9.1.1 Sí ( ) 9.1.2 No ( )
(Si la respuesta es NO, pasar a la pregunta 9.7)
9.2 ¿Quién le proporciona asistencia técnica?
9.2.1 Sagarpa ( )
9.2.2 Fira ( )
9.2.3 Gobierno del Estado ( )
Especificar dependencia _____
9.2.4 Otro (especifique _____
9.3 ¿Quién paga la asistencia técnica?
9.3.1 Usted ( )
9.3.2 Sagarpa ( )
9.2.3 Fira ( )
9.2.4 Gobierno del Estado ( )
9.2.5 Otro (especifique _____
9.4 ¿Cuánto ha pagado por los servicios de asistencia técnica?
O-I _____ (pesos/ha)
9.5 ¿Cuál fue el objetivo de la asistencia técnica? (pregunta abierta) _____
9.6 ¿Por qué no recibe asistencia técnica? (pregunta abierta)
_____
9.7 ¿Ha tomado cursos de capacitación?
9.1.1 Sí ( ) 9.1.2 No ( )
(Si la respuesta es NO, pasar a la pregunta 9.9)
9.8 ¿En qué aspectos se ha capacitado (pregunta abierta)
_____
9.9 ¿En qué aspectos le gustaría capacitarse? (pregunta abierta)
_____

10. Medio ambiente
En su opinión, ¿cuáles son los principales problemas ambientales en la región? (pregunta abierta)
_____

11. Actividades pecuarias
Especies en producción

Especie	Cantidad	Destino	
		Autoconsumo	Mercado
Bovinos			
Cerdos			
Aves			
Borregos			
Cabras			

¿Utiliza estiércoles en la agricultura?

Especie/Cultivo	Maíz	Trigo	Sorgo	Cebada	Otros
1. Bovinos					
2. Porcinos					
3. Caprinos					
4. Ovinos					
5. Aves					
6. Otras					

12. Percepción sobre calidad del agua
Dígame un número del 1 al 5, donde 1 significa que está totalmente en desacuerdo a 5 si está totalmente de acuerdo.

Qué tanto de acuerdo está en las siguientes frases	1	2	3	4	5
La calidad del agua que utiliza para riego es óptima o adecuada para la producción					
Otros usuarios del río Lerma tienen problemas por la calidad del agua					
La agricultura es una causa importante de contaminación del río Lerma					
Hay otras actividades que ocasionan más contaminación del agua que la agricultura					
Estoy dispuesto a disminuir el uso de pesticidas y fertilizantes de manera voluntaria					
El cambio de prácticas agrícolas debe ser apoyado con dinero del gobierno					