

Los biofertilizantes. Una alternativa productiva, económica y sustentable

Ante el uso indiscriminado de los fertilizantes químicos que ha ocasionado tierras improductivas o con altos niveles de contaminación y sin potencial agrícola; se plantea el uso de biofertilizantes que no contaminan ni degradan la capacidad productiva del suelo, son regeneradores de su población microbiana y tienen una función protectora del sistema radicular de la planta contra microorganismos patógenos. El uso de biofertilizantes en el cultivo de la lenteja, propició que, en el aspecto productivo, casi se triplicaran los rendimientos.

I. Revolucionar la revolución verde, reto del siglo XXI

La producción agropecuaria es un tema pasado de moda en México, que no ha merecido la atención adecuada. En las últimas dos décadas del siglo pasado, este tema fue tratado con poca seriedad y lejos de haberse presentado respuestas o alternativas a la añeja crisis de la producción, que se asomó en la segunda mitad de los años sesenta, se sobrellevó el problema con acciones parciales y dispersas que no llegaron a trastocar los factores estructurales de dicha crisis.

Llegó la época de la apertura comercial y la incapacidad de producción interna se subsanó con las importaciones de alimentos de donde fuera, con la ventaja de que estos podrían ser más económicos que producirlos aquí, según argumentación de estos simplificados esquemas. La otra cara de la moneda es que el sector agropecuario se fue deteriorando, perdiendo capacidad competitiva, desmantelando y abandonando una importante infraestructura productiva.

Después de cerca de 40 años de crisis de la producción alimentaria en México, reflejada en la incapacidad de desarrollo productivo y sus consecuencias económicas y sociales, en el siglo XXI se

* Ing. Agr. por la Escuela Nacional de Agricultura y Doctor en Sociología por la UNAM. Actualmente se desempeña como Director General de Asesoría Integral Agropecuaria y Administrativa S.A. de C.V. (ASIA) y de Biofábrica Siglo XXI, S.A. de C.V.

tendrá que conformar una pronta alternativa a la producción agropecuaria. Y las alternativas existen.

Muchas pueden ser las razones para que la crisis de la producción de alimentos se venga arrastrando por cuatro décadas, pero para poder llegar a la conformación de una alternativa, necesariamente se tendrá que romper con los viejos paradigmas de la producción agropecuaria, que se impuso en el país, incluso en el mundo, a mediados del siglo xx, y que se le conoció como la “Revolución Verde”. El siglo xxi deberá revolucionar esta revolución.

La agricultura actual en México se sigue sustentando en los principios de hace más de 50 años, cuando el país entró a marchas forzadas al tránsito de sociedad rural a urbana, a su industrialización. El país demandaba una rápida y alta capacidad de respuesta para producir los alimentos que este proceso requería para abastecer a millones de mexicanos que fueron emigrando a los centros urbanos.

La reforma agraria permitió la ampliación de la frontera agrícola ya que incorporó a la producción una amplia superficie que se mantenía ociosa, además de abrir nuevas tierras al cultivo; por otro lado, la creación de infraestructura hidráulica permitió la irrigación de amplias superficies bajo el sistema de riego. En este marco, la aparición de la “Revolución Verde” nos cayó como “anillo al dedo”. El uso de fertilizantes químicos e híbridos (semillas de alto rendimiento), aunado con el uso de productos químicos para el combate de plagas y enfermedades, fueron la base de esta revolución, logrando de inmediato el milagro de incrementar la producción de alimentos dos veces más que la población.

El éxito que se buscó llegó, pero duró muy poco tiempo, mostrándonos sus límites y sus altos costos, que nos llevó a ser una de las agriculturas más ineficientes del mundo y altamente contaminante.

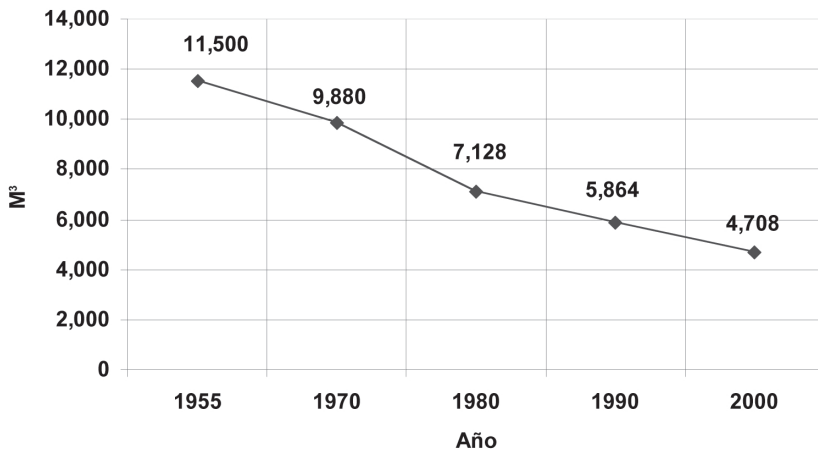
Cabe señalar, por un lado, que uno de los bienes más preciados y escasos, no sólo en México sino en el mundo, que es el agua, la hemos desperdiciado, y se sigue desperdiciando de una manera más que irresponsable.

El problema del agua es una de las facturas más caras que nos cobró el siglo XX, y donde han tenido un alto grado de responsabilidad los principios de la “Revolución Verde”, que priorizó el riego como factor de desarrollo productivo agrícola. La magnitud del problema del agua en el mundo, se constata con el hecho de que si en los primeros 50 años del siglo XX el uso de agua agrícola se duplicó, en la segunda mitad se multiplicó 4.5 veces.

En nuestro país, hoy día, 85% del agua que se consume se destina a uso agrícola, uno de los porcentajes más elevados en el mundo.

La disponibilidad de agua por habitante en México se ha abatedo de manera alarmante en la segunda mitad del siglo XX: en 1950 se contaba con una disponibilidad de 11,500 metros cúbicos por habitante al año, que en la clasificación mundial es considerada como disponibilidad alta; para el 2000 ésta se desplomó 60%, para ser de sólo 4,700 metros cúbicos por habitante.

Tendencias en la disponibilidad de agua por habitantes en México (M³/Año)



Pero del paquete tecnológico que contemplaba la modernización de la agricultura, además del agua, sólo uno de sus componentes se masificó en el país: los fertilizantes químicos, que se integraron a las prácticas agrícolas a lo largo y ancho del país, en tierras de riego y de temporal, en producción de autoconsumo y comercial, en minifundios y en empresas agrícolas, en la producción de alimentos básicos y en forrajes. Esta práctica fue fomentada y subsidiada por el Estado, ya que era considerada una forma rápida y económica de incrementar la producción agrícola. En efecto, fue una forma rápida y económica de aumentar la producción, pero también de acabar con el equilibrio ecológico y de contaminar y degradar el medio ambiente.

Prácticamente 80% de la superficie agrícola del país usa fertilizantes químicos, o llegó a usar, obviamente en diversas dosificaciones, dependiendo sobre todo de la capacidad económica del productor; pero en todos los casos esta práctica se aplica sin el rigor técnico requerido, sin contar con la información previa del tipo de suelo, sus características, disponibilidad y limitación de nutrientes, del cultivo y sus requerimientos, etcétera; simplemente se aplica el fertilizante con un pragmatismo que raya en la irresponsabilidad, ya que resulta altamente costoso, ineficiente y contaminante. Todo ello ocurre por la ignorancia de los productores, pero también por la falta de asesoría, orientación y capacitación que debieran ofrecer las autoridades correspondientes. Así, el sentido común de esta ignorancia ha llevado a muchos productores a aplicar cantidades desmesuradas de fertilizantes químicos.

Hay que decir que los fertilizantes químicos, en particular los nitrogenados, se caracterizan por el bajo índice de aprovechamiento que tiene la planta de ellos. Se estima que del fertilizante químico que se aplica al suelo sólo es aprovechado por la planta entre 30 y 40%, el resto se desperdicia. Pero no sólo es un desperdicio que afecte los indicadores de eficiencia económica y punto, no, el problema es que este desperdicio es la causa de la contaminación ambien-

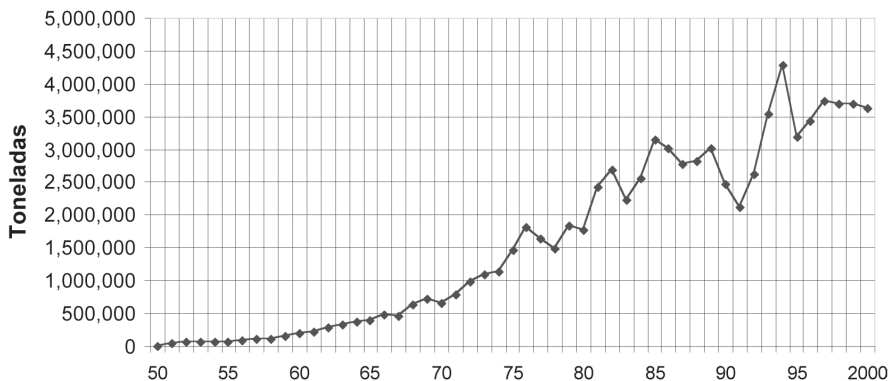
tal. El 60 o 70% del fertilizante que se aplica al suelo se filtra para contaminar los mantos freáticos, se escurre para contaminar ríos y cuerpos de agua o se pierden como gases contaminantes a la atmósfera, contribuyendo a la destrucción de la capa de ozono y al calentamiento de la tierra.

La abundancia de compuestos nitrogenados en el agua produce el fenómeno denominado de eutrofización, que es el crecimiento anormal de las bacterias que utilizan esta fuente de nitrógeno, agota el oxígeno disuelto en el agua, provoca la muerte masiva de organismos como los peces y genera un círculo de destrucción de ecosistemas.

Por su parte, el óxido nitroso, gas que se desprende de los fertilizantes químicos cuando se desperdician por la evaporación, es uno de los contaminantes atmosféricos más dañinos en el mundo, ya que el potencial de calentamiento de este gas es 296 veces superior al bióxido de carbono.

El consumo masivo de fertilizantes en nuestro país data de 1950, creció de manera ininterrumpida hasta llegar a 4.5 millones de toneladas el consumo nacional, a mediados de los noventa.

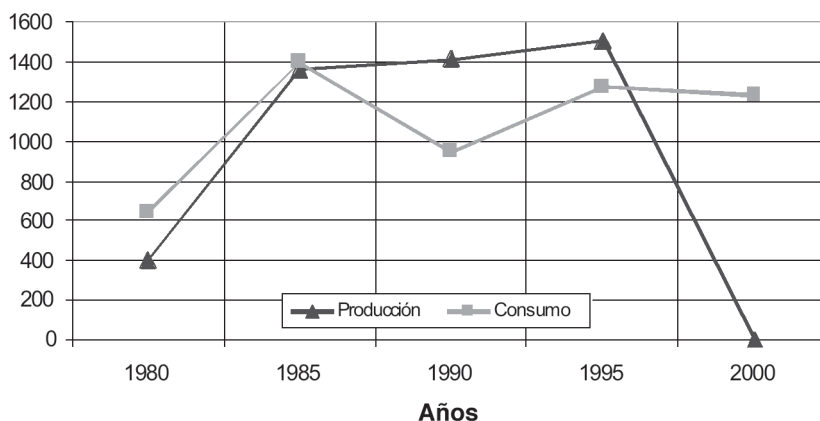
Consumo aparente de fertilizantes químicos
(Nitrogenados) 1950-2000



Fuente: *Anuario Estadístico de Petroquímica*, Secretaría de Energía, varios años y *La economía mexicana en cifras*, Nacional Financiera, 1981.

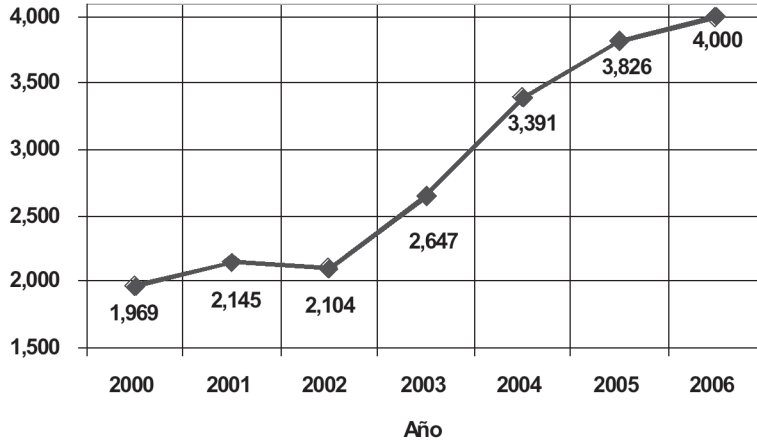
Cabe mencionar que no obstante que en la década de los noventa, bajo la política de privatización de Fertilizantes Mexicanos (FERTIMEX), prácticamente se desmantela la infraestructura para la producción de fertilizantes en el país, este producto se siguió usando de manera masiva, recurriendo en mayor medida a la importación, siendo ésta la principal fuente de abasto. Sin embargo, en la medida en que se trata de un derivado del petróleo, los fertilizantes químicos han venido registrando incrementos desmesurados en sus precios, en los últimos cinco años el precio de los fertilizantes se han disparado en más de 100%, afectando seriamente la estructura de los costos de los productos agrícolas y, consecuentemente, a los productores y consumidores en general. Esta dependencia de la producción agrícola a los fertilizantes y al exterior viene a vulnerar aún más la débil agricultura nacional.

Producción y consumo nacional de urea en México



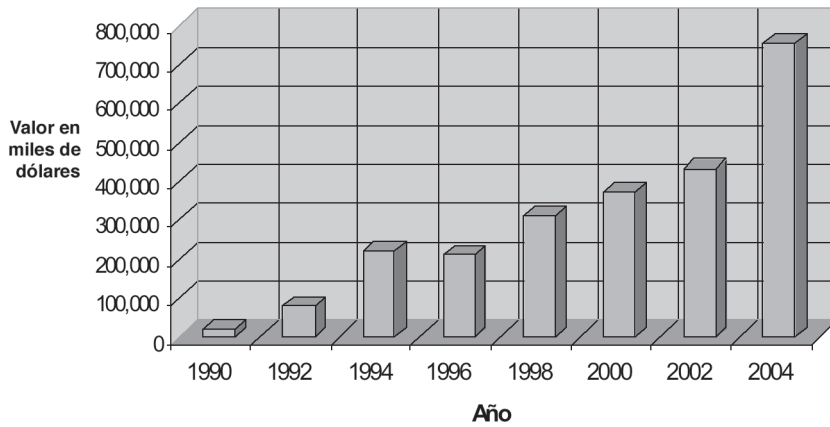
Fuente: Espinosa Carmona Andrés, departamento de fertilizantes, SAGARPA, *Evolución de la industria mexicana de fertilizantes y su impacto en la agricultura*, junio, 2002.

Evolución de precios de la tonelada de urea



Fuente: Sistema Nacional de Información Integral de Mercados, Secretaría de Economía.

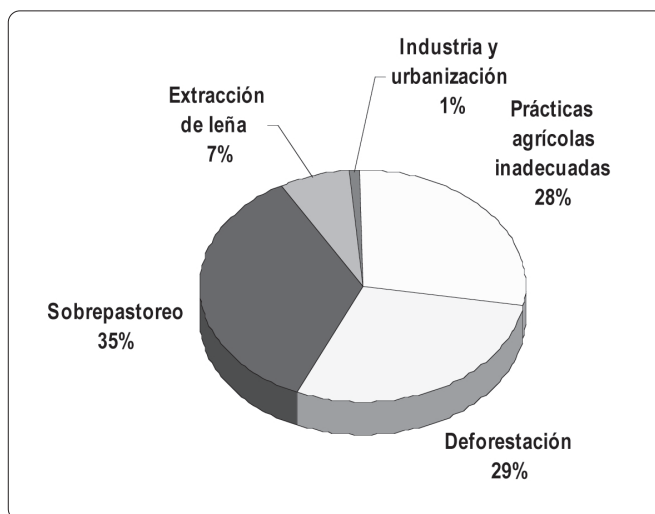
Importaciones de fertilizantes



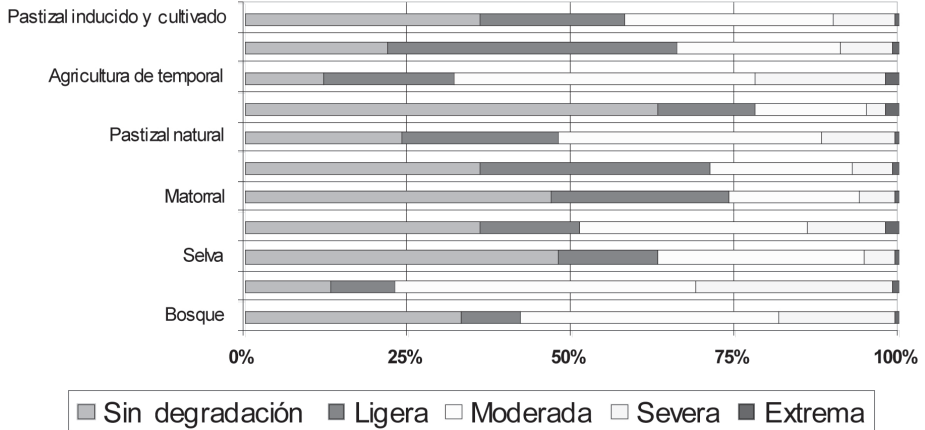
Fuente: Secretaría de Economía, Subsecretaría de Negociaciones Comerciales Internacionales.

Otra de las consecuencias del uso indiscriminado de los fertilizantes químicos es que millones de hectáreas han quedado francamente improductivas o con altos niveles de contaminación, sin potencial agrícola; por otro lado, se ha agudizado otro de los grandes problemas nacionales: la erosión o la pérdida del suelo. Se estima que 80% del territorio nacional registra algún grado de erosión; 80 millones de hectáreas registran erosión severa, lo que generará que en un futuro inmediato se incrementen las zonas definidas como áridas y semiáridas en el país, que ya suman 30% del territorio nacional; por otro lado, se reducirá la participación de las zonas boscosas y de selva, que es de 28%.

Principales agentes causales de degradación de los suelos en el mundo



Niveles de degradación del suelo en 1999
según su uso en México de 1993 (superficies afectadas %)



II. La investigación científica como alternativa

El siglo XXI tendrá que ser el siglo de la ciencia como alternativa, en México y el mundo. En los más diversos aspectos de la vida de las sociedades se ha acumulado gran cantidad y variedad de conocimientos científicos, que han permanecido al interior de los muros de las universidades y los centros de investigación, en gavetas y archiveros de talentosos científicos, que ya partieron o permanecen en activo, aun cuando sean pocos los estímulos para el desempeño de sus tareas, cuando menos es el caso de México. No me refiero, en esto de los estímulos, sólo a cuestiones monetarias, sino a aspectos que tienen que ver con satisfacciones más plenas, como el reconocimiento de la sociedad por sus contribuciones al mejoramiento de la calidad de vida.

En el caso de los trabajos de investigación científica vinculados con la producción agropecuaria en nuestro país, no son pocos los resultados que se han obtenido después de décadas de trabajo, los cuales son importantes contribuciones a la solución de los graves problemas que genera un sistema de producción ineficiente, obsoleto

y destructor del medio ambiente. Es decir, existen las opciones, las alternativas, ya, en estos momentos, para generar una revolución en el sistema de la producción agrícola que supere en todos los terrenos, económica, productiva y ecológicamente, lo que tenemos vigente desde hace más de medio siglo, y por lo que hemos tenido que pagar un elevado costo.

En referencia a la cuestión agropecuaria, hay que decir que contamos con excelentes instituciones de investigación que han realizado importantes aportaciones, no sólo en México sino en el mundo, que les han merecido un sólido prestigio en los más reconocidos centros e instituciones generadoras del conocimiento científico, tal es el caso de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), del Instituto Politécnico Nacional (IPN), del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), entre otros muchos más que se encuentran distribuidos en nuestro país. Obviamente, contar en México con instituciones de investigación de excelencia, que han realizado importantes aportes, no significa que asumamos una actitud “chovinista”, por el contrario, en la medida en que se esté abierto a los conocimientos y experiencias generados en otras latitudes, mayor serán las aportaciones y más sólido el proyecto a construir.

Como ejemplo, hay que señalar que el Centro de Estudios de Fijación de Nitrógeno, de la UNAM (hoy Centro de Estudios de Ciencias Genómicas), lleva varias décadas estudiando el proceso biológico de fijación de nitrógeno atmosférico por las plantas, como base de su alimentación. Esta línea de investigación llevó al Centro a ser el primero en América Latina (junto con Brasil), en realizar el estudio completo del genoma de la bacteria *Rhizobium*. Ésta tiene la característica de fijar el nitrógeno que se encuentra en el medio ambiente para que las plantas, principalmente leguminosas, lo aprovechen en su alimentación. El estudio permitió el desarrollo genético de dicha bacteria, logrando que su capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico se incremente hasta 300%. Así, nace el *Rhizobium etli*, que cuenta con patente reconocida internacionalmente. Asimismo, el

Centro ha realizado estudios que lo colocan a la vanguardia internacional, de otra bacteria, *Azospirillum brasilense*. Esta tiene una serie de efectos en la nutrición y desarrollo de la planta.

Ambas bacterias, además de los hongos como las micorrizas (*Glomus arbuscular*), son la base para la producción de los llamados biofertilizantes, que no son otra cosa más que el proporcionarle a la planta los nutrientes requeridos para su crecimiento y desarrollo de manera natural, a través de ayudarle al suelo a recuperar los microorganismos que la “modernización de la agricultura del siglo xx” mató.

III. Los biofertilizantes como alternativa viable y deseable

Por principio de cuentas, habrá que empezar por definir qué son los biofertilizantes. De manera sintética, podemos decir que son productos con base a microorganismos benéficos (bacterias y hongos), que viven asociados o en simbiosis con las plantas y ayudan a su proceso natural de nutrición, además de ser regeneradores de suelo. Estos microorganismos se encuentran de forma natural en suelos que no han sido afectados por el uso excesivo de fertilizantes químicos u otros agroquímicos, que disminuyen o eliminan dicha población.

Obviamente, se trata de productos que no contaminan ni degradan la capacidad productiva del suelo, por el contrario, son regeneradores de la población microbiana; asimismo, estos productos tienen una función protectora del sistema radicular de la planta contra microorganismos patógenos.

Además, hay que hacer hincapié en que la nutrición biológica de la planta es la forma más eficiente y económica de la alimentación vegetal, ya que permite el aprovechamiento del nitrógeno atmosférico, el nutriente más caro, además de aprovechar de manera más intensiva los nutrientes disponibles en el suelo, ya que estimulan el desarrollo del sistema radicular y permiten mayor solubilidad y conductividad de nutrientes.

Por otro lado, hay que enfatizar que los efectos de los biofertilizantes en el desarrollo radicular, mayor solubilidad y conductividad de nutrientes, se traducen en un mayor aprovechamiento de la humedad del suelo y, por lo tanto, en el uso más racional del agua y una mayor resistencia a la sequía.

En términos generales, se puede decir que los biofertilizantes tienen un costo para el consumidor final, para el productor, de sólo 10% del costo de la fertilización química. Es decir, si para fertilizar una hectárea de maíz se tienen un costo de 3 mil pesos, el costo del biofertilizante es inferior a 300 pesos.

Otra parte importante en el uso del biofertilizante es el poco volumen que representa su aplicación; mientras que en el caso del químico se está haciendo referencia a cientos de kilos por hectárea, aquí se aplica apenas 1.5 kilos por hectárea, con el consecuente ahorro en fletes, maniobras y aplicación.

Sin embargo, estos biofertilizantes no son incompatibles con los fertilizantes químicos, se pueden combinar para lograr un uso más racional del químico, mejorando significativamente el aprovechamiento de éste por la planta, disminuyendo los niveles de desperdicio y contaminación. Por ejemplo, en el caso de gramíneas, con la aplicación del biofertilizante se puede disminuir entre 20 y 50% la dosis de fertilización química recomendada, obteniéndose iguales o mejores rendimientos, entre 10 y 20% superior, además del ahorro en el uso de fertilizante.

Características de los biofertilizantes

Existen una gran variedad de biofertilizantes elaborados con base en microorganismos, como bacterias y hongos, con diversas funciones y atendiendo al tipo de cultivo. En términos generales, los biofertilizantes más difundidos se basan en hongos micorrizicos, bacterias del género *Azospirillum brasilense* y el *Rhizobium*.

Micorriza (*Glomus arbuscular*)

El término micorriza significa asociación hongo-raíz, es una asociación entre los pelos de la raíz de una planta y el hongo específico de la micorriza. Existen varios tipos de asociación, siendo la más popular la micorriza vesículo-arbuscular.

Los mayores beneficios de esta asociación son el incremento de la longevidad de los pelos de la raíz, aumentando con ello no sólo el tiempo sino también el área de absorción de nutrientes tanto mayores como menores.

Las micorrizas son capaces de absorber, acumular y transferir los principales macro y micro nutrientes y el agua a la planta, más rápidamente que las raíces sin micorrizas.

Décadas de investigación muestran que las micorrizas incrementan la tolerancia de las plantas a la sequía, compactación, altas temperaturas del suelo, metales pesados, salinidad, toxinas orgánicas e inorgánicas y extremos de pH del suelo. Estos hongos también prolongan la vida, viabilidad y productividad del sistema radicular de la planta.

Azospirillum brasilense

Bacteria fijadora de nitrógeno que vive sobre las raíces de las plantas y es capaz de beneficiar diversos cultivos de importancia agrícola, tales como trigo, maíz, sorgo, arroz, cebada, avena, y en cultivos perennes como café y cítricos, tanto en vivero como en plantaciones comerciales directamente en campo. Además de fijar nitrógeno, esta bacteria es capaz de producir hormonas de crecimiento vegetal (ácido indol acético), generando un crecimiento importante del sistema radicular, lo que permite mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes disponibles en el suelo, incluyendo su mayor absorción y de los propios fertilizantes químicos aplicados.

Rhizobium etli

Bacteria fijadora de nitrógeno del medio ambiente, específica para cultivos de leguminosas, en particular el frijol, que permite reducir 100% el uso de fertilizantes químicos nitrogenados. Esta bacteria ha sido mejorada para incrementar la producción de la enzima nitrogenasa, responsable de la fijación de nitrógeno, permitiendo una fijación tres veces superior a la de otros tipos de *Rhizobium*.

Esta mayor capacidad de fijación de nitrógeno permite incrementos significativos en rendimientos de frijol, a la vez, el producto obtenido contiene entre 20 y 30% más proteína, respecto a las plantas en donde no se aplica esta bacteria.

Con el uso de este biofertilizante se incrementa la presencia de microorganismos benéficos que se asocian a las raíces de las plantas, son excelentes mejoradores de suelo y contribuyen al combate de microorganismos patógenos.

Funciones de los biofertilizantes:

1. Fijadores de nitrógeno del medio ambiente para la alimentación de la planta.
2. Protectores de la planta ante microorganismos patógenos del suelo.
3. Estimulan el crecimiento del sistema radicular de la planta.
4. Mejoradores y regeneradores del suelo.
5. Incrementan la solubilización y absorción de nutrientes, como el fósforo, que de otra forma no son de fácil asimilación natural por la planta.
6. Incrementan la tolerancia de la planta a la sequía y la salinidad.

Ventajas y desventajas

Fertilizante químico <i>versus</i> Biofertilizante	
Alto costo y disponibilidad decreciente (incremento desmedido de precios)	Bajo costo y fácil reproducción (menos de 10% del costo)
Alto desperdicio, sólo 30 y 40% es utilizado por la planta	No desperdicio, mejor aprovechamiento del químico
Contamina aire, suelo y agua	No contamina
Elimina los microorganismos del suelo	Estimula el desarrollo de microorganismos del suelo
Esteriliza el suelo	Regenera al suelo
Almacén y transporte costoso	Fácil almacén y transporte

Antecedentes de los biofertilizantes en México

Hay que mencionar que los biofertilizantes fueron tema de estudio en importantes instituciones de investigación en diversas regiones del mundo desde principio del siglo pasado, teniendo como principal objeto de investigación el proceso de fijación de nitrógeno, particularmente en la relación simbiótica que establecen las bacterias del género *Rhizobium* con las leguminosas; sin embargo, en la década de los veinte, ya se habían desarrollado investigaciones con otro tipo de bacterias, como el caso del *Azospirillum*, lográndose su aislamiento y evaluación en la nutrición vegetal.

Todo apuntaba que el futuro de los biofertilizantes era promisorio en el desarrollo de la agricultura del siglo XX, sin embargo, el acelerado proceso de industrialización y urbanización que se da después del primer tercio del siglo pasado llevó, por su parte, a una acelerada demanda de materias primas y alimentos. Es aquí donde la aparición de los fertilizantes químicos, que son capaces de generar una rápida respuesta productiva, le ganó la carrera a los biofertilizantes, relegando su importancia hasta caer en el olvido del mundo científico.

No es sino hasta bien entrada la década de los setenta, una vez que ya eran obvios los costos que tuvimos que pagar por haberle apos-

tado tanto a la opción química, cuando se inicia el “redescubrimiento” de los biofertilizantes, y vuelve a ser tema de investigación en diversos centros de vanguardia.

En nuestro país, la UNAM constituyó el Centro de Investigación sobre la Fijación de Nitrógeno, que tomó este tema como eje de sus investigaciones científicas. En los años noventa, este Centro ya había construido un prestigio y reconocimiento mundial en materia de biofertilizantes, incluso logró patentar internacionalmente el *Rhizobium etli*, específico para el frijol, que tiene la capacidad de fijar 100% más nitrógeno atmosférico para la alimentación de esa planta.

Por otro lado, este Centro fue de los primeros en el mundo que iniciaron los trabajos de investigación sobre la bacteria *Azospirillum brasilense*, que tiene efecto en gran variedad de cultivos, acumulando un conocimiento amplio y sólido sobre esta bacteria, que lo colocan a la vanguardia mundial.

Así, se dio una paradoja que en buena medida habla del poco interés que en este país merece la investigación, ya que contando con un centro de investigación reconocido y ponderado en el mundo como vanguardia en el tema de los biofertilizantes, éstos eran desconocidos en el país.

Sin embargo, por una situación un tanto fortuita, la máxima autoridad gubernamental en materia agrícola conoce de los trabajos del Centro de Investigación sobre la Fijación de Nitrógeno, con relación a los biofertilizantes, se despierta su interés en difundirlos en el agro nacional, y establece un convenio con este Centro. Así, estos biofertilizantes fueron aplicados masivamente en el país. En 1999 y 2000 fueron incorporados al programa de Alianza para el Campo, de la SAGARPA, y se utilizaron en cerca de tres millones de hectáreas en los más diversos cultivos en el territorio nacional. El seguimiento y evaluación de este programa estuvo a cargo del INIFAP. Los resultados obtenidos fueron altamente significativos en referencia a los testigos de promedios nacionales. Todo indicaba que México se incorporaba a la era de los biofertilizantes.

Incrementos medios de rendimiento con biofertilizantes
con relación a un testigo absoluto

Cultivo	Azospirillum	Micorriza	Azos + mico
Maíz	10.5%	11.5%	26.0%
Sorgo	22.9%	10.8%	28.3%
Cebada	46.6%	20.7%	61.7%
Avena Forraje	10.8%		
Avena Grano	43.3%		

	Rhizobium	Micorriza	Rhizo + Mico
Frijol	30.6%	22.1%	46.0%

Fuente: INIFAP.

Sin embargo, como suele suceder, con el cambio de administración de gobierno llegó un nuevo secretario del ramo, que tenía entre ceja y ceja borrar todo rasgo de su antecesor por lo que desapareció el programa y el producto, ya que los biofertilizantes nunca entraron al circuito comercial. La propia secretaría los producía para el programa.

En 2003, una empresa particular, Asesoría Integral Agropecuaria (ASIA), que tiene como objetivo articular el trabajo de la investigación y la producción agropecuaria, retoma el proyecto de producción y difusión de los biofertilizantes, y establece contacto con el CIEN, de la UNAM, firmando un convenio de exclusividad para retomar desde una perspectiva privada el proyecto gubernamental que quedó trunco.

Resultados recientes

Después de 2003, cuando se retoma el proyecto de difusión de los biofertilizantes como iniciativa particular, se han logrado avances importantes, como el hecho de que los gobiernos de Guerrero y Michoacán, establecieran sendos programas de biofertilización, per-

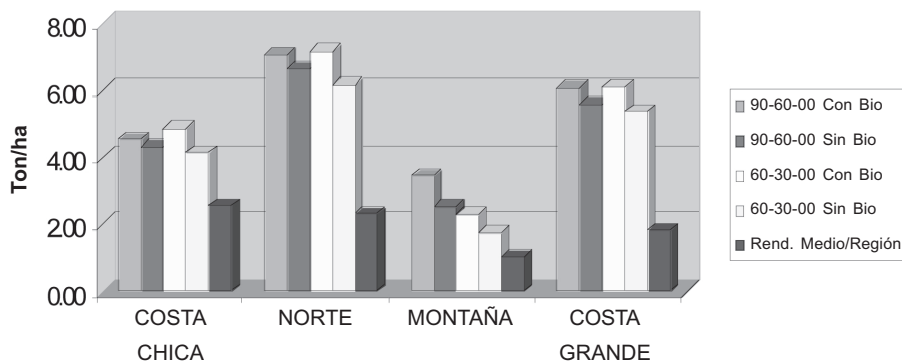
mitiendo una amplia difusión de este producto con resultados satisfactorios para los productores, generando un rápido incremento en la superficie fertilizada. Por ejemplo, en el estado de Guerrero, que inició el programa con una superficie de 30 mil hectáreas en el 2006, para el 2007, dicha superficie llegó a las 300 mil hectáreas.

En esa entidad, el INIFAP evaluó el efecto del biofertilizante (*Azospirillum* más Micorriza) aplicándolo con la dosis recomendada del fertilizante químico y disminuyendo éste en 34% del nitrógeno y 50% el fósforo. Estos resultados se compararon con el rendimiento medio en la región.

En todos los casos, los mayores rendimientos se registraron en aquellos tratamientos donde se usó el biofertilizante, incluso, la conclusión es que al reducir el químico y aplicar el biofertilizante se obtienen resultados superiores que en uso del químico sin biofertilizante. Obviamente, el rendimiento es muy superior a la media regional en todos los casos

Resultados en diversas regiones del estado de Guerrero

Rendimiento medio de maíz
y sin biofertilizante primavera-verano 2006



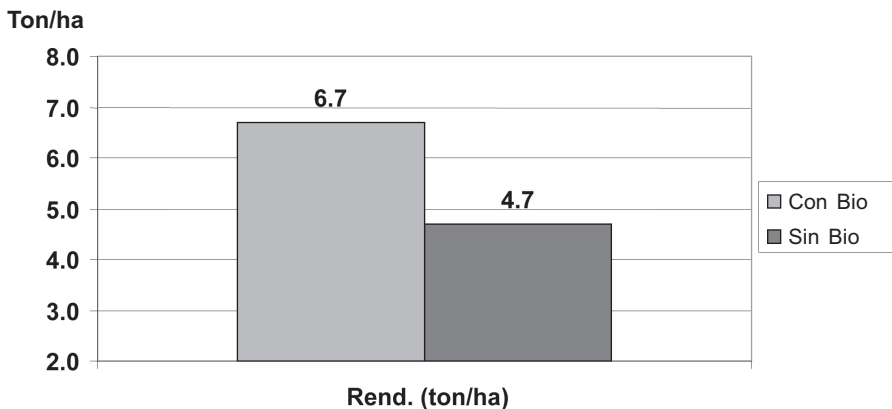
Fuente: INIPAP, Iguala Gro.

En el estado de Michoacán, el mismo INIFAP evaluó los biofertilizantes en diversos cultivos, llegando al análisis económico del efecto.

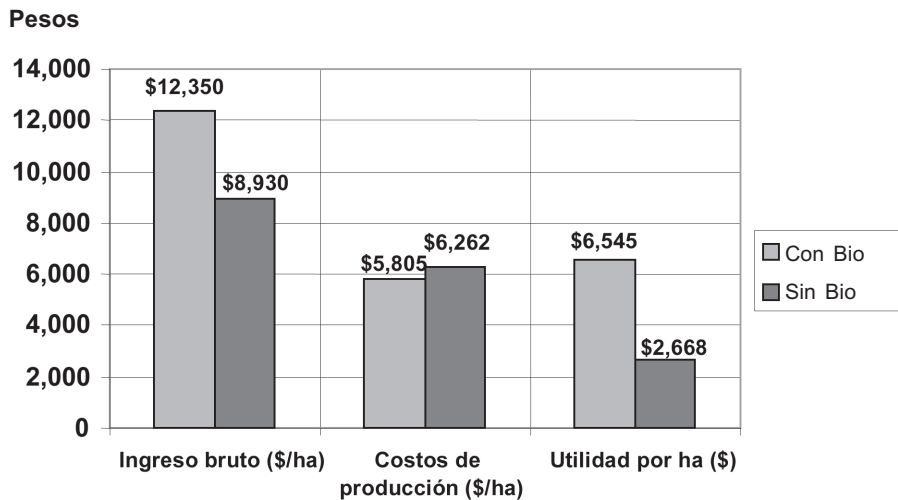
En el caso del trigo se registró un incremento en los rendimientos de 42% cuando se aplicó el biofertilizante respecto al testigo, que aplicó la dosis recomendada de fertilizante químico. Sin embargo, en términos de la utilidad obtenida por el productor, ésta se incrementó en 145%, ya que los costos de producción disminuyeron 10%.

En el cultivo de lenteja, los resultados fueron más espectaculares, llegando casi a triplicarse los rendimientos, al pasar de un rendimiento en el testigo de 0.66 toneladas a 1.88 toneladas; estos resultados se tradujeron en que el productor, de tener una pérdida del orden de 3 mil pesos por hectárea (esto en consideración de los costos reales y totales del productor, donde se incluye renta de la tierra y mano de obra familiar, que normalmente no contabiliza el productor), obtuvo una utilidad de más de 4,500 pesos.

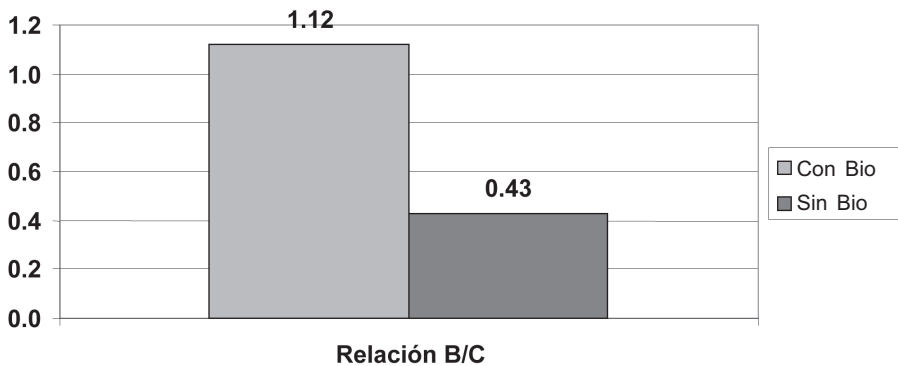
Rendimiento por hectárea de parcelas de trigo 0-I, 2006-2007



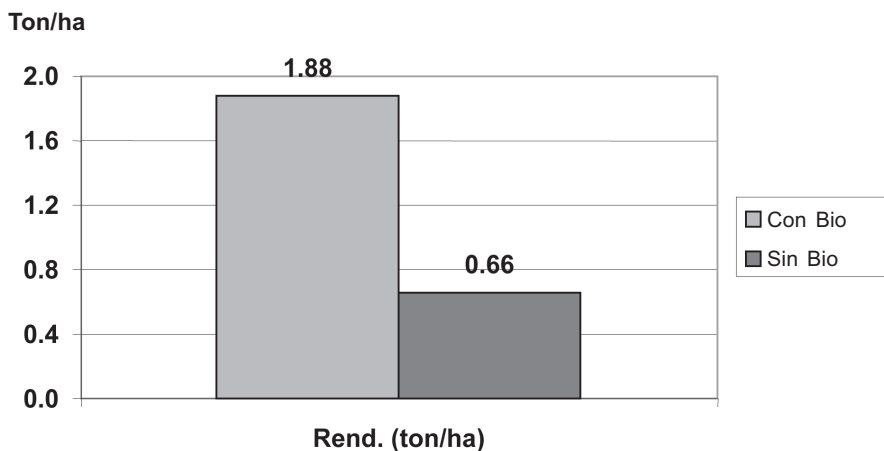
Análisis económico de parcelas de trigo 0-I, 2006-2007



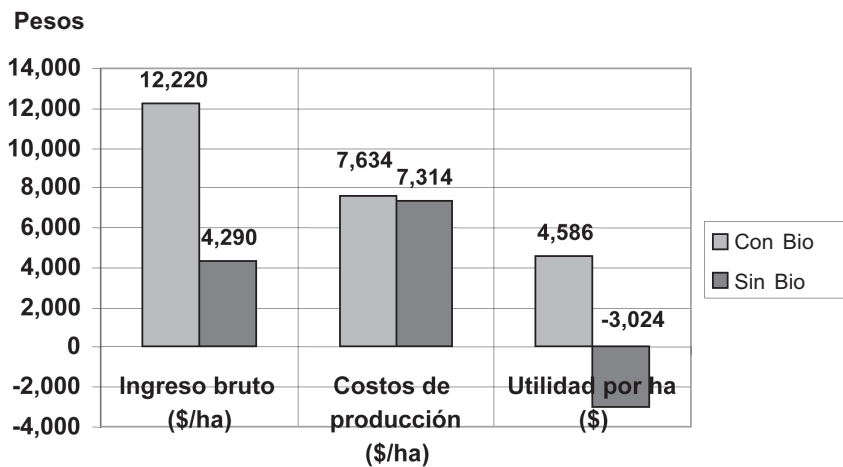
Relación beneficio-costo de parcelas de trigo, 0-I, 2006-2007



Rendimiento por hectárea de parcelas de lenteja, 0-I, 2006-2007



Análisis económico de parcelas de lenteja, 0-I, 2006-2007

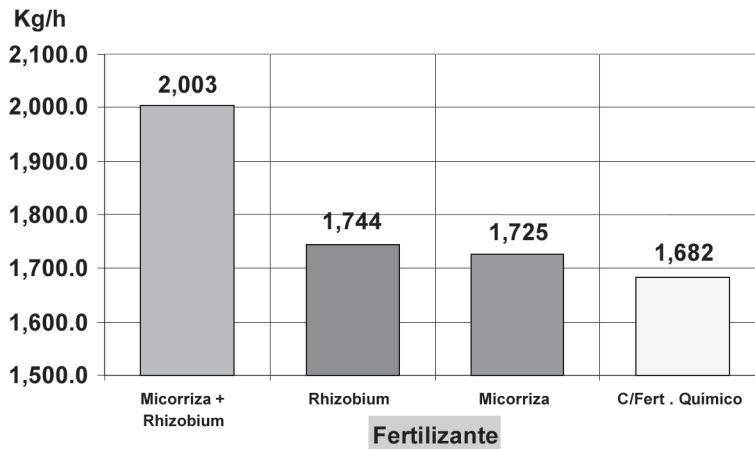


En el caso del frijol inoculado con biofertilizante con la bacteria *Rhizobium etli* y la micorriza, se han obtenido importantes resultados en diversas regiones del país. Por ejemplo, en el estado de Durango, en varias parcelas demostrativas distribuidas en distintas regiones del estado, se obtuvieron resultados muy superiores respecto a la fertilización química.

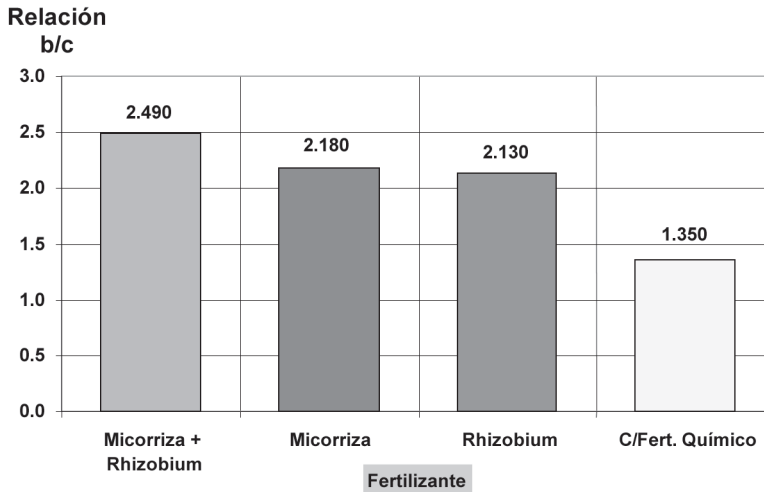
En este caso, se probó el efecto del biofertilizante combinado (*Rhizobium* y Micorriza) de manera individual, eliminando 100% del fertilizante químico, y se comparó con el tratamiento donde se aplicó la dosis recomendada. El resultado fue que la combinación del biofertilizante registró rendimientos superiores en cerca de 20% respecto al tratamiento del químico y en un porcentaje similar en referencia al uso aislado del *Rhizobium* y la Micorriza.

Como el uso del biofertilizante abate los costos de producción por el desplazamiento del fertilizante químico, cuando hacemos el análisis económico se encuentra que la relación beneficio-costos, es decir, la diferencia entre lo que se invierte y lo que se obtiene, en los biofertilizantes es superior hasta en 80% respecto al uso del químico.

Media del rendimiento de frijol en temporal con aplicaciones de *Rhizobium etli* y Micorriza versus fertilizante



Media de la relación de frijol en temporal con aplicaciones de *Rhizobium etil* y *Micorriza* versus fertilizante

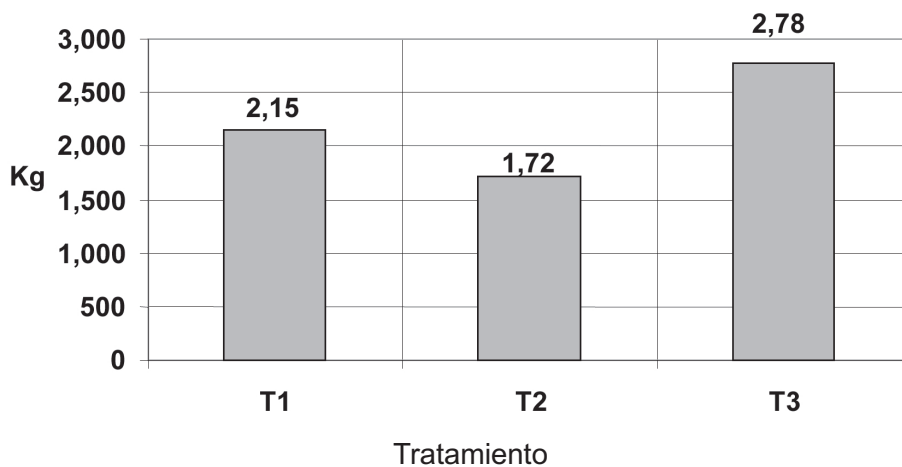


Fuente: Investigación directa en el estado de Durango.

En el caso de Nayarit, también en el cultivo del frijol, se trabajaron parcelas con tres tratamientos para medir el efecto del biofertilizante (*Rhizobium* más *Micorriza*), comparándolo con el testigo absoluto (sin fertilización) y con la aplicación del fertilizante químico.

Los rendimientos obtenidos registran un incremento en el uso del biofertilizante de 62% respecto al testigo absoluto y de 30% con relación al uso de químicos. Sin embargo, dicha diferencia se agranda, cuando analizamos la rentabilidad de los tres tratamientos, llegando a ser superior en más de 100% en el testigo absoluto y en 54% respecto al uso del químico.

Respuesta de frijol negro Chapingo bajo
tres tratamientos de fertilización en Tuxpan, Nayarit
Rendimiento por hectárea



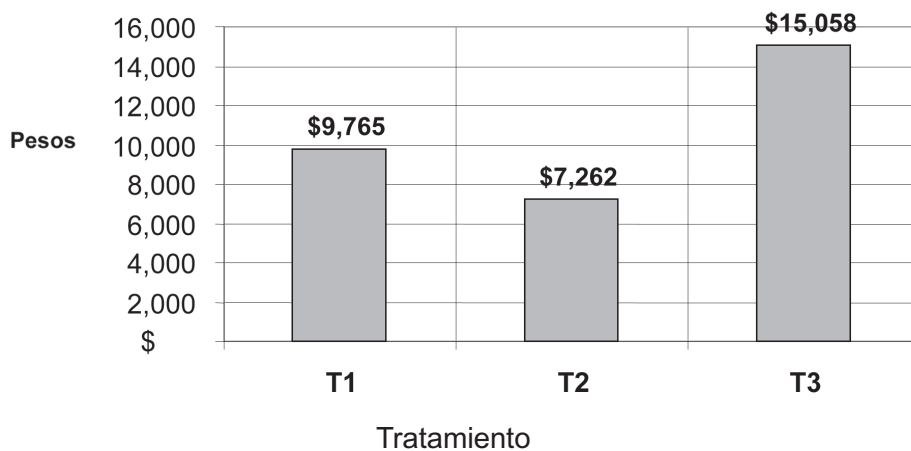
T1 = Fertilización química con la fórmula 20-30-00.

T2 = Testigo.

T3 = Biofertilizante.

Fuente: Investigación directa.

Respuesta de frijol negro Chapingo bajo tres tratamientos de fertilización en Tuxpan, Nayarit
Rentabilidad de cada tratamiento



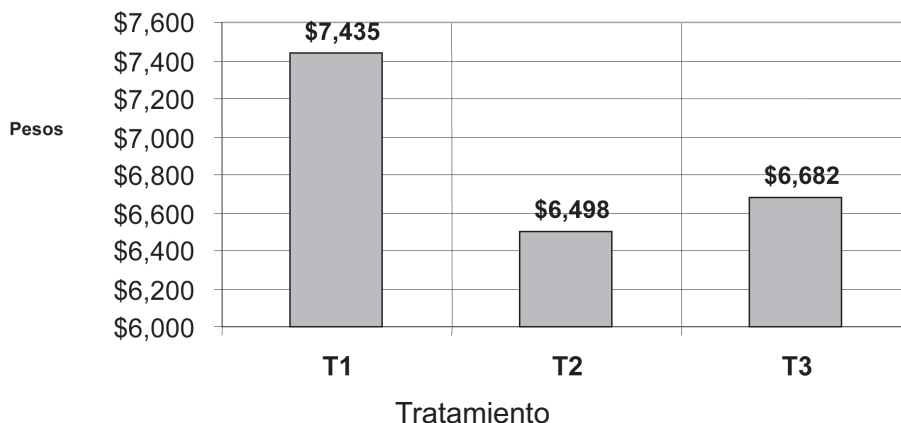
T1 = Fertilización química con la fórmula 20-30-00.

T2 = Testigo.

T3 = Biofertilizante.

Fuente: Investigación directa.

Respuesta de frijol negro Chapingo bajo tres tratamientos de fertilización en Tuxpan, Nayarit
Costos de producción por hectárea



T1 = Fertilización química con la fórmula 20-30-00.

T2 = Testigo.

T3 = Biofertilizante.

Fuente: Investigación directa.

Por último, un resultado bastante interesante se encontró cuando aplicamos un paquete tecnológico en la producción de maíz, con base en el uso de biofertilizante (*Azospirillum* más Micorriza) y una variedad de semilla QPM (Quality Proteine Maiz), que es un maíz de alta calidad de proteína, ya que posee 100% más lisina y triptofano, aminoácidos esenciales para el desarrollo y crecimiento, y cuyo contenido en los maíces comunes es restringido, generando que su proteína sea de muy mala calidad.

Estos resultados se obtuvieron en los estados de Puebla, Guerrero e Hidalgo, con pequeños productores que tienen al autoconsumo como esencial en su producción de maíz y en zonas marginales.

Los rendimientos obtenidos duplicaron los rendimientos medios de la zona, donde se siembra semilla criolla y sin fertilizantes. De un promedio de 2 a 2.5 toneladas se pasó de 5 a 6 toneladas.

Rendimiento promedio de QPM con biofertilizante en tres estados de la República, frente a los criollos de cada lugar (en temporal).

