

Cámara de Diputados LXIII Legislatura



CÁMARA DE DIPUTADOS
LXIII LEGISLATURA



DIRECCIÓN DE PROPUESTAS ESTRATÉGICAS

REPORTE DE INVESTIGACIÓN

FERTILIZANTES QUÍMICOS Y BIOFERTILIZANTES EN MÉXICO

Por

Jesús Guzmán Flores

Investigador

Palacio Legislativo de San Lázaro, abril de 2018

Fertilizantes y biofertilizantes en México

Por existir diversas acepciones de los términos fertilizantes y biofertilizantes, consideramos necesario iniciar este informe precisando el significado de los mismos para, con base en ello, definir qué elementos o productos se adscriben a cada uno, realizar el comparativo de los elementos que los conforman y cuál es su uso en México.

I. Consideraciones semánticas

La palabra *fertilizante* proviene del adjetivo *fértil*, el cual expresa la cualidad de producir mucho; generalmente se aplica a las tierras que tienen la capacidad de producir mucho [RAE, 2017]. De este adjetivo se deriva el verbo *fertilizar*, que significa hacer que la tierra sea *fértil* o más *fértil*, por lo que se considera que una sustancia o material es *fertilizante* cuando contribuye a que la tierra sea *fértil*.

Agregando el prefijo *bio* -que significa “vida”- a la palabra fertilizante, nos referimos a sustancias o materiales con vida que hacen que la tierra sea fértil, es decir que produzca mucho. Por lo anterior, un biofertilizante es un material o sustancia fertilizante que contiene vida para cumplir con su función. También se usa el prefijo *bio* para indicar que un producto o actividad es respetuosa del medio ambiente (p. ej. biocombustible, biourna, bioconstrucción, biotecnología), condición que deben reunir las sustancias consideradas como biofertilizantes.

La palabra fertilizante se usa de manera coloquial para referirse a los productos industriales que contienen los tres principales nutrientes que utilizan las plantas para su desarrollo: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), los cuales se elaboran por procesos de síntesis química de diversos elementos. La anterior es una acepción restringida del término fertilizante.

En lo que existe un consenso es referirse a los fertilizantes de manera genérica como los productos que aportan nutrientes asimilables por las plantas o que contribuyen a su asimilación, los biofertilizantes son un tipo de fertilizantes.

Definiciones técnicas

Se denomina **fertilizante** o **abono** a las sustancias orgánicas o inorgánicas que contienen nutrientes en formas asimilables por las plantas, que mantienen o incrementan los contenidos de estos elementos en el suelo, que mejoran la calidad del sustrato a nivel nutricional y estimulan el crecimiento vegetativo de las plantas.

Biofertilizante: Es un fertilizante orgánico natural que ayuda a proporcionar a las plantas todos los nutrientes que necesitan y a mejorar la calidad del suelo creando un entorno microbiológico natural [FAO, 2018]. Existe una corriente de opinión que considera exclusivamente como biofertilizantes a los productos elaborados que contienen consorcios de bacterias y hongos micorrízicos que pueden aportar nitrógeno y fósforo para la nutrición de las plantas. Tal es el caso de la SAGARPA, que los define de la

siguiente manera: “Los biofertilizantes, también conocidos como bioinoculantes, inoculantes microbianos o inoculantes del suelo, son productos agrobiotecnológicos que contienen microorganismos vivos o latentes (bacterias u hongos, solos o combinados) y que son agregados a los cultivos agrícolas para estimular su crecimiento y productividad.” [SAGARPA, 2017].

En este informe se adopta la definición de la FAO y por tanto se consideraran a los biofertilizantes como sinónimo de fertilizantes orgánicos, los cuales son los que se obtienen a partir de organismos vivos, como son animales, plantas, hongos y bacterias.

Los fertilizantes inorgánicos, conocidos también como minerales o químicos, son los que se producen por síntesis química o se encuentran en yacimientos naturales y están compuestos fundamentalmente por minerales.

II. Biofertilizantes

Los principales **fertilizantes orgánicos o biofertilizantes** son:

- **Abonos verdes.** Son plantas que se cultivan para ser enterradas en el suelo preferentemente en floración. Se usan principalmente leguminosas (trébol, chícharo, mucuna, haba, frijol), aunque también gramíneas (avena, cebada) y crucíferas (nabo); su función es incrementar la materia orgánica del suelo, con lo que mejora su estructura, contribuyen a restablecer o aumentar la actividad microbiológica y aportan nutrientes.
- **Bioinoculantes.** Se conocen también como inoculantes microbianos e inoculantes del suelo. Son productos que contienen concentrados de microorganismos vivos o latentes (bacterias y hongos, solos o combinados) que se agregan a los cultivos para incrementar el suministro y/o disponibilidad de nutrientes, estimular el crecimiento vegetativo y contribuir al control de patógenos de las plantas. Los géneros de las bacterias utilizadas son: Azospirillum, Rhizobium, Bradyrhizobium, Azotobacter, Bacillus, Pseudomonas y los géneros de los hongos son: Glomus y Trichoderma. Como se ha mencionado, existe la opinión de circunscribir los biofertilizantes exclusivamente a los bioinoculantes.
- **Cenizas.** Es el polvo mineral que resulta de la combustión de materia orgánica. Las cenizas provenientes de plantas (madera y rastrojo) tienen un alto contenido de minerales como potasio, calcio y magnesio, además de que contienen microelementos esenciales para las plantas. Las cenizas provenientes de la combustión de animales principalmente contienen sodio y fosfato cálcico que provienen de los huesos. La interacción de las cenizas con el humus del suelo propicia la biodisponibilidad de los minerales.
- **Carbón vegetal.** Se obtiene por la pirolisis de madera por medio del control del acceso de aire (oxígeno) en las hogueras u hornos donde se calienta la madera a altas temperaturas. Aunque su uso principal es como combustible, existen evidencias de su uso hace miles de años para mejorar y mantener la fertilidad de los suelos, principalmente en regiones tropicales que aún hoy se mantienen fértiles (terra preta o tierra negra). Por su característica de ser químicamente inerte puede permanecer por

periodos prolongados en el suelo; por su porosidad y capacidad de absorción ayuda por un lado a retener nutrientes y agua y, por otro, puede retener elementos tóxicos para las plantas; también puede retener el carbono volátil, el óxido nitroso y el metano, que son gases de efecto invernadero. Su producción requiere de madera, lo cual es una limitante en áreas deforestadas o de escasa vegetación (desiertos), pero en la actualidad existen tecnologías para la pirolisis de residuos agropecuarios, donde al carbón vegetal obtenido y destinado al mejoramiento del suelo se le denomina biocarbón o biochar.

- **Estiércoles.** Se forman con los excrementos de animales de las granjas y generalmente contienen restos de materia vegetal utilizada como cama o piensos, como es el rastrojo. En su mayoría provienen del ganado bovino, porcino, equino, caprino, ovino y de aves. Son el fertilizante orgánico (biofertilizante) de mayor uso; aportan principalmente nitrógeno y materia orgánica a los suelos, con lo que ayudan a recuperarlos o mejorarlos.
- **Compostas.** Se producen a partir de la mezcla de materiales orgánicos como son los residuos agropecuarios (estiércol, paja y hierbas) y de los alimentos del hogar, que se mezclan con minerales provenientes de cenizas o de rocas molidas, para que por fermentación se conviertan en materia terrosa sin olores y elementos patógenos. Se utilizan para fertilizar los huertos y campos agrícolas. Existen mezclas que se producen de manera líquida como el supermagro. El compost contribuye a mejorar las condiciones físicas del suelo, aporta nutrientes, contribuye a su asimilación, al control de patógenos y estimula el crecimiento de las plantas.
- **Lombricompostas.** Son el producto que resulta de la cría y reproducción de lombrices detritívoras, que son las que se alimentan de excrementos y materia orgánica en descomposición. De manera similar que en las compostas, se hace acumulación de residuos orgánicos en los que se introducen las lombrices mencionadas, las cuales se alimentan con los residuos y sus excretas se convierten en una materia fertilizante, al igual que el líquido que se recupera del lombricompostero conocido como lixiviado de lombriz, que contiene los componentes del proceso de transformación de los residuos orgánicos en composta. Tanto la lombricomposta como sus lixiviados cumplen con las mismas funciones de la composta.
- **Extractos húmicos.** Se obtienen por el tratamiento de humus que puede provenir de la turba natural, compostas y lombricompostas, para la obtención de concentrados de ácidos húmico y fúlvico, los que diluidos son utilizados como biofertilizantes. Contribuyen a la germinación de semillas y al crecimiento vegetativo, a la absorción de nutrientes y la retención de humedad, a la reproducción de microorganismos y al control de patógenos.
- **Guanos.** Son sustratos naturales que se originan por la acumulación masiva de excrementos de aves marinas, focas y murciélagos, en ambientes áridos y secos los derivados de las primeras dos especies y en cuevas en el caso de la última. Aunque se manejan guanos frescos, cuando tuvieron un uso masivo fue de guanos de aves marinas semifosilizados o fosilizados que se acumularon por millones de años, principalmente en islas del pacífico cercanas a la costa de Sudamérica. Su alto contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, los convirtieron en un fertilizante muy apreciado en Europa y Estados Unidos, donde lo importaron en grandes volúmenes (300 mil toneladas anuales) en el

siglo XIX. El tiempo que lleva la acumulación del guano lo hace un recurso no renovable y la sobreexplotación de los depósitos imposibilita el uso masivo que tuvo en el pasado.

Cabe mencionar que la mayor parte de los biofertilizantes descritos son o forman parte de lo que se conoce como humus o contribuyen a su formación, por lo que es importante exponer su significado y el papel que tiene en la fertilidad de los suelos. El humus *es la materia que resulta de la descomposición de los restos orgánicos vegetales y animales por la acción del agua, aire y microorganismos del suelo*. Se ubica en la parte superficial de los suelos y puede estar cubierto de una capa de residuos vegetales (hojas y ramas); es en donde enraíza la vegetación herbácea de la que forman parte la mayoría de los cultivos anuales o cíclicos.

El humus participa en la capacidad de intercambio catiónico de los suelos, que es el medio físico en que se retienen y liberan diversos compuestos en los que se encuentran los elementos nutritivos de las plantas (fosfatos, amonios, potasio); facilita la toma de nutrientes por la rizosfera; aporta microorganismos que funcionan como fijadores de nitrógeno, controlan patógenos y estimulan el crecimiento de los vegetales; facilita la labranza de los suelos, al dar consistencia a los de tipo ligero y dispersión a los suelos pesados; evita la compactación y encostramiento de los suelos; ayuda a la retención y drenado del agua; entre otras funciones.

La labranza excesiva, la pérdida de cubiertas vegetales, el uso de fertilizantes y plaguicidas, provocan que se pierda e impiden la formación natural de humus, situación que lleva a la pérdida de fertilidad de los suelos, la cual se busca suplir con los fertilizantes químicos o recuperar con los fertilizantes orgánicos.

III. Fertilizantes químicos

Los **fertilizantes inorgánicos o químicos** son sustancias naturales o sintéticas de origen inorgánico, es decir que no son de origen animal o vegetal. Los naturales se encuentran en yacimientos como el salitre (nitrato de sodio), la roca fosfórica y el cloruro de potasio. Los fertilizantes sintéticos son aquellos elaborados artificialmente y están compuestos principalmente por sales minerales de nitrógeno, fósforo y potasio; cuando contienen uno solo de estos elementos se les conoce como simples y cuando contienen más de uno se les conoce como compuestos. Los simples se clasifican en nitrogenados, fosfatados y potásicos, de los cuales los de mayor uso son:

Nitrogenados

- Amoniaco anhidro
- Nitrato de amonio

➤ Sulfato de Amonio

➤ Urea

En su elaboración se utiliza principalmente el nitrógeno atmosférico, el cual mediante altas presiones y temperaturas se hace reaccionar con el hidrógeno para obtener amoniac; el hidrógeno se obtiene por la combustión de gas natural. El amoniac se puede utilizar como fertilizante y es la materia prima de la mayoría de los fertilizantes nitrogenados.

Fosfatados

➤ Superfosfato simple

➤ Superfosfato triple

La roca fosfórica es la materia prima principal que se utiliza para fabricarlos, la cual también puede ser utilizada de forma directa como fertilizante; se obtiene de yacimientos naturales, tanto terrestres como marinos. El superfosfato simple se obtiene aplicando ácido sulfúrico a la roca fosfórica y el superfosfato triple resulta del tratamiento de la roca fosfórica con ácido fosfórico.

Potásicos

➤ Cloruro de potasio

➤ Sulfato de potasio

Se elaboran a partir de sales potásicas obtenidas de yacimientos naturales de carnalita y silvinita, las que se someten a procesos de depuración y tratamiento químicos para obtener los fertilizantes.

Los **fertilizantes compuestos** de mayor uso agrícola son los siguientes:

➤ Fosfato monoamónico

➤ Fosfato diamónico

➤ Fosfato monopotásico

➤ Fosfonitrato de amonio

IV. Uso de los fertilizantes en el mundo

El uso de fertilizantes se remonta al origen de la agricultura, pues los primeros agricultores muy pronto observaron que las áreas cultivadas decrecían en su productividad, por lo que fueron experimentando diferentes prácticas para recuperarlas. Una de las primeras fue la realización de la quema de materia seca de origen vegetal, pues las cenizas contribuían a la mineralización de los suelos. Como esta práctica no puede realizarse de manera continua, la opción fue practicar una agricultura itinerante,

que significaba laborar uno o dos años una misma área para posteriormente trasladarse a otras, donde se cortaba la vegetación existente para que una vez seca se realizara la quema. Las áreas que se dejaban de cultivar por décadas volvían de manera natural a recuperar parte de la vegetación y fertilidad original para nuevamente ser destinadas al cultivo; este sistema ha persistido hasta la actualidad y se conoce como roza-tumba y quema.

Cuando se adquirieron los conocimientos y habilidades para utilizar el riego en la agricultura, las posibilidades de practicar una agricultura itinerante quedaron limitadas, pues no se podían movilizar de igual manera las fuentes de agua y la infraestructura utilizada para abastecer de agua los cultivos, por lo que se tuvieron que buscar otras opciones para recuperar o mejorar la fertilidad de los suelos. Entre esas opciones se encuentran el aprovechamiento de los limos de las aguas utilizadas para el riego. También se usaron los sedimentos acumulados en embalses o cauces de agua, que son lodos con alto contenido de materia orgánica; un caso particular de su uso es el de las chinampas, que se forman con lodos extraídos del lago de Xochimilco y que se han mantenido fértiles por cientos de años.

La aplicación de cenizas de árboles quemados también fue una práctica antigua para fertilizar los suelos, pero el tiempo que toma el crecimiento de las especies arbóreas generaba límites naturales para esta práctica. Las quemas para la obtención de cenizas provocaba que rocas adyacentes a las hogueras se quebraran y pulverizaran, observándose que donde se depositaban esos restos mejoraba la productividad, por lo que existen prácticas pasadas y actuales de utilizar los polvos o harinas de roca como fertilizantes.

Con la domesticación de animales se pudo observar que las áreas donde se acumulaban sus excretas después de cierto tiempo se volvían más productivas, lo cual también es probable que haya sucedido con respecto a las excretas humanas, por lo que ambas situaciones pueden ser la explicación del uso del estiércol como biofertilizante.

También por observación, los agricultores se dieron cuenta que los cultivos que se realizaban en áreas donde previamente se cultivaban ciertas plantas, como las leguminosas, eran más productivos. De igual manera, observaron que la combinación de las leguminosas con otros cultivos contribuía a mejorar la producción de éstos. El policultivo de varias especies, que incluían leguminosas, se hizo una práctica que perdura hasta nuestros días. Otro aprendizaje fue incorporar al suelo en estado verde las plantas de leguminosas y otras especies, con lo que se contribuía a mejorar la producción en las áreas donde se realizaba, lo que dio origen al uso de abonos verdes desde hace miles de años, llamados también abono sideral, práctica que se mantiene y recomienda en la actualidad.

La comprensión de las propiedades del estiércol quizás fue una de las razones que permitió apreciar las ventajas que otorgaban las grandes acumulaciones del excremento

de aves marinas para ser usado en mejorar la producción de los cultivos, lo cual dio origen al uso del guano como fertilizante desde hace miles de años. Luego de que Alexander von Humboldt dio a conocer las propiedades que tiene el guano como fertilizante, una vez comprendidas desde la ciencia química sus cualidades en cuanto a presencia de nutrientes, éste se convirtió en uno de los fertilizantes de mayor uso en Europa y los Estados Unidos de América en el siglo XIX e inicios del XX, por lo cual se establecieron empresas para su extracción en las islas sudamericanas donde se concentraba, conformándose con ello el comercio mundial masivo de fertilizantes que perdura hasta la fecha, aunque ahora no de guano, sino de fertilizantes químicos producidos de forma industrial.

La comprensión de los requerimientos de nutrientes minerales de las plantas, el reconocimiento de las fuentes de donde podían provenir y la reconversión de la agricultura hacia formas de producción especializada (monocultivos) de tipo industrial, aunados al aumento de la población urbana que no producía alimentos y de la demanda de materias primas agrícolas para la industria, llevaron al establecimiento de extensas explotaciones agrícolas con una labranza mecanizada de los suelos y destinadas a un solo cultivo. Estas condiciones provocaron en las áreas agrícolas una rápida pérdida de su fertilidad y de lo indispensable el uso de fertilizantes en grandes volúmenes que aportaran los nutrientes extraídos por los monocultivos, a los que se dedicaban de manera continua las explotaciones agrícolas.

Este proceso se desarrolló principalmente a inicios del siglo pasado en los países industrializados, pero la mayor difusión de un modelo tecnológico que implicaba un alto uso de fertilizantes químicos fue posterior a la segunda guerra mundial, cuando se probaron variedades mejoradas de arroz y trigo que podrían más que duplicar los rendimientos por hectárea en áreas con potencial agrícola, pero con limitaciones productivas derivadas de la pérdida de fertilidad de los suelos. Este modelo, conocido como revolución verde, tuvo su origen a principios de los años cuarenta del siglo pasado en México, al lograrse que con variedades mejoradas de trigo en condiciones de riego y con un alto uso de fertilizantes y plaguicidas de síntesis química, se incrementaran significativamente los rendimientos por hectárea. Esta propuesta tecnológica fue aplicada en otros países y cultivos, obteniéndose resultados similares, por lo que las agencias de desarrollo norteamericanas y la misma Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO) promovieron su adopción, por considerar que podía ser uno de los caminos para la erradicación del hambre. El modelo abrió la puerta para el desarrollo de empresas en los países desarrollados que producían semillas híbridas, maquinaria y equipos agrícolas, fertilizantes, insecticidas y herbicidas.

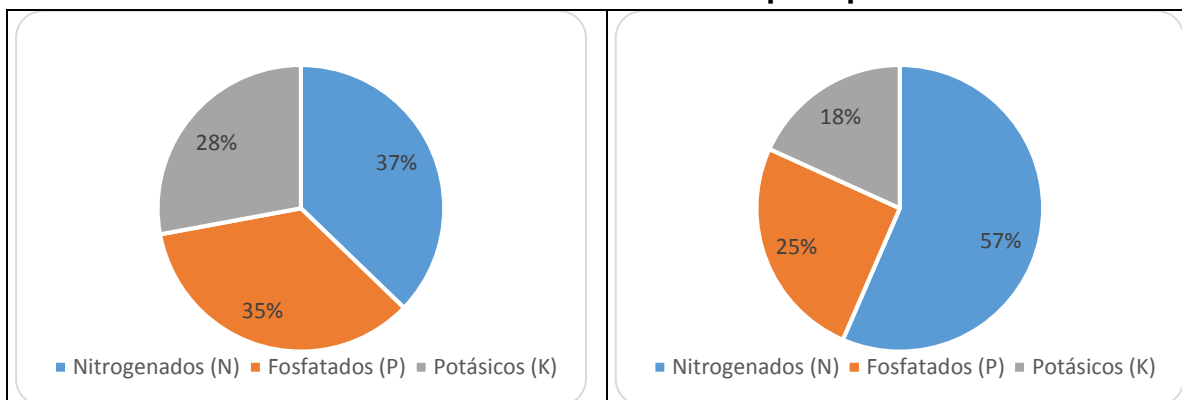
Las variedades mejoradas desarrolladas en la revolución verde fueron dirigidas a lograr altos rendimientos a partir del uso de altos volúmenes de fertilizantes, del control de cualquier planta que compitiera con los cultivos a través de labores agrícolas y el uso de

herbicidas, así como también, de evitar la presencia de plagas que pudieran afectar los rendimientos, para lo cual se recomendó el uso masivo de insecticidas. Se determinaron grandes áreas para la siembra continua en el tiempo de una sola especie, por lo que se provocaba que los minerales demandados por este cultivo fueran sujetos de una extracción continua, de los cuales se reponía solo una parte de ellos, principalmente por la aplicación de fertilizantes químicos.

La estadística mundial recopilada por la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA, por sus siglas en inglés) muestra claramente cómo se ha comportado el uso de los fertilizantes químicos en el mundo, que en 1961 ascendió a 31.7 millones de toneladas y en 2015 sumó 183.9 millones de toneladas. Esto significa que en 55 años el consumo mundial de fertilizantes se multiplicó casi seis veces, lo que contrasta con el crecimiento de la población, que en el mismo lapso se multiplicó 2.4 veces. En tanto que la producción de cereales se multiplicó 3.8 veces, lo cual resultó del efecto combinado del aumento de la superficie sembrada y de los rendimientos de los cultivos; mientras que la primera creció 1.4 veces, los segundos lo hicieron 2.8 veces. La comparación de estos datos indica que el incremento del uso de los fertilizantes es muy superior a los incrementos de la población y la producción de cereales, por lo que se requiere dilucidar qué otros factores han contribuido al crecimiento del uso de fertilizantes químicos, pues resulta insuficiente relacionarlo exclusivamente con la necesidad de aumentar la producción de alimentos para una población en crecimiento, aspecto que comentaremos en otro apartado.

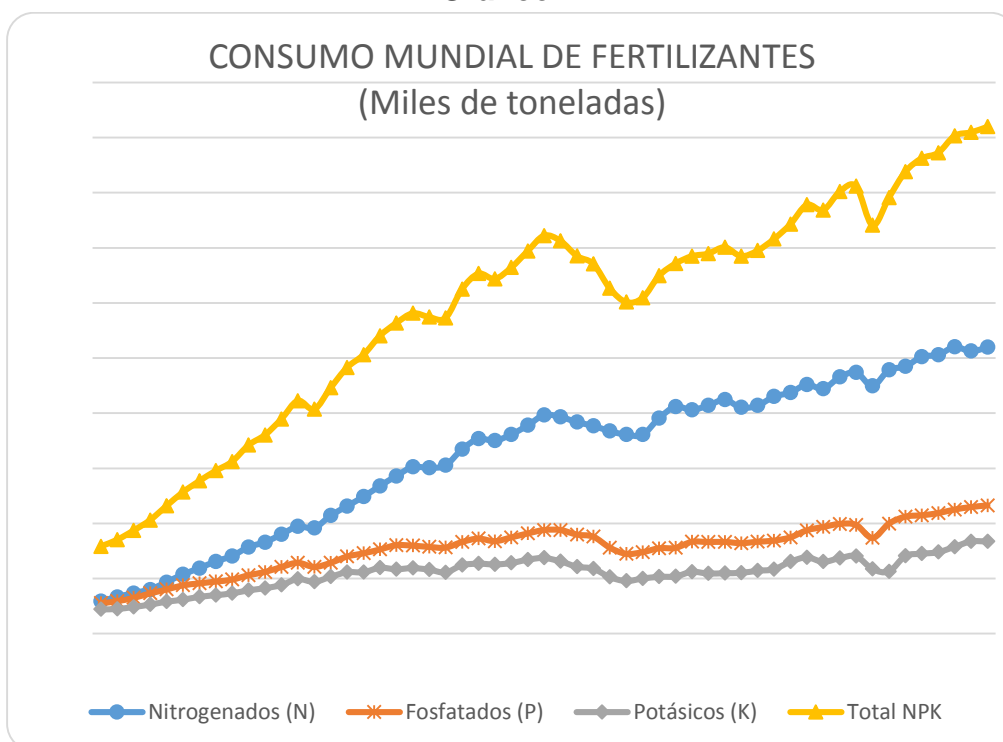
En cuanto al tipo de fertilizantes químicos utilizados se observa que en 1961 las proporciones eran similares, pues del total consumido los nitrogenados representaron el 37%, los fosfatados un 35% y los potásicos un 28%; en tanto que en 2015 se observa un cambio drástico, pues el consumo de los nitrogenados representó el 57%, los fosfatados el 25% y los potásicos el 18% (Ver gráficos 1 y 2). Lo anterior indica que el aumento en el consumo mundial de fertilizantes se explica fundamentalmente por el aumento del consumo de los fertilizantes nitrogenados (urea, sulfato y nitrato de amonio), los cuales son la base del modelo tecnológico comentado, que en su difusión y adopción incluyó la promoción del uso de estos fertilizantes a través de su distribución a precios subsidiados y en ocasiones de manera gratuita. Lo anterior se facilitó por el desarrollo en varios países de plantas estatales productoras de fertilizantes y por la oferta abundante de gas natural, combustible utilizado en la producción de amoniaco anhidro que es la principal materia prima en la producción de fertilizantes nitrogenados.

Gráfico 1. Comparativo 1961-2015 de la distribución porcentual del consumo mundial de fertilizantes por tipo.



Fuente: Elaboración CERSSA con datos de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA, por sus siglas en inglés)

Gráfico 2.



Fuente: Elaboración CERSSA con datos de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA, por sus siglas en inglés)

La estadística por país del año 2015 indica que en general los países de mayor consumo son también los principales productores. En cuatro países se concentra más del 60% del consumo: China, India, Estados Unidos y Brasil; de ellos solo China es superavitario en su producción de fertilizantes químicos, por lo que el resto tiene que importar fertilizantes. El 58% de la producción de éstos se concentra en seis países: China, India, Estados Unidos, Canadá, Rusia y Bielorrusia, siendo todos ellos exportadores de fertilizantes, a los que se suman países que si bien producen cantidades menores se han especializado en la exportación, como son Alemania, Bélgica, Países Bajos, Marruecos, Egipto, Uzbekistán, Chile, Arabia Saudita, Lituania, Jordania y Qatar (ver cuadro 1).

Por tipo de fertilizante los de mayor consumo son los nitrogenados, que involucran al mayor número de países en su producción, pues la materia prima utilizada es el nitrógeno del aire atmosférico que no tiene restricciones para acceder a él. La limitación es la disponibilidad de gas natural, hidrocarburo que se obtiene de yacimientos propios o importándolo. Destacan como productores de este tipo de fertilizantes: China, India, Estados Unidos, Federación Rusa, Canadá, Indonesia, Pakistán, Qatar, Arabia Saudita, Irán, Egipto y Ucrania; a excepción de India y Pakistán, todos ellos son exportadores (ver cuadro 2).

En lo que respecta a los fertilizantes fosfatados, el número de países que participan en su producción es menor que en la de los nitrogenados, pues requieren disponer de yacimientos de roca fosfórica que es su principal materia prima para fabricarlos. Los principales países productores son: China, Estados Unidos, India, Federación Rusa, Marruecos, Brasil y Arabia Saudita, los cuales producen el 80% y participan con el 77% de las exportaciones. Cabe mencionar que México participa en la producción mundial de fertilizantes fosfatados con 444.5 miles de toneladas, que representan el 1%, de las cuales la mayor parte se destina a la exportación (ver cuadro 3).

En cuanto a fertilizantes potásicos, el 93% de la producción mundial se concentra en ocho países, quienes participan con el 91% de las exportaciones, situación que se origina porque en ellos se encuentran los principales yacimientos de potasa. Los países referidos son: Canadá, Federación Rusa, Bielorrusia, China, Alemania, Israel, Jordania y Chile (ver cuadro 4)

Cuadro 1.

Consumo y producción de fertilizantes en 2015 por principales países consumidores (miles de toneladas)				
	Consumo	Producción	Diferencia consumo-producción	
			Absoluta	Relativa %
China	51,118	59,571	8,453	16.5
India	26,753	17,905	- 8,848	- 33.1
Estados Unidos	21,249	15,260	- 5,990	- 28.2
Brasil	13,096	3,089	- 10,007	- 76.4
Indonesia	5,910	4,238	- 1,672	- 28.3
Canada	3,943	15,324	11,381	288.6
Pakistan	3,709	3,463	- 247	- 6.7
Francia	3,052	794	- 2,258	- 74.0
Federación Rusa	2,832	18,453	15,621	551.5
Viet Nam	2,758	1,542	- 1,216	- 44.1
Australia	2,447	1,061	- 1,386	- 56.7
Alemania	2,397	4,333	1,937	80.8
Bangladesh	2,359	665	- 1,693	- 71.8
Turquía	2,204	1,388	- 816	- 37.0
Tailandia	2,184	109	- 2,075	- 95.0
Malasia	2,014	625	- 1,389	- 69.0
México	1,981	1,088	- 893	- 45.1
Polonia	1,908	1,625	- 283	- 14.8
España	1,747	1,644	- 103	- 5.9
Ucrania	1,691	1,731	40	2.4
Reino Unido	1,496	817	- 679	- 45.4
Egipto	1,457	2,052	595	40.9
Bielorusia	1,153	7,743	6,590	571.7
Argentina	1,107	497	- 610	- 55.1
Colombia	1,015	178	- 837	- 82.4
Irán	865	1,943	1,077	124.5
Uzbekistan	748	1,139	391	52.2
Marruecos	483	2,558	2,075	430.1
Chile	417	1,229	812	194.5
Arabia Saudita	280	3,659	3,379	1,208.1
Lituania	270	1,215	945	349.9
Bélgica	266	1,266	1,000	375.9
Países Bajos	229	1,316	1,086	473.6
Jordania	25	1,794	1,769	7,074.0
Qatar	3	2,618	2,615	104,612.0
	165,164	183,928	18,764	11.4
	18,744	15,340	- 3,405	- 18.2
	183,908	199,267	15,359	8.4
	89.8	92.3		

Fuente: Elaboración CERSSA con datos de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA, por sus siglas en inglés)

Cuadro 2.

Producción y exportación de fertilizantes nitrogenados en 2015 por principales países productores (miles de toneladas)				
País	Producción	Participación porcentual en la producción mundial	Exportación	Participación porcentual en la exportación mundial
China	36,312.1	32.1	9,726.2	24.1
India	13,475.9	11.9	-	0.0
Estados Unidos	9,290.7	8.2	1,498.3	3.7
Federación Rusa	7,379.7	6.5	5,347.4	13.2
Cánada	3,533.7	3.1	1,720.9	4.3
Indonesia	3,456.1	3.1	394.7	1.0
Pakistán	2,917.9	2.6	-	0.0
Catar	2,617.8	2.3	2,478.2	6.1
Arabia Saudita	2,330.3	2.1	2,163.8	5.4
Irán	1,918.0	1.7	1,217.9	3.0
Egipto	1,720.5	1.5	400.9	1.0
Ucrania	1,626.7	1.4	829.5	2.1
Polonia	1,378.5	1.2	598.6	1.5
Alemania	1,253.3	1.1	528.6	1.3
Países Bajos	1,225.8	1.1	1,312.1	3.2
Viet Nam	1,123.5	1.0	158.5	0.4
Bielorrusia	1,101.4	1.0	553.6	1.4
Bélgica	1,044.0	0.9	1,491.3	3.7
Subtotal países seleccionados	93,705.9	82.7	30,420.5	75.3
Resto de países	19,569.4	17.3	9,972.8	24.7
Total mundial	113,275.3	100.0	40,393.3	100.0
Participación porcentual de los países seleccionados	82.7		75.3	

Fuente: Elaboración CERSSA con datos de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA, por sus siglas en inglés)

Cuadro 3.**Producción y exportación de fertilizantes fosfatados en 2015 por principales países productores
(miles de toneladas)**

País	Producción	Participación porcentual en la producción mundial	Exportación	Participación porcentual en la exportación mundial
China	17289.2	39.3	5617.5	32.5
Estados Unidos	5257.2	11.9	2275.2	13.2
India	4429.1	10.1	0	0.0
Federación Rusa	3017.6	6.9	2370.3	13.7
Marruecos	2044.3	4.6	1759.3	10.2
Brasil	2020.9	4.6	101.2	0.6
Arabia Saudita	1328.4	3.0	1203.9	7.0
Indonesia	781.6	1.8	13.9	0.1
Australia	635.8	1.4	226.4	1.3
Pakistán	532.3	1.2	0.0	0.0
Turquía	520.4	1.2	61.0	0.4
México	444.5	1.0	345.9	2.0
Viet Nam	418.6	1.0	162.0	0.9
Lituania	359.1	0.8	391.2	2.3
Egipto	331.5	0.8	122.6	0.7
Túnez	309.6	0.7	256.0	1.5
Cánada	290	0.7	8.7	0.1
Subtotal países seleccionados	40010.1	90.8	14915.1	86.4
Resto de países	4030.0	9.2	2354.8	13.6
Total mundial	44040.1	100.0	17269.9	100.0
Participación porcentual de los países seleccionados	90.8		86.4	

Fuente: Elaboración CERSSA con datos de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA, por sus siglas en inglés)

Cuadro 4.

**Producción y exportación de fertilizantes potásicos por principales países productores
(miles de toneladas)**

País	Producción	Participación porcentual en la producción mundial	Exportación	Participación porcentual en la exportación mundial
Cánada	11499.9	27.4	10515.3	31.3
Federación Rusa	8055.5	19.2	7506.5	22.3
Bielorrusia	6401.7	15.3	5689.2	16.9
China	5970	14.2	40.0	0.1
Alemania	3055	7.3	2820.3	8.4
Israel	1517.7	3.6	1832.7	5.4
Jordania	1413	3.4	1195.7	3.6
Chile	1229.3	2.9	1016.2	3.0
España	723	1.7	475.0	1.4
Estados Unidos	711.6	1.7	199.4	0.6
Reino Unido	430	1.0	315.0	0.9
Brasil	279.1	0.7	61.1	0.2
Uzbekistan	132.7	0.3	89.8	0.3
Japón	117.7	0.3	3.5	0.0
Irán	24.5	0.1	0.0	0.0
Mauricio	20	0.0	0.0	0.0
Pakistán	12.3	0.0	0.0	0.0
Zimbabue	9	0.0	0.8	0.0
Subtotal países seleccionados	41602.0	99.2	31760.5	94.4
Resto de países	350.0	0.8	1867.5	5.6
Total mundial	41952.0	100.0	33628.0	100.0
Participación porcentual de los países seleccionados	99.2		94.4	

Fuente: Elaboración CERSSA con datos de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA, por sus siglas en inglés)

V. Uso de los fertilizantes en México

Nuestro país es uno de los centros de origen de la agricultura, lo cual se estima sucedió hace más de 7 mil años. La práctica de esta actividad, implicó no sólo la domesticación de especies vegetales para reproducirlas de manera regular, sino también la adquisición de conocimientos para mejorar la productividad de los cultivos, como fueron los relacionados con la irrigación; la realización de obras como las terrazas en laderas para evitar la erosión de los suelos; y, de manera muy importante, el manejo de la rotación, combinación y sucesión de diversas especies en las áreas de cultivo, con la finalidad de mantener y mejorar la fertilidad de los suelos, prácticas que demuestran la importancia que se le dio al mantenimiento y recuperación de la calidad de los mismos. Existen evidencias de que desde hace más tres mil años en nuestro territorio se realizó una agricultura intensiva. Ésta permitió la alimentación de conglomerados de población que dieron origen a núcleos urbanos de varias decenas de miles de habitantes, los cuales fueron la base de las culturas precolombinas, como la Olmeca, Náhuatl, Maya, Tolteca, Totonaca, Mixteca y Zapoteca, entre otras.

Una de las cualidades de la agricultura practicada por los campesinos del México precolombino fue que lograron adaptarla a diferentes condiciones medioambientales, que iban de climas cálidos a fríos, de llanuras costeras a montañas, de regiones con suelos profundos a otras con suelos someros, de zonas de escasa precipitación a zonas de alta, de acondicionar áreas anegables a crear áreas de cultivos dentro de los lagos, adaptando especies a todas ellas, como el maíz, que es uno de los cultivos más cosmopolita creado por la intervención de nuestros antepasados.

Esta característica implicaba un conocimiento de las funciones del suelo y si bien no se tienen evidencias de que los agricultores de aquella época identificaran los nutrientes esenciales para las plantas, sí comprendieron qué materiales podían utilizar para mantener la capacidad productiva de las áreas que destinaban para la agricultura, por lo que podemos afirmar que utilizaron algunos de los biofertilizantes que se han mencionado.

Con la llegada de los españoles las actividades agrícolas se transformaron, pues los conquistadores introdujeron otras especies vegetales y prácticas agrícolas, como la labranza de los suelos con el arado de tracción animal. Destacó la introducción de especies animales para la práctica de la ganadería, como fueron las reses, cabras, ovejas, cerdos y gallinas. La actividad ganadera demandó el uso de grandes extensiones de terrenos para el pastoreo, así como la utilización de granos para la alimentación del ganado. Lo anterior transformó las prácticas agrícolas ancestrales y la alimentación de la población autóctona, así como las formas de organización que permitían sostener los sistemas agrícolas más productivos; condiciones que llevaron a que una parte de la población fuera obligada a trabajar con las tecnologías traídas por los conquistadores y

otra, confinada en áreas de refugio, solo pudo mantener una parte de las tecnologías agrícolas ancestrales, que no siempre fueron las más productivas.

La introducción de la ganadería permitió el uso del estiércol como biofertilizante, que no necesariamente era una práctica nueva, pues existe la hipótesis del uso de estiércoles de origen humano y de murciélagos por los agricultores nativos. El estiércol de ganado vacuno es el biofertilizante de mayor uso en la actualidad; también el regadío con aguas residuales urbanas es otra forma de biofertilización utilizada y, a partir de la promoción por parte de la Sagarpa y empresas particulares, se ha avanzado en el uso de los bioinoculantes. Por el encarecimiento de los fertilizantes químicos y por la promoción de la agroecología que hacen principalmente algunas instituciones académicas y organizaciones ambientalistas ha aumentado el uso de los biofertilizantes, principalmente de los que los propios agricultores pueden preparar, como los fermentados del tipo supermagro y el bocashi, así como las compostas y el uso de abonos verdes.

No existe una estadística consistente del uso de abonos naturales, pues como se sabe los Censos Agropecuarios que realiza el INEGI no han tenido continuidad (el último realizado fue en el 2007 y el anterior en 1991). En la actualidad solo se están realizando encuestas agropecuarias sobre una parte de los cultivos y actividades ganaderas.

De estos instrumentos estadísticos tenemos los siguientes datos: en el Censo Agropecuario de 2007 se informa que en 1.3 millones de hectáreas se usaron abonos naturales y en 7.9 millones de hectáreas se usaron fertilizantes químicos. La Encuesta Nacional Agropecuaria 2012 registra que el 40.4% de las unidades de producción agrícola usaron abonos naturales; también registra de manera separada que un 6.8% usó biofertilizantes, el 19.6% realizó rotación de cultivos y un 65.4% usó fertilizantes químicos.

La Encuesta Nacional Agropecuaria 2014 reporta que el 27.5% de las unidades de producción usó abonos naturales, el 26.8% realizó rotación de cultivos y el 68.8% usó fertilizantes químicos. Por su parte, la institución encargada de la información estadística de la SAGARPA, el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, en el reporte de uso de tecnología del año 2016, informa que en 15.1 millones de hectáreas se utilizaron fertilizantes químicos, las cuales representan el 69 por ciento del total de la superficie sembrada. No se reporta sobre el uso de abonos naturales o biofertilizantes y no se puede inferir que la superficie sembrada en la que no se utilizaron fertilizantes químicos se hayan utilizado abonos naturales, ni tampoco podemos señalar que en la superficie que se usaron fertilizantes químicos no se haya utilizado algún tipo de biofertilizante, pues en el caso de los bioinoculantes se recomienda su uso para disminuir la cantidad de fertilizantes químicos y no necesariamente para sustituirlos.

La información disponible no permite cuantificar la superficie en la que se usan biofertilizantes, pero considerando la gama de biofertilizantes expuesta puede ser superior a las cuatro millones de hectáreas.

En cuanto al consumo de fertilizantes químicos por la agricultura, lo descrito en el apartado relativo al consumo mundial es aplicable para nuestro país. El aumento en su uso fue resultado de la promoción que se hizo del modelo tecnológico de la revolución verde, que en México tuvo como base el establecimiento por parte del Estado de plantas industriales productoras de fertilizantes, las cuales en la década de los ochenta del siglo pasado se vieron fortalecidas al ser parte de las estrategias de desarrollo de la industria petroquímica. Otra medida que facilitó el crecimiento en el uso de los fertilizantes fue la inducción a través del crédito agrícola que otorgaba la banca pública especializada en el sector, pues en los rubros del crédito de avío se consideraba el de adquisición de insumos, entre los que se encontraban los fertilizantes y, en algunas ocasiones, parte del crédito se entregaba en especie (semillas, herbicidas, insecticidas y fertilizantes).

Es importante mencionar que una vez adoptados los modelos de monocultivo y de continua labranza de los suelos, la fertilidad de los suelos decayó y por ende los rendimientos de los cultivos, situación que pudo ser revertida con el uso de los fertilizantes, plaguicidas y semillas que respondían a esos agroquímicos. Por ello, los productores fueron proclives a adoptar el modelo tecnológico que se promovía.

Con la finalidad de proporcionar datos sobre la evolución del uso de fertilizantes químicos en México, se recopiló información de la IFA, por ser la instancia que proporciona la serie histórica de más años sobre la producción, consumo y comercio exterior de fertilizantes de México, haciendo la aclaración de que no son datos avalados por alguna autoridad del país y pueden no ser consistentes en algunos años. No obstante, consideramos que aportan elementos que indican las tendencias que se han seguido en los conceptos mencionados.

En 1961 el consumo total de fertilizantes químicos se estimó en 195.4 miles de toneladas, de las cuales el 79% era de nitrogenados, el 17% de fosfatados y el 4% de potásicos; en 2015 el consumo de este tipo de fertilizantes es de casi 2 millones de toneladas, lo cual es diez veces superior al consumo observado en 1961. Del total, el 68% es de nitrogenado, el 18% de fosfatados y el 14% de potásicos, lo cual indica que el mayor crecimiento se observó en el uso de los fertilizantes potásicos y marca una diferencia con lo observado a nivel mundial, donde la tasa de crecimiento mayor fue en los fertilizantes nitrogenados. No obstante lo anterior, el mayor volumen de fertilizantes consumidos sigue siendo los nitrogenados.

La gráfica del consumo de fertilizantes muestra claramente la tendencia seguida desde 1961, de la cual destaca, primero, la etapa 1961-1981 en la que se observa un crecimiento ascendente a una tasa media de crecimiento anual superior al 10%, que es el resultado de la intensa promoción de la actividad agropecuaria a través de acciones

públicas, entre las que se encuentra la intensificación de la producción de fertilizantes y su distribución a precios subsidiados.

La siguiente etapa comprende el periodo 1982-1990, en la que si bien se observa un tendencia de crecimiento en el consumo de fertilizantes químicos es a una tasa muy inferior (0.9%), a excepción de los fosfatados y potásicos que decrecen a tasas de 1% y 0.4% respectivamente. Esta etapa corresponde a un periodo de fuerte inflación y de problemas de liquidez en las finanzas públicas, que llevan a una reducción de los apoyos a la actividad agrícola.

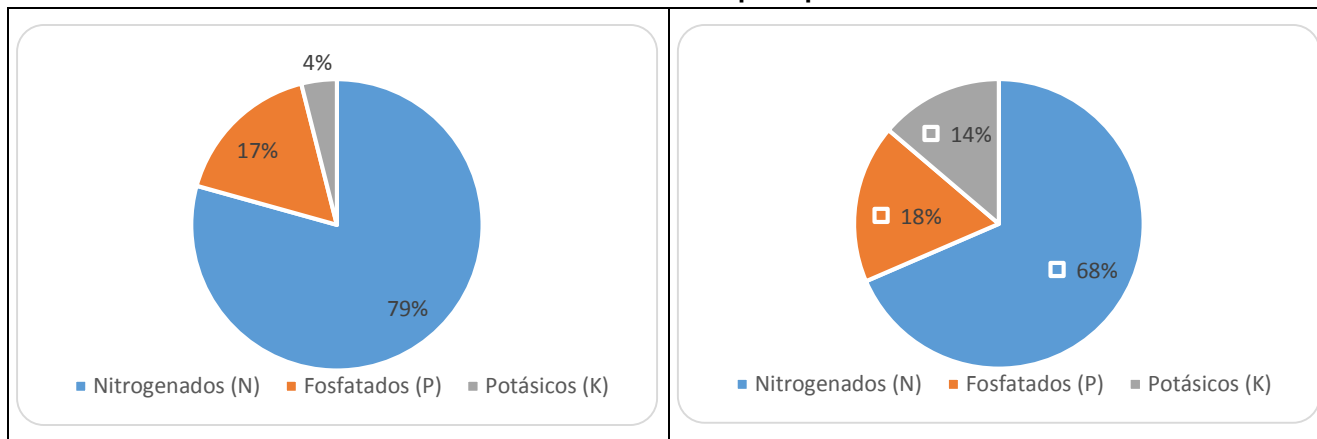
Una tercera etapa es la comprendida entre los años 1991-2000, en la que se mantiene el crecimiento pero a una tasa menor a la observada en la etapa anterior, a excepción de los fertilizantes potásicos, en los que se se observa una tasa de crecimiento superior al 4%, que es consecuencia directa de la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), el cual abrió las oportunidades de exportación de frutas (naranja, limón, mango, entre otras) para las cuales los fertilizantes potásicos juegan un papel importante en la productividad de sus plantaciones. Por otra parte, esta etapa coincide con la privatización de la industria paraestatal productora de fertilizantes, la desregulación de su comercio y el retiro de los subsidios a los fertilizantes.

Una cuarta etapa comprende el periodo 2001-2006, en la que se observa una disminución en el consumo de fertilizantes químicos a una tasa negativa del 2%, principalmente originada por la disminución del consumo de fertilizantes nitrogenados a una tasa negativa del 4.1%, que se explica por un aumento en el precio de los combustibles fósiles, entre ellos el gas natural, aumentos relacionados con los conflictos bélicos en el Medio Oriente y su repercusión en el precio de los fertilizantes.

Finalmente se puede identificar una quinta etapa comprendida entre los años 2007-2015, en la que se observa una tendencia creciente a una tasa de 1.4% en el consumo de fertilizantes, originada por el aumento en el consumo de los fertilizantes nitrogenados y fosfatados, lo cual se relaciona con ligeras disminuciones y estabilidad en su precio y una reorientación de las reglas de operación del programa de apoyos directos a los productores (PROAGRO PRODUCTIVO, antes PROCAMPO) para que el beneficiario comprobara el uso de los apoyos en labores o adquisición de insumos agrícolas.

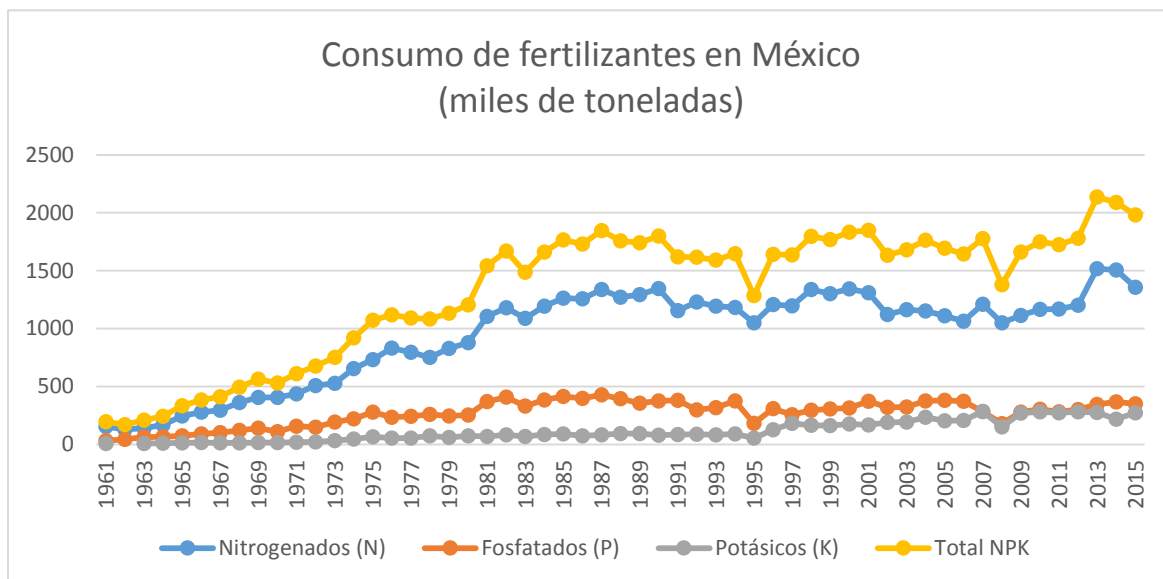
Cabe comentar que se observan claramene tres años con marcados descensos en el consumo de fertilizantes, presentados en 1983, 1995 y 2008, los cuales son atípicos a las tendencias observadas, pero coinciden con disrupciones económicas ocurridas en esos años en el país y el mundo, que se señalan como fenómenos ajenos al sector agrícola pero repercuten en la actividad del mismo y se reflejan en un disminución en el consumo de uno de sus insumos de mayor uso, como son los fertilizantes químicos (ver gráficos 3 y 4).

Gráfico 3. Comparativo 1961-2015 de la distribución porcentual del consumo en México de fertilizantes por tipo.



Fuente: Elaboración CERSSA con datos de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA, por sus siglas en inglés)

Gráfico 4.



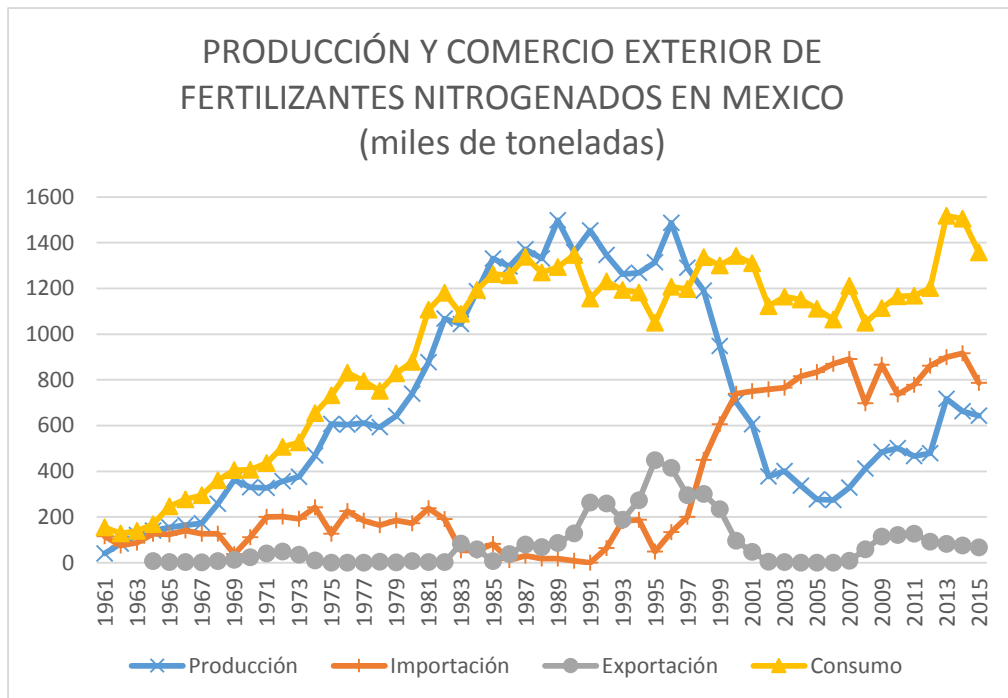
Fuente: Elaboración CERSSA con datos de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA, por sus siglas en inglés)

En cuanto a los fertilizantes nitrogenados, las estadísticas de la IFA indican que en 1961 se consumieron 155 mil toneladas, de las cuales 40 mil fueron producidas en el país y el 74% fueron importadas. Veinte años después, en 1981, el consumo ascendió a 1,106.3 mil toneladas, es decir, se había multiplicado siete veces; la producción nacional fue de

877.2 mil, por lo que las importaciones representaron un 21% del consumo. En el año 1985 ya se consigna en las estadísticas que en el país la producción es superior al consumo, condición que se mantiene hasta el año 1996; a partir del año 1997 se inicia un etapa de descenso en la producción hasta el año 2006, para que en el año 2007 se inicie una nueva etapa de recuperación de la producción que se sostiene hasta el año 2015, pero sin que se lleguen a recuperar los volúmenes producidos en las dos décadas anteriores, por lo que el país depende hasta la fecha de las importaciones de fertilizantes nitrogenados, principalmente urea, en un 65% (ver gráfico 5).

Los principales países proveedores de urea, que es el fertilizante nitrogenado de mayor uso, son en orden de importancia: China, Federación Rusa, Ucrania, Indonesia e Irán; en cuanto a sulfato de amonio, el mayor volumen de importación se realiza de Bélgica.

Gráfico 5.

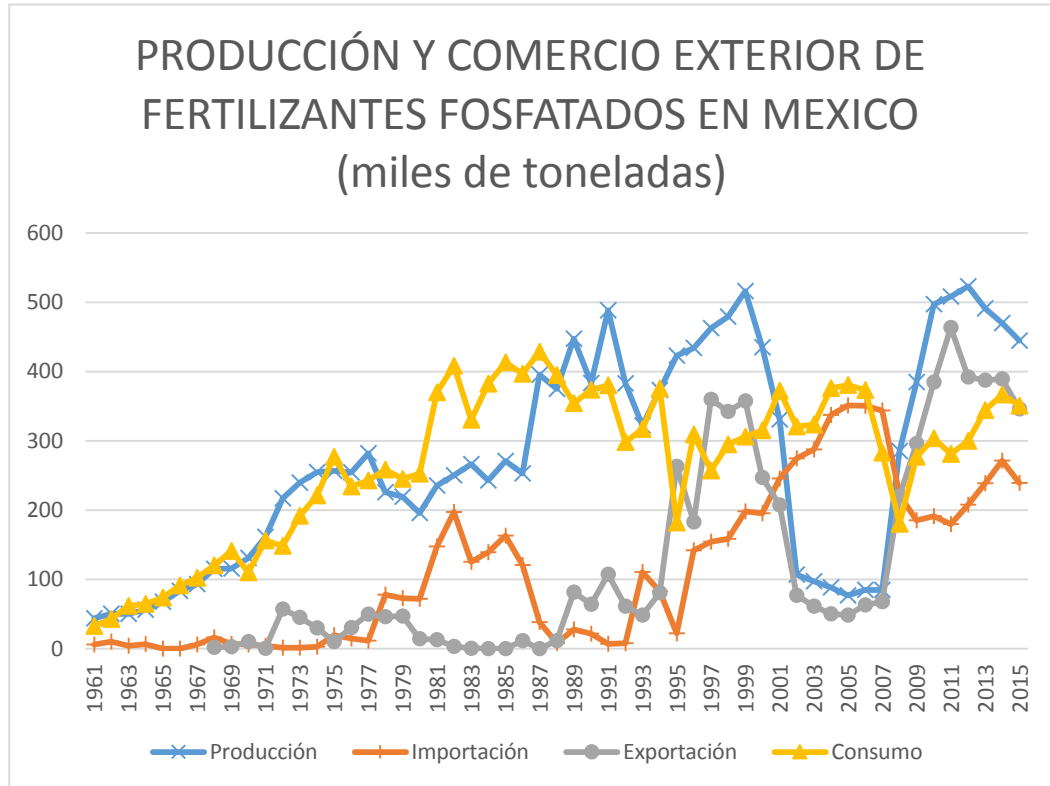


Fuente: Elaboración CERSSA con datos de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA, por sus siglas en inglés)

En cuanto a fertilizantes fosfatados, la estadística de la IFA muestra que a partir del año 1970 el país produce más de lo que consume, condición que se mantiene hasta 1977, año en que se consumen 258 mil toneladas y se producen 242.8 mil toneladas, se exportan 46 mil y se importan 78 mil, lo cual se explica por la importación de fertilizantes fosfatados compuestos que el país no produce y la exportación de fertilizantes fosfatados simples, en los que es excedentario. A partir del año 2001 se observa un ciclo de fuerte declinación en la producción que se mantiene hasta el año 2008, en el que se reinicia un

ciclo de crecimiento que se mantiene hasta el año 2015, en el que se producen 444 mil toneladas, cifra superior al consumo que ascendió a 350 mil toneladas, importándose 239 mil y exportándose 346 mil toneladas (ver gráfico 6). Los destinos de las exportaciones de superfosfato fueron Chile, Brasil, Argentina y Alemania. En cuanto a fosfato diamónico las importaciones provienen principalmente de Estados Unidos y China; las exportaciones se realizan hacia Chile, Brasil, Colombia y Alemania.

Gráfico 6.

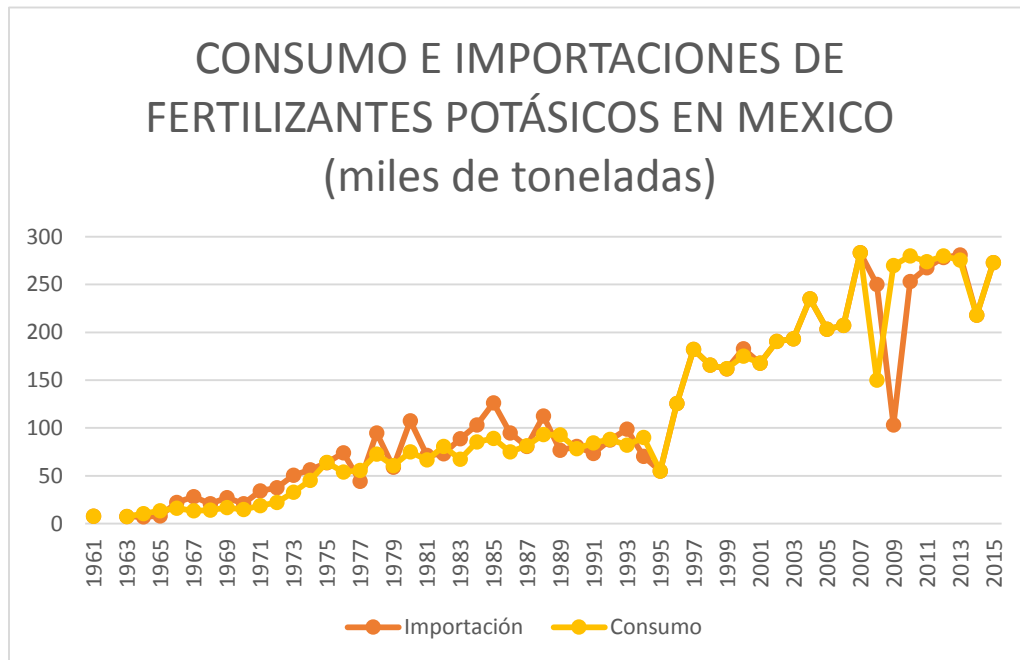


Fuente: Elaboración CERSSA con datos de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA, por sus siglas en inglés)

En cuanto a fertilizantes potásicos, claramente se observan dos etapas de crecimiento en su uso: la primera comprendida entre los años 1961-1994, en la que su consumo creció a una tasa anual del 7%; y la que va de 1995 a 2015, en la que su consumo creció a una tasa anual del 8.3%, como consecuencia del aumento de su uso en el sector hortofrutícola, el cual fue estimulado por el aumento de las exportaciones a consecuencia de la entrada en vigor del TLCAN. Por no producir fertilizantes potásicos el país depende

totalmente de las importaciones de este tipo de fertilizante, el cual proviene principalmente de Rusia, Cánada y Chile.

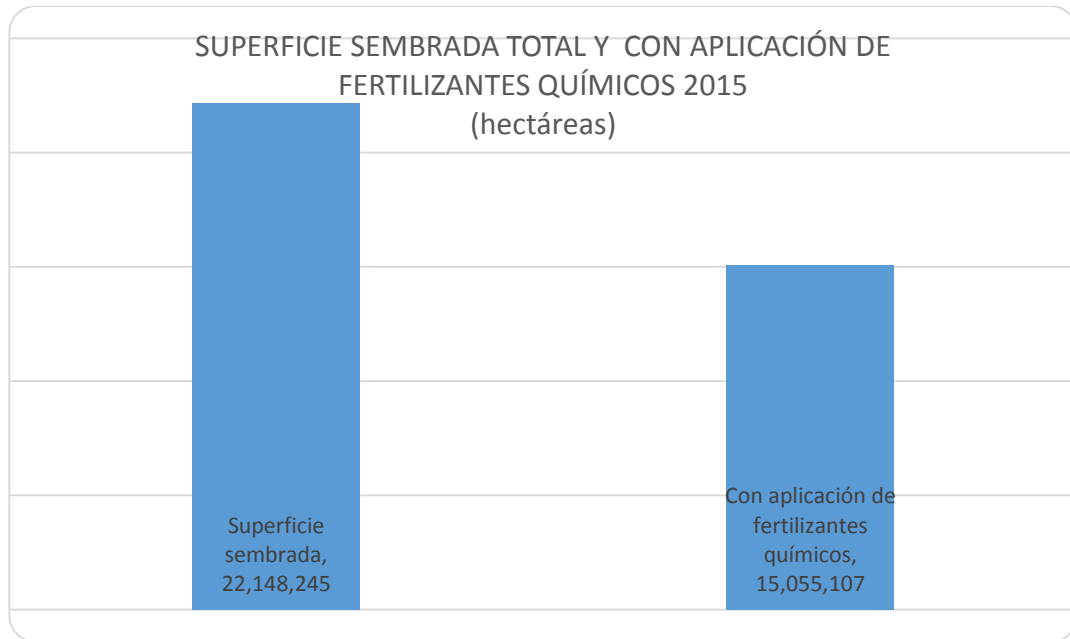
Gráfico 7.



Fuente: Elaboración CERSSA con datos de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA, por sus siglas en inglés)

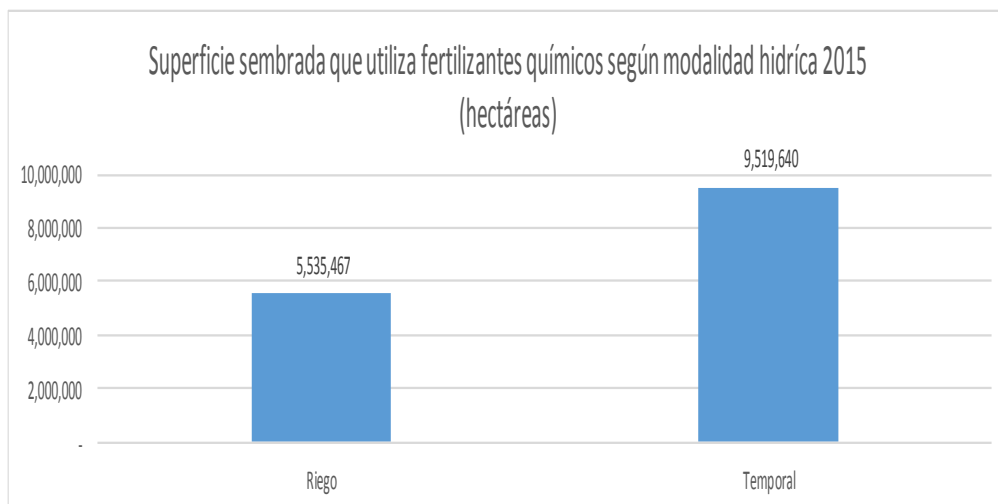
En cuanto al uso en la agricultura de los fertilizantes químicos se exponen las estimaciones realizadas por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Sagarpa para el año 2015, en las que se muestra que de la superficie sembrada de 22.1 millones de hectáreas, en 15 millones (el 68%) se aplicaron fertilizantes químicos (ver gráfico 8). De la superficie fertilizada con químicos, 5.5 millones de hectáreas son de riego, lo que indica que en el 94% de la superficie irrigada del país se usan. En el caso de la superficie de temporal, solo está fertilizada con químicos el 58% (ver gráfico 9). Por otra parte, se estima que el 57% de la superficie fertilizada corresponde a cultivos anuales del ciclo primavera-verano; el 20% son del ciclo otoño-invierno; y el 23% está sembrada con cultivos perennes (ver gráfico 10).

Gráfico 8.



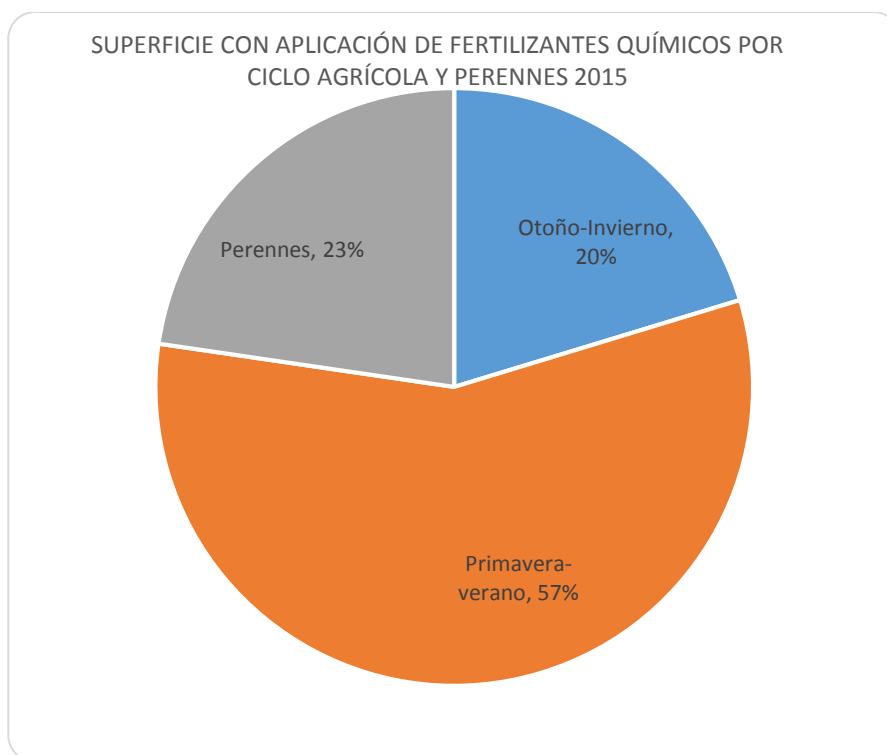
Fuente: Elaboración CEDRSSA con datos de SIAP-SAGARPA, 2015, Uso de Tecnología y deservicios en el campo.

Gráfico 9.



Fuente: Elaboración CEDRSSA con datos de SIAP-SAGARPA, 2015, Uso de Tecnología y deservicios en el campo.

Gráfico 10.



Fuente: Elaboración CEDRSSA con datos de SIAP-SAGARPA, 2015, Uso de Tecnología y deservicios en el campo.

En cuanto a su uso en los cultivos anuales o cíclicos con mayor superficie sembrada, se observa que en maíz grano, del que se sembraron 7.6 millones de hectáreas en el año agrícola 2015, el 74% de la superficie sembrada fue fertilizada con químicos; le sigue en importancia el sorgo, con una superficie sembrada sensiblemente menor, 1.7 millones de hectáreas, de las cuales se fertilizó con químicos el 75%; el tercer cultivo en importancia es el frijol, del cual se sembraron 1.6 millones de hectáreas, pero solo en el 51% se usaron fertilizantes químicos, situación que indudablemente está relacionada con las características de las leguminosas a las que pertenece el frijol, ya que en su sistema radicular se desarrollan microorganismos fijadores de nitrógeno que le permiten prescindir de fertilizantes nitrogenados. No obstante lo anterior, resalta respecto a la segunda leguminosa en cuanto a superficie sembrada, que es la soya, que en el 93% de su superficie se usan fertilizantes químicos, situación que tiene que ver con el predominio de tecnologías de alto consumo de agroquímicos en este cultivo, situación que se repite en el caso del trigo y el arroz, con más del 90% de su superficie sembrada con uso de fertilizantes químicos.

Por otra parte, resalta que en las principales hortalizas (chile, papa, cebolla, jitomate y tomate verde) más del 95% de su superficie sembrada es fertilizada con químicos, situación que indica el tipo de tecnología utilizada en estos cultivos, en los que existen experiencias y tecnologías que prescinden de los agroquímicos.

Cabe comentar que las cantidades y tipos de fertilizantes químicos usados varían significativamente por cultivo, regiones y tipo de productor, pero en los orientados al mercado y de riego es donde se utilizan los mayores volúmenes por unidad de superficie. El promedio estimado para el año 2015, considerando exclusivamente la superficie que usa fertilizantes químicos es de 131.6 kilogramos por hectárea, cantidad que contrasta con los volúmenes de fertilizantes que se usan en las áreas de alta productividad, como es el caso de Sinaloa, donde para el cultivo de maíz de riego y una producción de 10 toneladas por hectárea, de acuerdo a una de las recomendaciones técnicas, se puede estimar un requerimiento de 478 kilogramos de urea, 165 de fosfato diamónico y 150 de cloruro de potasio, que en conjunto suman 793 kilogramos por hectárea y una inversión por estos insumos de 6,385 pesos.

Cuadro 5.

Superficie sembrada y con uso de fertilizantes químicos por cultivos anuales con mayor superficie sembrada 2015 (hectáreas)			
Cultivo	Superficie sembrada	Con uso de fertilizantes químicos	Participación porcentual
Maíz grano	7,600,453	5,645,797	74.3
Sorgo	1,765,412	1,334,268	75.6
Frijol	1,678,939	857,447	51.1
Trigo	835,284	762,083	91.2
Avena forrajera	715,519	506,536	70.8
Maíz forrajero	563,821	422,675	75.0
Cebada	323,594	259,876	80.3
Soya	253,846	237,114	93.4
Sorgo forrajero	191,912	136,503	71.1
Chile verde	153,565	145,707	94.9
Ajonjolí	107,098	85,016	79.4
Cártamo	137,423	81,413	59.2
Algodón	133,576	133,176	99.7
Garbanzo	82,337	78,134	94.9
Papa	64,032	62,056	96.9
Cebolla	50,848	49,970	98.3
Tomate rojo	50,596	49,110	97.1
Tomate verde	43,833	42,827	97.7
Arroz	42,311	40,635	96.0

Fuente: Elaboración CEDRSSA con datos de SIAP-SAGARPA, 2015, Uso de Tecnología y deservicios en el campo.

En cuanto a cultivos perennes se reporta que en el de caña de azúcar, que es el de mayor superficie sembrada, en el 93% se utilizan fertilizantes químicos, dato que contrasta con el segundo cultivo en superficie, que es el café, donde solo el 34% utiliza fertilizantes químicos, lo cual tiene que ver con los cambios en las políticas de atención a sus productores, los precios de mercado y problemas fitosanitarios, pues se dejó de promover y apoyar el uso de fertilizantes químicos, los bajos precios al productor imposibilitaban la adquisición de los mismos y la afectación por la roya contribuyeron a que el productor buscara opciones para sustituir el uso de estos fertilizantes, encontrando que los biofertilizantes le permitían, además de un ahorro económico poder incursionar en los mercados de orgánicos que le otorgan mejores precios y, en algunos casos, lograr una condición de salud de las plantaciones de café para afrontar el problema de la roya. Situación similar se observa en el cacao, respecto al cual por motivos similares se muestra una menor superficie fertilizada con químicos, comparada con el resto de los cultivos, sobre los que se reporta que en más del 90% de su superficie sembrada se utilizan fertilizantes químicos.

Cuadro 6.

Superficie sembrada y con uso de fertilizantes químicos por cultivos perennes con mayor superficie sembrada 2015 (hectáreas)			
Cultivo	Superficie sembrada	Con uso de fertilizantes químicos	Participación porcentual
Caña de azúcar	826,910	770,628	93.2
Café	734,291	249,794	34.0
Alfalfa	386,704	339,004	87.7
Naranja	337,680	193,487	57.3
Mango	191,016	146,184	76.5
Aguacate	187,327	172,728	92.2
Limón	176,046	137,126	77.9
Cocotero Copra	127,277	23,842	18.7
Nuez	112,622	106,867	94.9
Agave	108,120	96,257	89.0
Palma africana	82,151	60,479	73.6
Plátano	79,182	63,477	80.2
Cacao	61,397	33,044	53.8
Piña	40,719	39,126	96.1

Fuente: Elaboración CEDRSSA con datos de SIAP-SAGARPA, 2015, Uso de Tecnología y deservicios en el campo.

En cuanto a la distribución de la superficie fertilizada con químicos por entidad federativa, ésta coincide con las entidades con las mayores superficies sembradas y con alta participación del PIB agropecuario en sus economías, las cuales son Jalisco, Veracruz, Tamaulipas, Chiapas, Michoacán, Chihuahua, Guanajuato y Sinaloa. Por otra parte, cabe comentar que las entidades que muestran los mayores porcentajes de su superficie fertilizada con el total sembrado son: Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Estado de México y Michoacán; en sentido opuesto, las entidades con los menores porcentajes de superficie fertilizada son: Yucatán, San Luis Potosí, Durango y Zacatecas, las tres últimas productoras de frijol y todas con cultivos de pastos que en su mayoría no son fertilizados.

Cuadro 6.

Superficie sembrada y con uso de fertilizantes químicos por Entidades Federativas con mayor superficie sembrada 2015 (hectáreas)			
Entidad federativa	Superficie sembrada	Con uso de fertilizantes químicos	Participación porcentual
Jalisco	1,569,813	1,214,711	77.4
Veracruz	1,504,816	1,049,661	69.8
Chiapas	1,448,690	805,679	55.6
Tamaulipas	1,399,127	887,740	63.4
Oaxaca	1,384,572	599,352	43.3
Sinaloa	1,269,627	1,240,147	97.7
Zacatecas	1,240,507	677,407	54.6
Michoacán	1,152,216	1,051,892	91.3
Chihuahua	1,101,135	1,039,442	94.4
Guanajuato	986,178	842,740	85.5
Puebla	980,981	724,770	73.9
Guerrero	890,979	592,035	66.4
México	859,601	793,882	92.4
San Luis Potosí	837,968	301,809	36.0
Yucatán	755,414	76,061	10.1
Durango	731,754	389,539	53.2
Sonora	634,602	624,649	98.4

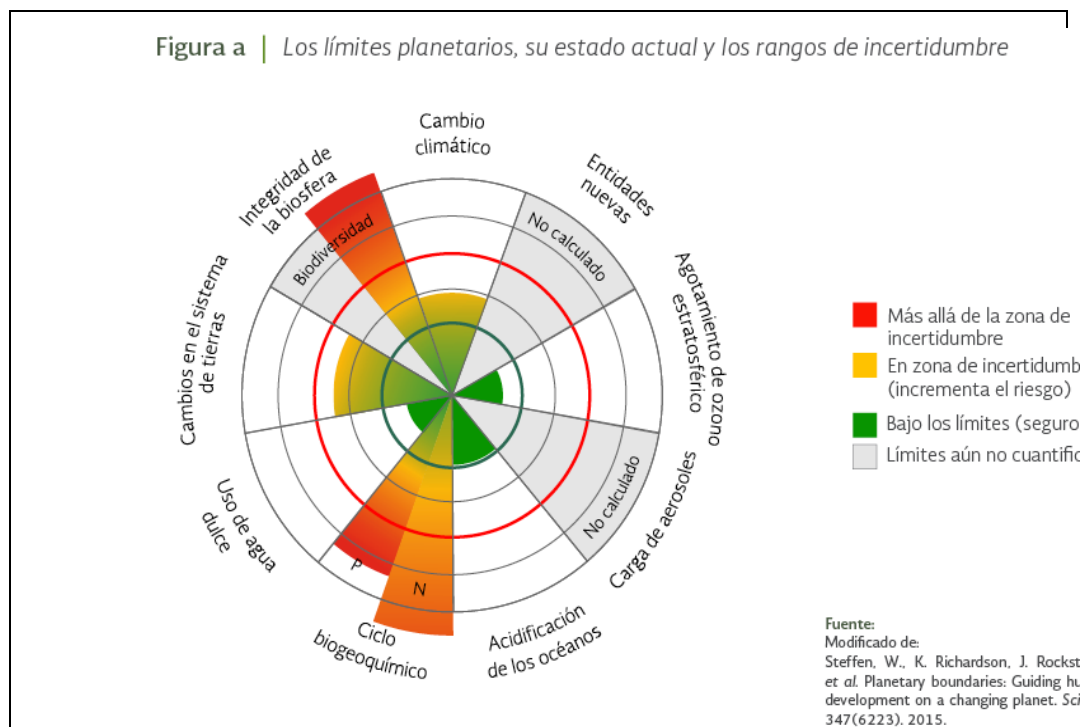
Fuente: Elaboración CEDRSSA con datos de SIAP-SAGARPA, 2015, Uso de Tecnología y deservicios en el campo.

Como se puede apreciar, el uso de fertilizantes químicos es una práctica generalizada tanto por cultivos como por entidad federativa, lo cual se corresponde a las tecnologías impulsadas en el siglo pasado y para las cuales es imprescindible mantener el uso de este tipo de fertilizantes. Existe entre quienes estudian el manejo de los fertilizantes, en que para mantener y aumentar consenso la productividad, ante las limitaciones para incrementar la superficie de cultivo y los ciclos agrícolas, se requiere el uso eficiente de fertilizantes químicos, lo cual es cierto si se mantiene el paradigma de la agricultura de monocultivo, altamente mecanizada y de uso intensivo de agroquímicos. Por lo anterior, para definir el futuro del uso de los fertilizantes químicos habría que responder si éste es sostenible o existen alternativas tecnológicas que permitan disminuir o prescindir del mismo.

VI. Impacto ambiental del uso de los fertilizantes químicos

- a) La producción industrial de fertilizantes químicos, el transporte hacia las áreas agrícolas y su aplicación implican la quema de combustibles fósiles, la cual origina la emisión de dióxido de carbono, uno de los gases de efecto invernadero que se relaciona con el cambio climático.
- b) Una parte importante de los nutrientes de los fertilizantes químicos no es asimilada por las plantas, estimándose que puede ser de una tercera parte a la mitad. Esto provoca que una parte de los fertilizantes se pierdan, una parte volatilizada y otra lixiviada, siendo esta última la que genera mayores impactos negativos al medio ambiente. Los nitratos y fosfatos que son arrastrados por el agua terminan en lagos, ríos y océanos, causando la eutrofización de los mismos (aumento de nutrientes en el agua). Esto genera el aumento de las poblaciones de algas en la superficie del agua, impidiendo el paso de la luz, limitando con ello la actividad fotosintética de la flora acuática y reduciendo por tanto la liberación de oxígeno, lo cual crea condiciones de hipoxia (bajo oxígeno) y anoxia (falta de oxígeno) que hacen imposible la existencia de especies que forman parte de los ecosistemas acuáticos, afectando con ello la biodiversidad.
- c) El uso de los fertilizantes químicos, principalmente de los nitrogenados y fosfatados, es responsable de que se haya rebasado el límite planetario del ciclo biogeoquímico del nitrógeno y el fósforo por la introducción de mayores cantidades de nitratos y fosfatos hacia ciertos ecosistemas, lo cual genera desequilibrios en éstos. Lo anterior se suma a los otros tres límites planetarios superados, que son los del cambio climático, cambios en el uso del suelo e integridad de la biósfera por pérdida de especies de la biodiversidad (ver gráfico 11).

Gráfico 11.

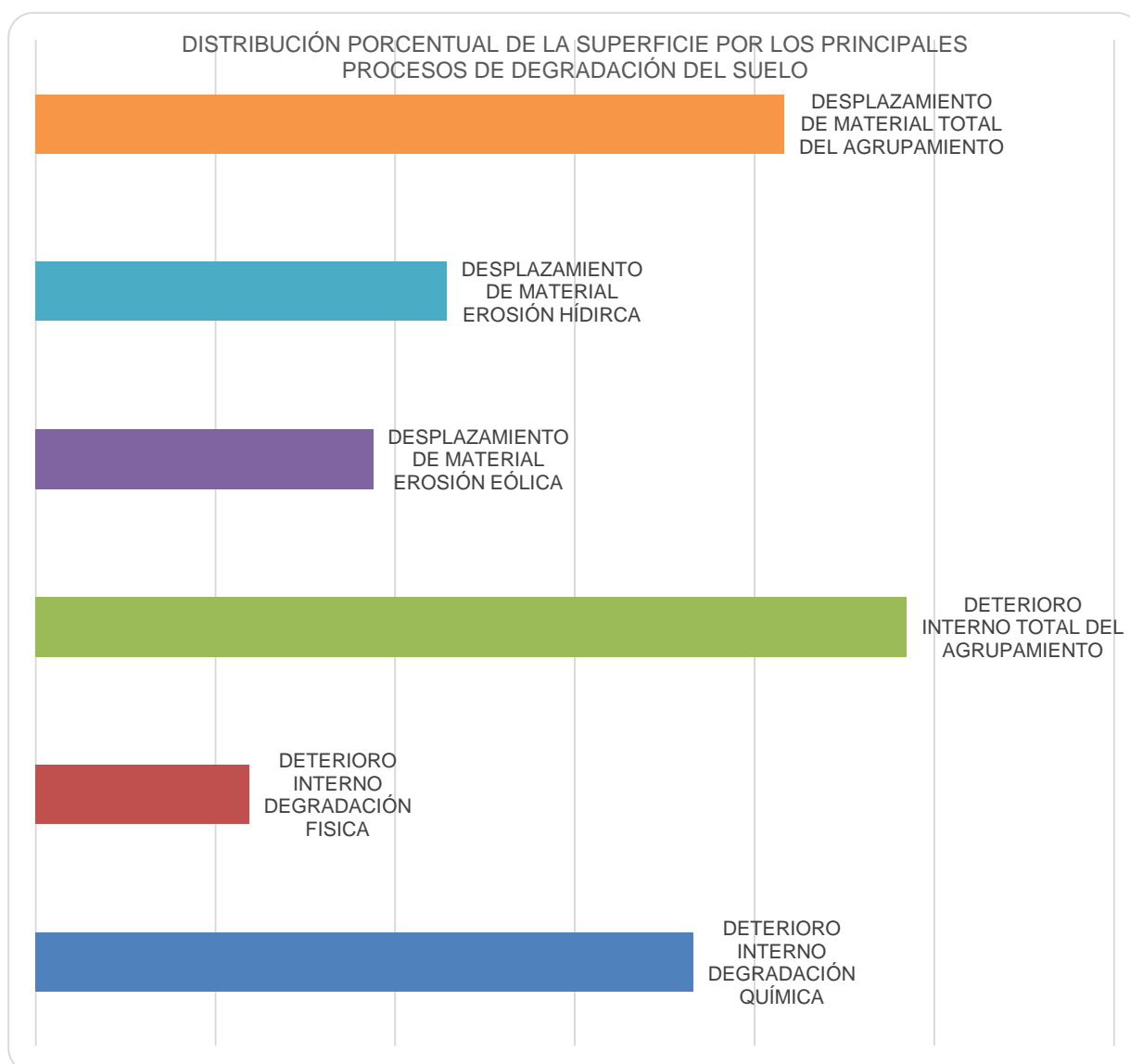


Fuente: semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/tema/recuadros/recuadro1_2.html

- d) El uso excesivo de fertilizantes puede provocar acidificación y ensalitramiento de suelos, que afectan el desarrollo de las plantas y disminuyen la productividad agrícola. Existen estudios que prueban que la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados sintéticos, bajan la resistencia de las plantas a las plagas (Nicholls,
- e) El uso de fertilizantes químicos de manera continua y principalmente en monocultivos impide la recuperación de la fertilidad natural de los suelos, pues afecta la presencia de los microorganismos que participan en la biodescomposición de los materiales orgánicos y rocosos que aportan los nutrientes al suelo. Situación que se agrava porque generalmente se atienden con la fertilización química los requerimientos de los nutrientes primarios (nitrógeno, fósforo y potasio), dejando de lado los secundarios (calcio, magnesio y azufre) y los micronutrientes (boro, cloro, cobre, hierro, molibdeno, manganeso, zinc y níquel) los cuales, si bien son requeridos en menores cantidades que los nutrientes primarios, son esenciales para el desarrollo de las plantas y para quienes las consumen, entre ellos los humanos, contribuyendo a una ingesta insuficiente de minerales con repercusiones en la salud.

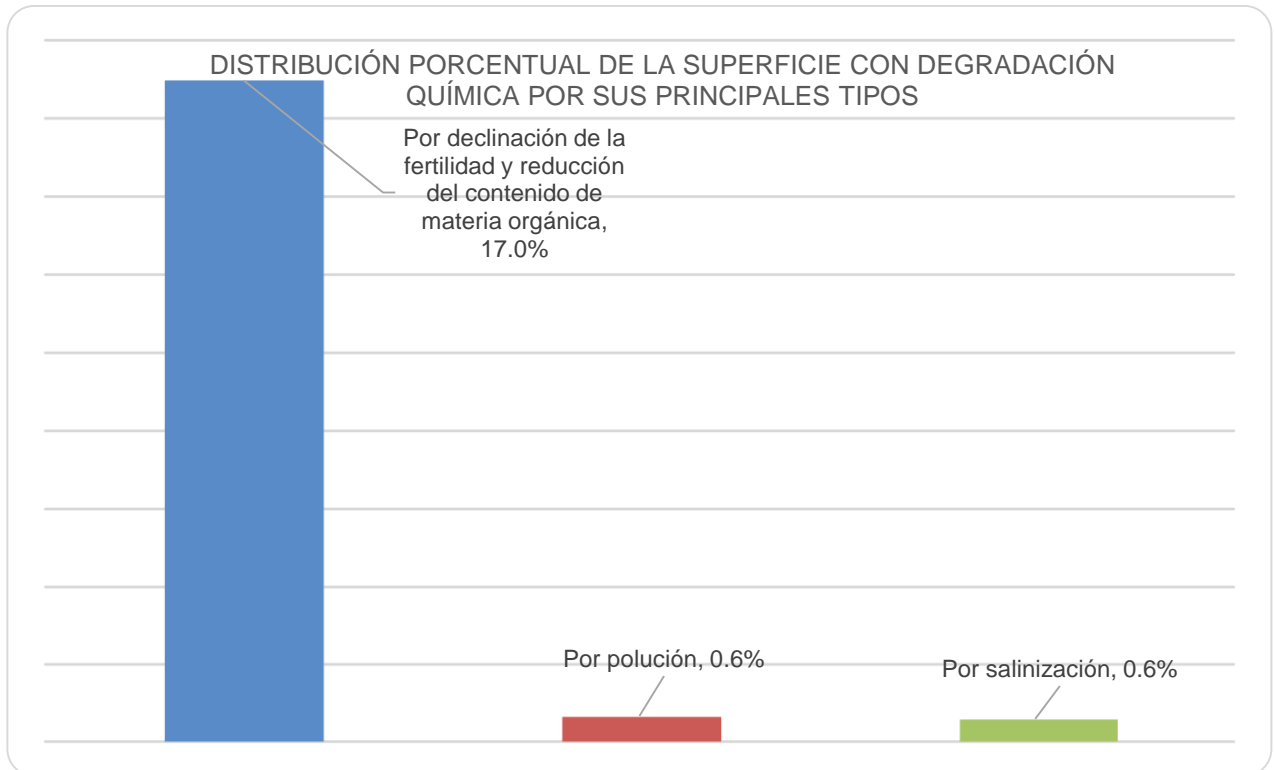
f) En México se tiene un grave problema de degradación de suelos. En un estudio realizado por el Colegio de Postgraduados en el año 2001 se estimó que 94 millones de hectáreas de la superficie del país se encuentran en proceso de degradación causada por las actividades humanas. De la superficie con suelos degradados, 47.5 millones de hectáreas se originan por deterioro interno de los suelos, cuya causa principal es la declinación de su fertilidad y la reducción de materia orgánica, debido a la forma en que se manejan los suelos con uso agropecuario, entre lo que se encuentra el uso inadecuado de fertilizantes químicos, la no incorporación de materia orgánica, el mal manejo del riego y el uso de aguas con altos contenidos de sales.

Gráfico 12.



Fuente: CEDRSSA, Recurso Suelo: Elementos para la definición de una política pública en México, 2015. Elaborado con datos de la Evaluación de la Degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, SEMARNAT-Colegio de Postgraduados, 2002-2002.

Gráfico 13.



Fuente: CEDRSSA, Recurso Suelo: Elementos para la definición de una política pública en México, 2015. Elaborado con datos de la Evaluación de la Degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, SEMARNAT-Colegio de Postgraduados, 2002-2002.

A los impactos ambientales habría que agregar el costo de los fertilizantes químicos, que están sujetos a las variaciones en los precios de los combustibles fósiles, que por conflictos y ciclos económicos suben, lo cual afecta directamente el precio de los productos agrícolas y el ingreso de los productores, pues la adquisición de los fertilizantes químicos llegan a representar casi una tercera parte de los costos de producción de los agricultores.

VII. Alternativas al uso de los fertilizantes químicos o inorgánicos

Los impactos en el medio ambiente y en los costos de los cultivos por el creciente uso de fertilizantes químicos no han pasado desapercibidos por las ciencias relacionadas con la agricultura, desde las cuales se han desarrollado propuestas que van desde metodologías para hacer un uso óptimo de los mismos hasta las dirigidas a prescindir de su uso. Hay quienes consideran que el sistema de monocultivo de tipo industrial de alta

productividad y de alto consumo de agroquímicos puede someterse a algunas modificaciones en sus prácticas, para reducir sus impactos negativos al medio ambiente; hay también quienes, a partir de las graves consecuencias del uso de agroquímicos, de energías provenientes de los combustibles fósiles y de las afectaciones a la biodiversidad, proponen intensificar la transición a sistemas de producción más sostenibles, que implican suprimir el uso de fertilizantes y plaguicidas de síntesis química.

Existen estudios y experiencias que prueban que los biofertilizantes pueden utilizarse para sustituir o reducir el uso de los fertilizantes químicos, el INIFAP ha realizado pruebas experimentales con biofertilizantes en cultivos de maíz de alto rendimiento en que ha probado que se puede reducir en un 30% el uso de fertilizantes nitrogenados manteniendo los rendimientos e incluso incrementándolos, de igual manera, se ha probado que el supermagro (biofertilizante preparado por fermentación de estiércol) también es una opción para sustituir los fertilizantes inorgánicos. También es creciente el número de productores que utilizan compostas y lixiviados como alternativa para la fertilización de diversos cultivos.

Es de destacar que existe un desarrollo científico que va más allá de la pura sustitución de fertilizantes químicos por biofertilizantes, es lo que se ha denominado como agroecología, la cual con base a conocimientos científicos de la ecología y un conjunto de prácticas se propone desarrollar agroecosistemas con una mínima dependencia de agroquímicos e insumos de energía. La agroecología a través de...interacciones biológicas y sinergias benéficas entre los componentes del agroecosistema se propone la regeneración de la fertilidad del suelo y el mantenimiento de la productividad y la protección de los cultivos. Los principios básicos de la agroecología incluyen: el reciclaje de nutrientes y energía, la sustitución de insumos externos; el mejoramiento de la materia orgánica y la actividad biológica del suelo; la diversificación de las especies de plantas y los recursos genéticos de los agroecosistemas en tiempo y espacio; la integración de los cultivos con la ganadería, y la optimización de las interacciones y la productividad del sistema agrícola en su totalidad, en lugar de los rendimientos aislados de las distintas especies. La sustentabilidad y la resiliencia se logran por medio de la diversidad y la complejidad de los sistemas agrícolas a través de policultivos, rotaciones, agrosilvicultura, uso de semillas nativas y de razas locales de ganado, control natural de plagas, uso de composta y abono verde y un aumento de la materia orgánica del suelos, lo que mejora la actividad biológica y la capacidad de retención de agua (Altieri, 2011).

La agroecología tiene como una de sus fuentes las prácticas y conocimientos de campesinos e indígenas que se basan en el cuidado y conservación de los recursos naturales y que partir de los principios de la ecología, ha permitido el desarrollo de metodologías y técnicas para el establecimiento de agroecosistemas sostenibles. La agroecología por su origen y propuestas, se orienta principalmente hacia los pequeños productores, para los cuales es fundamental producir los alimentos que consumen y que

por la promoción de los paradigmas de la revolución verde, sus sistemas productivos se han modificado negativamente, pues las dimensiones y características de sus unidades productivas no son en su mayoría, propicias para producir eficientemente con esas propuestas tecnológicas, por lo que obtienen bajos rendimientos, generalmente de un solo cultivo y que, a veces no les permite cubrir las necesidades de alimentación y mucho menos obtener excedentes para comercializar, de tal forma que les permita obtener ingresos suficientes para adquirir los alimentos que no producen y tampoco los agroquímicos que se hacen necesarios por las tecnologías inapropiadas que han adoptado.

En México el sector campesino e indígena representa más de tres cuartas partes de los productores y la agroecología consideramos que es la mejor opción para que de manera sostenible mejoren sus condiciones productivas y de ingresos.

La producción de tipo empresarial que produce con alta utilización de agroquímico y uso de energía para las labores agrícola y el riego, también se puede beneficiar de la agroecología, para afrontar los problemas de degradación de los suelos, la contaminación del agua, de emisión de gases de efecto invernadero y de rentabilidad de sus explotaciones; pues muchas de sus técnicas son adaptables a las mismas, como son el uso de biofertilizantes y el control biológico de plagas, con lo que pueden reducir el uso de fertilizantes y plaguicidas químicos; la incorporación de materia orgánica combinada con los biofertilizantes puede mejorar la retención de humedad de los suelos con lo cual podrán optimizar el uso del agua y como beneficio de la adopción de estas alternativas, es que les puede facilitar incursionar en la agricultura orgánica, la cual les puede permitir obtener mejores opciones de precios, además de los servicios ambientales que proporcionarían.

Con lo expuesto, podemos afirmar que existen alternativas al uso de los fertilizantes químicos.

VIII. Conclusiones y recomendaciones

1. Los impactos en el medio ambiente que tiene el uso de los fertilizantes químicos, los costos económicos de su adquisición y la dependencia de su importación, hacen conveniente que se opte por las alternativas para la reducción y eliminación de su uso.
2. El uso de los fertilizantes químicos tuvo como su origen la pérdida de fertilidad de los suelos, la necesidad de aumentar la productividad agrícola para atender una demanda creciente de alimentos y materias primas y el impulso que se le dio a un modelo tecnológico que resultó eficaz en cuanto a elevar la productividad, pero que está demostrado que no es sostenible ambientalmente por las afectaciones que provoca sobre los recursos naturales, económicamente por los costos de los insumos y

socialmente, porque no se ajusta las necesidades del sector mayoritario de los productores.

3. En la promoción del sistema agricultura de monocultivo, mecanizado y de alto uso de agroquímicos intervino el Estado mexicano, lo cual fue justificado a partir del conocimiento prevaleciente cuando lo hizo, pero que a la luz del conocimiento de sus impactos y limitaciones, ahora es conveniente que emprenda acciones para transitar hacia sistemas sostenibles, sobre lo cual ha asumido compromisos internacionales de hacerlo y existen mandatos jurídicos que lo exigen.
4. La agroecología con sus conocimientos y técnicas es una opción de primer orden a considerar para transitar hacia sistemas de producción sostenibles. En varias universidades y centros de investigación públicos se tienen carreras e investigaciones en agroecología, que es conveniente se amplíen y fortalezcan, pues la diversidad ecosistemas y productores del país, demandan conocimientos específicos en materia de agroecología para cada una de ellos.
5. En materia legislativa se requieren ajustes para incentivar la práctica de una agricultura sostenible e inhibir las que son lesivas al medio ambiente. De manera particular es conveniente perfeccionar la legislación en materia de conservación y restauración de suelos, pues la pérdida de su fertilidad y su erosión, ponen en riesgo las actividades agrícolas actuales y futuras y, también contribuyen al cambio climático y al agravamiento de sus efectos.

Bibliografía consultada

- Ávila, José, et al, 2002, El mercado de los Fertilizantes en México, Ed. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Altieri, Miguel y Toledo, Victor, 2011, La revolución Agroecológica en Latinoamérica, Ed. Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología, Versión al español del artículo publicado en The Journal of Peasant Studies Vol. 38 No. 3, 587-612
- Báez, Alberto, et al., 2012, Efecto de las Micorrizas en la producción de trigo bajo labranza de conservación en El Bajío, Ed. SAGARPA-INIFAP, México.
- CEDRSSA, 2011, Recurso suelo. Elementos para la definición de una política pública en México, publicado en Reportes del CEDRSSA, Vol. III, 71-92, México.
- FAO, 2018 Term Portal. Agricultura orgánica. Febrero 2018. Accesado 01/02/2018. <http://www.fao.org/faoterm>
- Díaz, Arturo, et al., 2012, Impacto de la Biofertilización del Maíz en el Norte de México, SAGARPA-INIFAP, México.
- Grajeda-Cabrera, Oscar, et al., 2012., Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Vol. 3 Núm. 6, 1261-1274.
- International Fertilizer Association (IFA), 2018, Estadísticas accesadas el 19/01/2018 en www.fertilizer.org/En/Statistics/Statistics_Databases
- Navarro, Hermilio, 2013, Agricultura Orgánica y Alternativa, Ed. Universidad Autónoma Chapingo, México
- Nicholls, Clara y Altieri, Miguel, 2008, Suelos saludables, plantas saludables: la evidencia agroecológica, LEISA revista de agroecología-volumen 24 no. 2, 6-12, Perú.
- Planes-Leyva, M., et al., La Biofertilización como herramienta biotecnológica de la agricultura sostenible. Revista Chapingo Serie Horticultura 10(1): 5-10, 2004
- Restrepo, Jairo; Pinheiro, Sebastian, 2009, Agricultura Orgánica. La remineralización de los alimentos y la salud a partir de la regeneración mineral del suelo, Ed. Satyagraha Juquira Candirú, Colombia
- Restrepo, Jairo, Pinheiro, Sebastian, 2009a, Agricultura Orgánica. Harina de rocas y la salud del suelo al alcance de todos, Colombia
- Restrepo, Jairo; Hansel, Julius, 2013, El ABC de la agricultura orgánica, fosfitos y panes de piedra. Ed. Satyagraha Juquira Candirú, Colombia
- Rodríguez, Byron; Pavón, Felipe, 2015. Extracción de ácido húmico y fúlvicos, SAGARPA-COFUPRO-UNAM, 2013, Manual teórico-práctico Los Biofertilizantes y su uso en la Agricultura, Ed. SAGARPA-COFUPRO-UNAM; México.

SAGARPA, 2017, Acuerdo por el que se dan a conocer las Reglas de Operación del Programa de Fomento a la Agricultura, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 29 de diciembre de 2017, México.

Salgado, Sergio, et al., 2010, Manejo de Fertilizantes Químicos y Orgánicos, Ed. Colegio de Postgraduados, México

SIAP-SAGARPA, 2015, Uso de Tecnología y de servicios en el campo. Cuadros Tabulares 2015, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México