

Microbios de biocontrol en la protección de plantas

*Señor: qué es BT - ¿siempre pensamiento él era británico
¿Telecomunicaciones?*



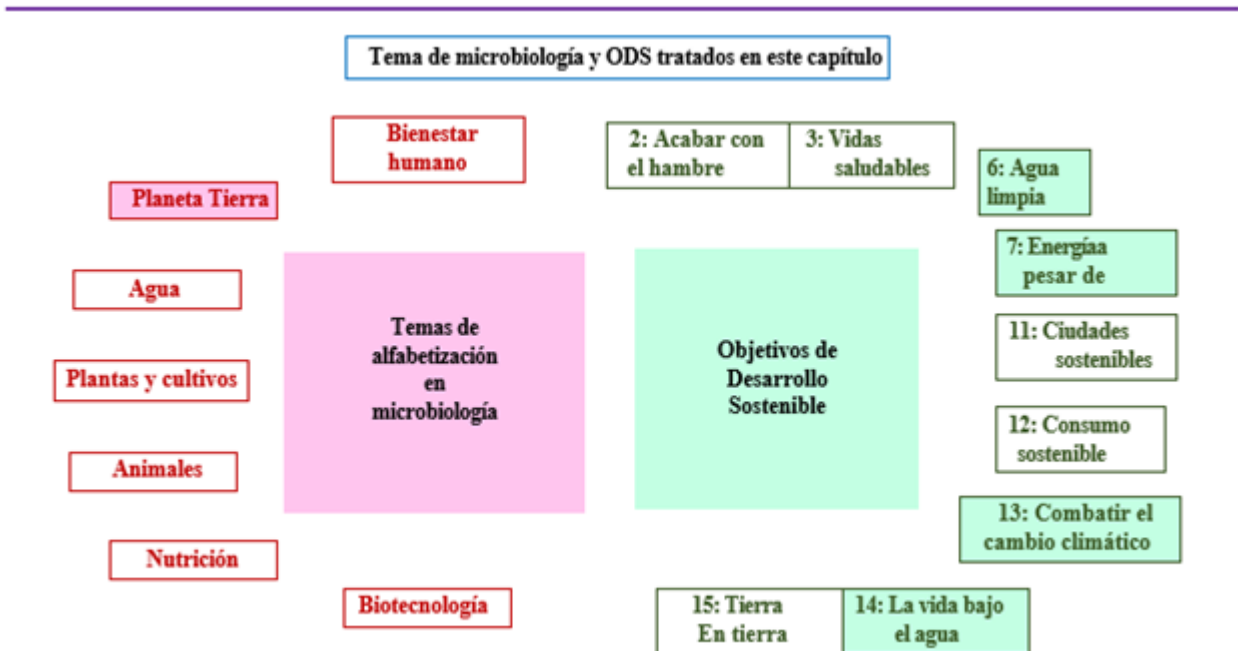
Alejandra Bravo y Mario Soberón

Departamento de Microbiología Molecular, Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Cuernavaca, Morelos, México.

Microbios de biocontrol en la protección de plantas

Sinopsis

La agricultura sostenible depende de la protección de los cultivos contra los ataques de insectos. La protección de los cultivos contra las plagas de insectos ha sido una actividad fundamental para aumentar los rendimientos y la calidad de los alimentos para el consumo humano. Los insecticidas químicos se han utilizado ampliamente para eliminar o reducir las infestaciones de insectos y asegurar una producción exitosa de cultivos. Sin embargo, la mayoría de los insecticidas químicos son tóxicos para muchos otros organismos, como los insectos beneficiosos, pero también para los humanos y todo tipo de animales y plantas. Además, se acumulan en el medio ambiente durante períodos de tiempo bastante largos. Por lo tanto, se necesitan urgentemente estrategias para reducir el uso de insecticidas químicos en la protección de las plantas. Los patógenos microbianos de insectos podrían ser una buena alternativa para reducir el uso de productos químicos tóxicos en la agricultura. Los patógenos que han demostrado ser específicos para los insectos incluyen virus, hongos y bacterias. Todos estos patógenos microbianos de insectos se han utilizado para desarrollar productos insecticidas que pueden reemplazar a los insecticidas químicos utilizados para el control de insectos en la agricultura. El patógeno de insectos más eficaz y exitoso utilizado para el control de plagas es la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt). Los miembros que pertenecen a las bacterias Bt muestran una especificidad de insectos limitada, pero propiedades de control altamente eficientes. Además, los genes que son responsables de la actividad insecticida de estas bacterias patógenas de insectos se han introducido en el genoma de diferentes plantas de cultivo, dotando así a las propias plantas de resistencia a los insectos. El uso de patógenos microbianos de insectos, o de los genes de estos microbios, puede mejorar la producción agrícola y también constituir un medio para reducir el uso de insecticidas químicos tóxicos en la agricultura, proporcionando así una importante contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.



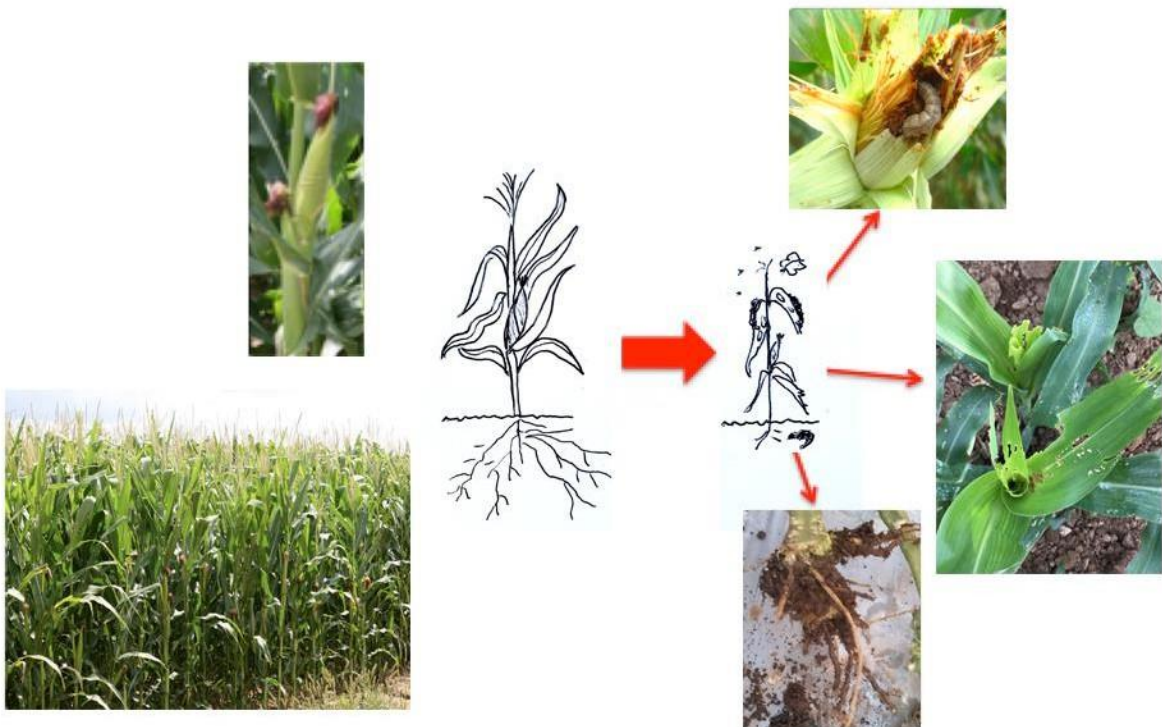
Un marco de educación en microbiología centrado

La microbiología y el contexto social

La microbiología: Patógenos microbianos de insectos como insecticidas potentes, patógenos microbianos de insectos como fuente de genes para la protección de cultivos en plantas modificadas genéticamente. En forma periférica, para completar la historia: el negocio de los productos bioinsecticidas, las prácticas agrícolas orgánicas. Cuestiones de sostenibilidad: alimentos, salud, energía, contaminación ambiental.

Microbios de biocontrol en la protección de las plantas: la microbiología

1. Protección de las plantas contra ataques de insectos. Desde la Revolución Verde de mediados del siglo pasado (1950-1960), la demanda de alimentos de la creciente población mundial se ha visto satisfecha con un aumento significativo de la productividad de los cultivos, debido a la intensificación agrícola que dependía del uso de variedades de cereales y cultivos de alto rendimiento en asociación con el empleo de fertilizantes químicos y otros productos agroquímicos, incluidos los insecticidas químicos, junto con el riego y la mecanización. En esta Revolución Verde, los insecticidas químicos desempeñaron un papel importante en la reducción de las pérdidas de rendimiento de los cultivos debido al ataque de plagas de insectos. Se ha estimado que hasta un 20% de las pérdidas de rendimiento de los cultivos se deben al ataque de insectos.



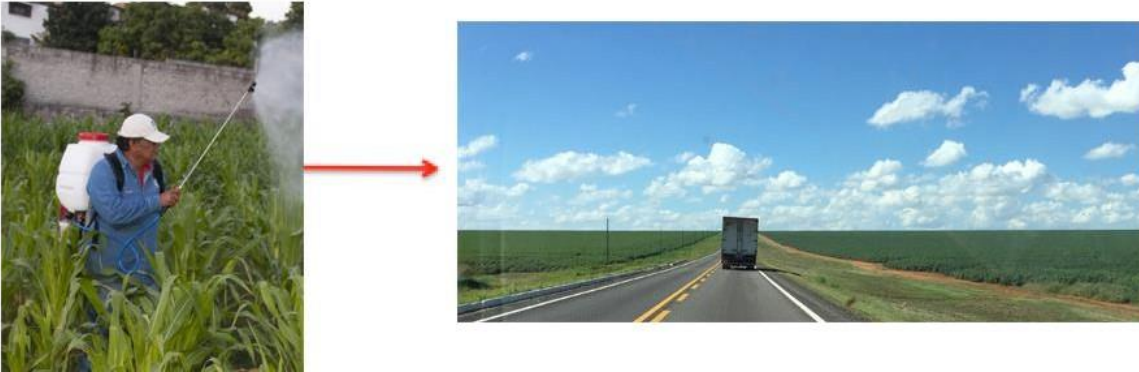
El ataque de insectos ocasiona importantes pérdidas en la producción de los cultivos. Los insectos pueden dañar el producto final del cultivo, el follaje o las raíces, dando como resultado importantes pérdidas de rendimiento.

Es importante tener en cuenta que los insectos pueden afectar la productividad de las

Un marco de educación en microbiología centrado

plantas no solo porque se alimentan de ellas, sino también porque transmiten patógenos microbianos, como virus y bacterias, que causan enfermedades y reducen el rendimiento de los cultivos. Para proteger a las plantas de los insectos, se aplican insecticidas en todo el mundo, que incluyen una variedad de compuestos activos con los insecticidas químicos tienen diferentes modos de acción (desactivan o matan plagas de diferentes maneras). Sin embargo, aunque los insecticidas químicos han sido fundamentales para asegurar la producción de alimentos, ahora está bien establecido que la mayoría de ellos también son tóxicos para los insectos benéficos, como los polinizadores, y para otros organismos no objetivo, incluidos los mamíferos y las plantas. Además, la mayoría de estos productos químicos permanecen en el medio ambiente durante períodos prolongados de tiempo, afectando al medio ambiente de formas impredecibles. En el caso de los humanos, es bien sabido que la exposición a los insecticidas químicos causa diferentes enfermedades como cáncer, disminución de la fertilidad, respuestas inmunes debilitadas y respuestas alteradas del sistema nervioso, entre otras. Por lo tanto, existe una necesidad urgente de reducir el uso de insecticidas químicos en la agricultura o cambiarlos por otros productos químicos que puedan degradarse más fácilmente en el medio ambiente y que muestren una menor toxicidad para los insectos no objetivo y otros organismos.

Pesticides



El uso de pesticidas químicos es fundamental para asegurar la producción de alimentos, sin embargo, tienen efectos importantes repercusiones negativas en el medio ambiente y en la salud humana.

2. El concepto de toxicidad selectiva. Una propiedad clave de los medicamentos utilizados para tratar enfermedades infecciosas la toxicidad selectiva de los medicamentos o agroquímicos para combatir las plagas de los cultivos es la toxicidad selectiva, es decir, la toxicidad del medicamento o agroquímico para la plaga objetivo (hongo, bacteria, insecto, etc.) en comparación con su toxicidad para los organismos no objetivo, incluidos los seres humanos. Lo ideal es que el medicamento o agroquímico tenga una alta toxicidad selectiva, es decir: que mate eficazmente la plaga pero que no tenga efecto sobre otros organismos. La toxicidad selectiva se basa en las diferencias metabólicas entre la plaga y los organismos no objetivo: estas diferencias ofrecen posibilidades de objetivos para dichos productos químicos.

3. ¿Qué productos químicos se utilizan en la agricultura para proteger las plantas? En general, existen dos categorías de insecticidas: insecticidas de larga persistencia y amplia especificidad, como los organoclorados DDT, o productos químicos de baja dosis, menor persistencia y especificidad reducida, como los neonicotinoides. Con el inicio de la mecanización de la agricultura, los agricultores utilizaron productos químicos de larga

Un marco de educación en microbiología centrado

persistencia y amplia especificidad, como el DDT, que se consideraba una solución a largo plazo para el control de plagas en la agricultura y para el control de mosquitos que son vectores de importantes enfermedades humanas como la malaria, el dengue, el zika, la chikungunya, la encefalitis y la filariasis. Sin embargo, unos años después de la comercialización del DDT, se reconoció que el DDT era extremadamente tóxico para los insectos no objetivo y, lo que es más importante, para los humanos, lo que llevó a su prohibición. Además, es justo decir que se demostró que el DDT perdía eficacia después de algún tiempo, debido a la rápida evolución de la resistencia en las plagas de insectos lo que redujo su toxicidad y, a su vez, impulsó a los productores a aplicar mayores cantidades de este químico en el control de plagas, antes de su prohibición.



Es necesario desarrollar nuevos insecticidas que ataquen únicamente a las plagas de insectos sin afectar a los insectos, plantas, animales o seres humanos beneficiosos.

El DDT fue reemplazado por otros productos químicos, como los carbamatos y organofosforados, como insecticidas preferidos para el control de plagas de insectos. Estos a su vez fueron reemplazados por los piretroides, que tenían la ventaja de requerir menores cantidades y ser menos persistentes en el medio ambiente. Sin embargo, todos estos productos químicos tienen una toxicidad reconocida para los organismos no objetivo y para los humanos. En la actualidad, compuestos como el benzoato de emamectina y los neonicotinoides, se utilizan ampliamente como insecticidas de baja dosis y persistencia. Sin embargo, incluso estos causan posibles problemas ambientales y de salud, ya que se sabe que

Un marco de educación en microbiología centrado

afectan el sistema nervioso de los insectos, los humanos y otros animales. Además, los neonicotinoides son el principal sospechoso de ser el agente causal del declive de las colmenas de abejas en todo el mundo, a través de la alteración del comportamiento de las abejas. Curiosamente, se ha sugerido que el efecto de los neonicotinoides en las abejas se debe en parte a la alteración de su microbiota. Así, aunque las prácticas agrícolas se orientaron hacia el uso de compuestos químicos que muestran un menor riesgo para el medio ambiente y para los organismos no objetivo, los plaguicidas actuales aún presentan toxicidades selectivas que no son lo suficientemente altas. Existe una creciente necesidad de nuevos plaguicidas eficaces insecticidas con especificidades limitadas y baja toxicidad para otros organismos, y baja persistencia. En el medio ambiente,

4. ¿Cuál sería un insecticida perfecto? Un insecticida perfecto debe tener las siguientes propiedades:

- a. exhibir una alta toxicidad selectiva, es decir, ser un compuesto altamente efectivo y específico que muestra toxicidad sólo contra la plaga de insectos objetivo, sin afectar a otros insectos benéficos u otros organismos,
- b. no persistir en el medio ambiente durante un período prolongado de tiempo,
- c. no seleccionar resistencia en los insectos objetivo,
- d. ser económico de producir e implementar, de modo que su uso sea económicamente competitivo en el mercado.

5. Los agentes de biocontrol pueden ser muy específicos. Los patógenos microbianos de insectos han sido considerados como alternativas interesantes para el desarrollo de insecticidas que muestren las características descritas anteriormente. Los insectos pueden ser el blanco de enfermedades infecciosas causadas por diferentes microbios, como virus, hongos o bacterias. El uso de patógenos microbianos para el control de insectos, también conocido como biocontrol, ha sido reconocido como una alternativa importante para reducir o sustituir los insecticidas químicos. A diferencia de los insecticidas químicos, los patógenos microbianos muestran altas especificidades para las plagas objetivo y no son tóxicos para los insectos benéficos y los humanos: muestran una alta toxicidad selectiva. Una ventaja significativa de esto es que, a diferencia de la situación con los pesticidas agroquímicos, que matan no solo a los insectos objetivo, sino también a sus depredadores naturales, que generalmente son otras especies de insectos que se alimentan de las plagas de insectos o que hacen uso de las larvas de las plagas para el crecimiento de su propia descendencia, los agentes de biocontrol no afectan a los enemigos naturales de las plagas de insectos. Esto significa que las plagas objetivo podrían ser atacadas por una combinación de los agentes de biocontrol y por sus enemigos naturales.

6. El uso de agentes de biocontrol es limitado en la actualidad. A pesar de las obvias ventajas de los agentes de biocontrol, su uso comercial se limita a un máximo del 2 % del mercado total de insecticidas. La razón es que la mayoría de estos patógenos de insectos son principalmente efectivos contra las etapas larvianas jóvenes de los insectos objetivo, lo que hace necesario el uso de prácticas de aplicación oportunas y precisas para un control eficiente de las plagas. Además, las ventajas antes mencionadas de estos bioinsecticidas, a saber, su estrecha especificidad y baja persistencia en el medio ambiente, son tomadas como desventajas por la mayoría de los productores, quienes aún prefieren insecticidas de amplio espectro que persistan en el medio ambiente durante largos períodos, reduciendo el número

Un marco de educación en microbiología centrado

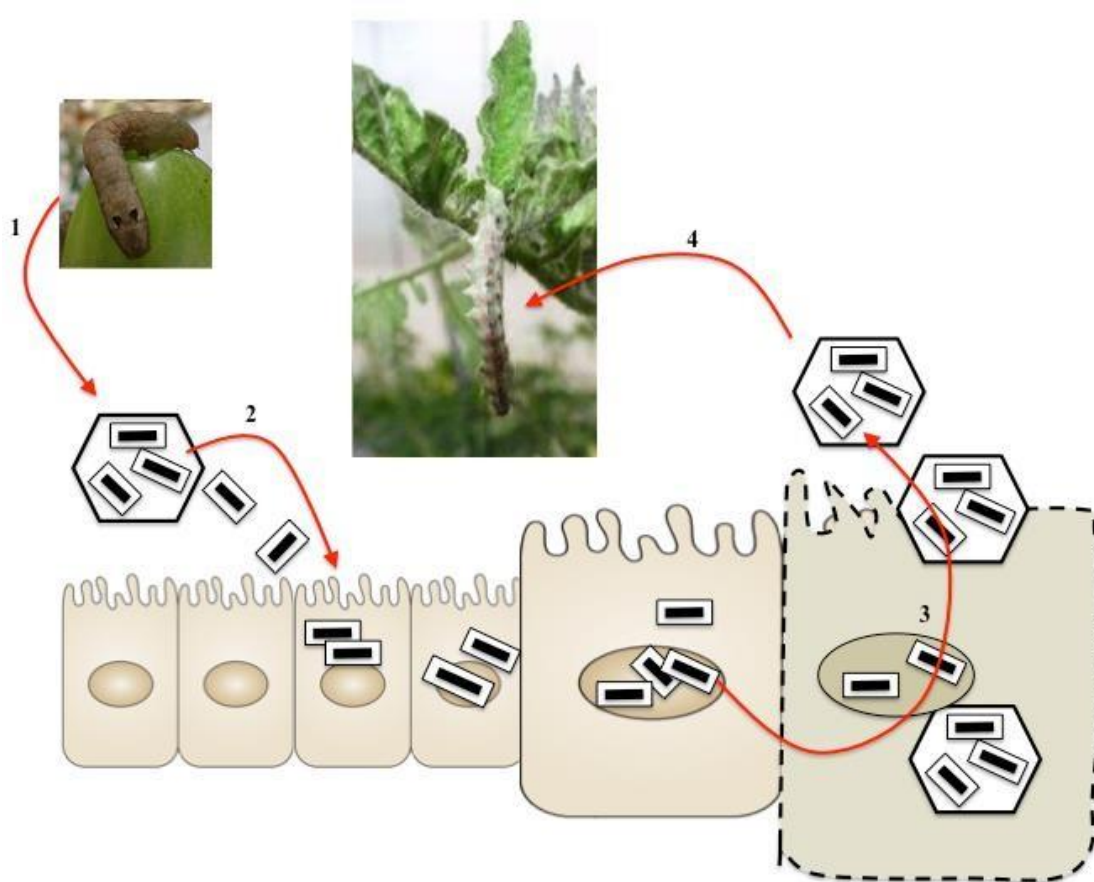
de aplicaciones de insecticidas y, por lo tanto, disminuyendo el costo de mano de obra asociado con la aplicación de insecticidas.

7. La conciencia ambiental está impulsando la demanda de alimentos producidos sin químicos pesticidas. Sin embargo, los productores de alimentos están respondiendo a las crecientes preocupaciones sobre la necesidad de proteger nuestro medio ambiente y reducir la exposición humana a sustancias químicas perjudiciales para la salud. Esta tendencia es alentada por los gobiernos, que aplican regulaciones estrictas sobre las cantidades de residuos químicos que se permiten en los productos alimenticios para el consumo humano y también para la exportación e importación de muchos productos. Además, existe un mercado creciente para la agricultura orgánica, que produce verduras y cultivos sin el uso de pesticidas químicos. El control de insectos en la agricultura orgánica se basa principalmente en el uso de diferentes bioinsecticidas. Por lo tanto, existe una gran demanda para el uso de prácticas agrícolas sostenibles que sean seguras para el medio ambiente, para los agricultores y para los consumidores. Para los tres tipos de patógenos de insectos (virus, bacterias y hongos), se han desarrollado y aplicado ampliamente diferentes productos comerciales.

8. Agentes de biocontrol de virus. En el caso de los virus de insectos, se han desarrollado formulaciones con múltiples especies de virus que muestran especificidad para diferentes órdenes de insectos. Para la infección por virus para que esto ocurra, las larvas deben ingerir los viriones, que luego infectan las células intestinales. La multiplicación del virus en el cuerpo de las larvas da como resultado la liberación de millones de viriones al medio ambiente, que pueden infectar a otros insectos de la población de la plaga y dar como resultado un control eficaz de la misma.

Los virus de la especie *Baculovirus* se han aplicado con éxito en la producción de cultivos, en muchos países, como Estados Unidos y Canadá, se ha demostrado que también son muy eficaces contra plagas de insectos en bosques y zonas boscosas.

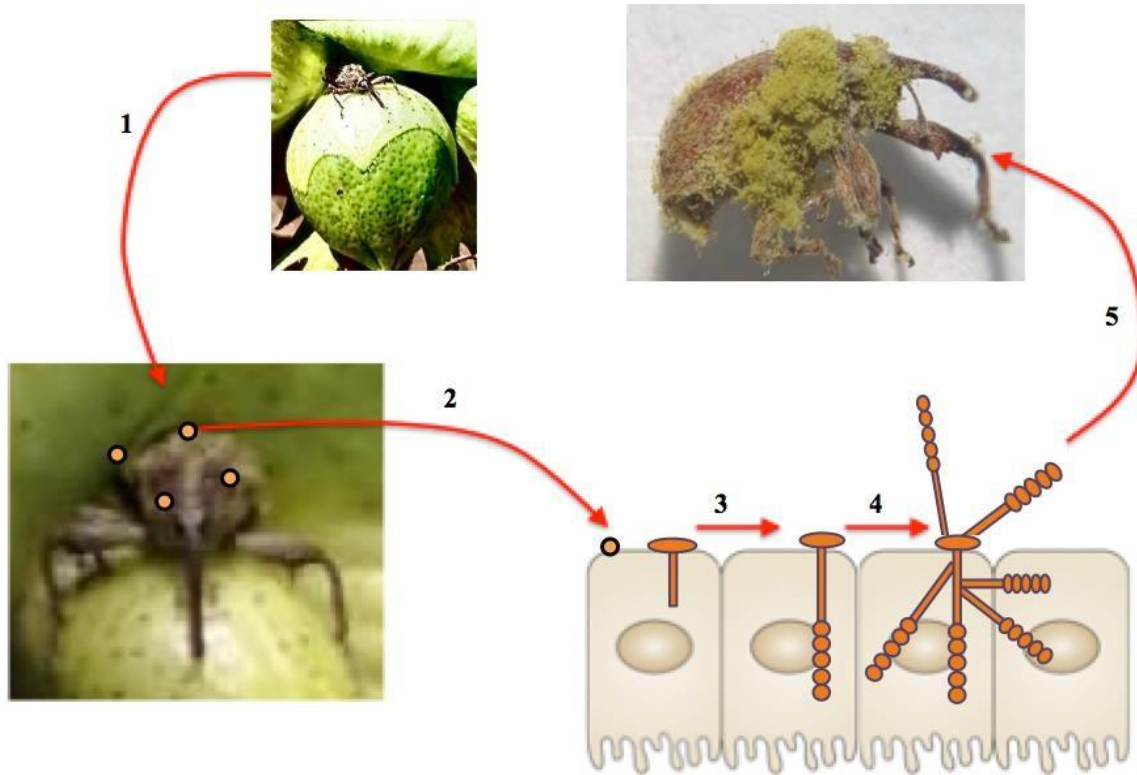
Un marco de educación en microbiología centrado



Infección viral de plagas de insectos. 1, las larvas deben ingerir los viriones depositados en las plantas. 2, los viriones infectan el intestino, células y se multiplican en el interior para producir más viriones. 3, se liberan nuevos viriones cuando las células del intestino medio se descomponen. 4, el resultado final es la muerte del insecto y la liberación de viriones al medio ambiente.

9. Agentes de biocontrol de hongos Los productos comerciales a base de diferentes especies de hongos tienen también se han desarrollado métodos para infectar hongos. La infección se produce por penetración de la hifa del hongo a través de la cutícula del insecto, lo que permite la infección y la propagación del patógeno en todo el cuerpo del insecto, hasta matarlo finalmente. Sin embargo, el crecimiento de hongos para la producción de insecticidas es ineficiente y solo se ha logrado parcialmente en el caso de unas pocas especies. Los hongos patógenos de insectos que se han desarrollado con éxito utilizados para el desarrollo de formulaciones comerciales de insecticidas pertenecen al género *Beauveria*, que infecta a una amplia gama de especies de insectos.

Un marco de educación en microbiología centrado



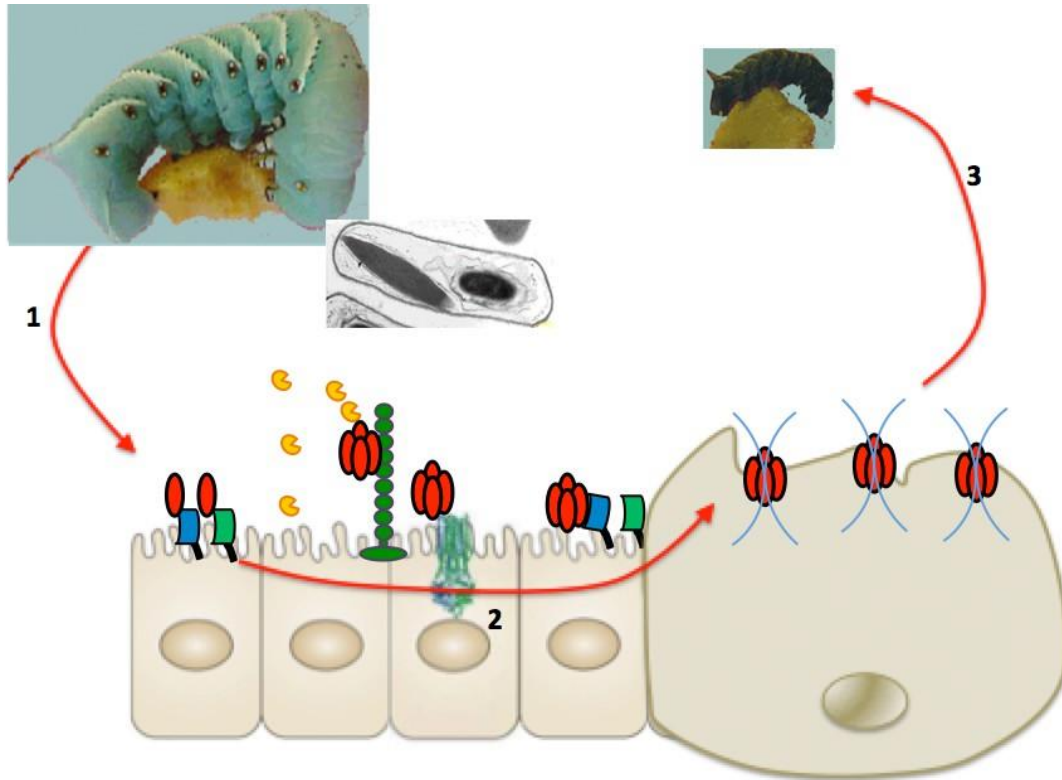
Infección por hongos en plagas de insectos. 1, el insecto está en contacto con las esporas del hongo. 2, las esporas germinan. Y la hifa del hongo penetra la cutícula. 3, la infección se propaga dentro del cuerpo del insecto. 4, la infección del patógeno se puede observar en todo el cuerpo del insecto. 5, finalmente, la plaga de insectos muere.

10. Agentes de biocontrol bacteriano. Los bioinsecticidas comerciales más exitosos que se utilizan en todo el mundo se basan en la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt). Las Bt son bacterias del suelo Gram-positivas que producen esporas durante su fase de esporulación, cuando las fuentes de alimento son escasas. Las esporas de Bt son resistentes al calor y la desecación y persisten durante un largo período de tiempo hasta que se encuentra una nueva fuente de alimento que permite que las esporas germinen y crezcan. Durante el proceso de esporulación, Bt produce grandes cantidades de proteínas, llamadas Cry o Cyt, que se acumulan en inclusiones de cristales en el compartimento de la célula madre y son tóxicas para diferentes órdenes de insectos, como lepidópteros, coleópteros, dípteros, himenópteros y nematodos. Además, algunas cepas de Bt producen un conjunto diferente de proteínas insecticidas durante la fase vegetativa de crecimiento llamadas toxinas Vip. Se ha demostrado que estas proteínas Vip también son muy eficaces contra varias plagas de lepidópteros en los cultivos.

En el caso de las proteínas Cry, las larvas susceptibles ingieren las esporas/cristales producidos por las cepas Bt, los cristales se disuelven en el intestino de las larvas y las proteasas intestinales activan estas protoxinas para producir la toxina tóxica activada. Las toxinas Cry son toxinas formadoras de poros que se insertan en las membranas de las células intestinales de las larvas, lo que provoca que las células intestinales mueran y se descompongan, liberando su contenido que proporciona nutrientes para que las esporas germinen que, a su vez, invaden las larvas, producen septicemia y matan a las larvas.

Un marco de educación en microbiología centrado

Sin embargo, se ha demostrado que las esporas y la septicemia no son necesarias para matar las larvas de la mayoría de las plagas de los cultivos, porque el tóxico. La actividad de la proteína Cry es suficiente.



Control de insectos con proteína Cry insecticida producida por la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt). 1, las larvas ingieren las esporas/cristales producidos por las cepas Bt. Dentro del intestino de las larvas, los cristales insecticidas se disuelven y las proteasas intestinales activan estas protoxinas para producir la toxina tóxica activada que se une a receptores específicos. 2, la unión a los receptores induce cambios conformacionales en la toxina que conducen a la oligomerización y la formación de poros en la membrana celular, lo que mata la célula. 3, las células intestinales se descomponen. Las esporas germinan, lo que resulta en septicemia y muerte de las larvas.

A partir de los primeros aislamientos de Bt que se caracterizaron durante el siglo pasado, se reconoció estas bacterias tienen una alta especificidad para los diferentes insectos. Por ejemplo, las cepas Bt que muestran toxicidad para larvas de lepidópteros (mariposas) no lo son para otros órdenes de insectos, como larvas de coleópteros (escarabajos) o larvas de dípteros (mosquitos). Además, la especificidad de las proteínas Cry es notable. Por ejemplo, las toxinas Cry1A, que son tóxicas para larvas de lepidópteros, muestran toxicidad solo contra un número limitado de especies de lepidópteros. El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), que es una plaga de cultivos de importancia mundial, muestra baja susceptibilidad a las toxinas Cry1A pero es altamente susceptible a otras proteínas Cry como la toxina Cry1Fa. La mayoría de las cepas Bt caracterizadas producen más de una proteína Cry dando a la bacteria la capacidad de tener una especificidad más amplia.

Hasta el momento se han comercializado diferentes formulaciones elaboradas con algunas cepas de Bt para el control de plagas. Estas formulaciones han sido ampliamente

Un marco de educación en microbiología centrado

utilizadas para el control de varias plagas de lepidópteros, coleópteros y dípteros. Sin embargo, su uso a gran escala como productos pulverizables aún es difícil limitada, principalmente debido a sus altos costos de producción y al requerimiento de prácticas de aplicación precisas, ya que el Bt es principalmente tóxico para las larvas en estadios jóvenes y debe aplicarse en un momento específico para lograr un control eficiente.

11. **Plantas transgénicas.** Además de estos productos de formulación a base de Bt, los productos cry y vip los genes que codifican las toxinas insecticidas se han expresado en múltiples plantas, creando así plantas transgénicas resistentes a los insectos. De hecho, los denominados cultivos Bt son la aplicación global más exitosa de Bt para el control de plagas, y han demostrado ser altamente efectivos en el control de plagas de insectos específicas. Se estima que, en comparación con los cultivos convencionales no transgénicos, el cultivo de cultivos Bt se asocia con niveles 80 % menores de uso de insecticidas químicos.

12. **El futuro de los bioinsecticidas.** Aunque los cultivos Bt han tenido éxito en la reducción de la en la agricultura, a pesar del uso de productos químicos, hay países que no permiten el uso de esta tecnología debido a los posibles riesgos ambientales de los cultivos genéticamente manipulados. Por lo tanto, el desarrollo de bioinsecticidas alternativos eficientes aún tiene un gran potencial para su uso agrícola. Las toxinas Cry y Vip expresadas en los cultivos Bt son altamente específicas contra sus plagas objetivo-primarias, pero no muestran toxicidad para otras plagas secundarias y, por lo tanto, aún es necesaria la aplicación de algunos insecticidas químicos. Además, como es el caso de los insecticidas químicos, las plagas de insectos también tienen el potencial de desarrollar resistencia a estas proteínas Cry o Vip expresadas en plantas Bt, lo que afectará el uso futuro y continuo de los cultivos Bt en la protección de las plantas. La evolución de la resistencia de las plagas impulsó la búsqueda de nuevas cepas Bt con nuevos genes cry que podrían ayudar a controlar los insectos que han desarrollado resistencia y que podrían usarse en combinación con otros genes insecticidas en plantas transgénicas (conocidas como plantas piramidales). Hasta el momento se han identificado y caracterizado más de 700 genes cry diferentes con distintas especificidades de insectos en la búsqueda de nuevos genes insecticidas para la protección de cultivos. Sin embargo, las plagas de insectos más importantes que afectan a los principales cultivos son susceptibles sólo a unas pocas toxinas Cry y, en la mayoría de los casos, la resistencia a una proteína Cry también promueve la resistencia a toxinas Cry relacionadas con modos de acción similares. Por lo tanto, los investigadores están buscando otras especies bacterianas que produzcan proteínas insecticidas con modos de acción distintos a las toxinas Cry conocidas. *Pseudomonas chlororaphis*, *Pseudomonas mosselii* y *Alcaligenes faecalis* son ejemplos recientes de bacterias en las que se han identificado nuevas proteínas insecticidas no relacionadas con las proteínas Cry o Vip. Se espera que otros microbios del suelo proporcionen nuevas proteínas insecticidas con diferentes modos de acción que se puedan utilizar para la protección eficaz de las plantas contra el ataque de insectos y que ayuden a reducir el uso de productos químicos en la agricultura intensiva.

Un marco de educación en microbiología centrado

Pertinencia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los Grandes Desafíos

La dimensión microbiana para la protección de las plantas se relaciona con varios ODS, entre ellos:

- **Objetivo 2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y el desarrollo sostenible agricultura.** El uso de patógenos microbianos para insectos con el fin de reducir el uso de insecticidas químicos en la agricultura sostenible permitiría mejorar la nutrición al disminuir la posibilidad de utilizar productos químicos peligrosos que podrían permanecer en los alimentos. Además, el uso de insecticidas microbianos permitiría el uso de otros métodos de control compatibles, ya que los enemigos naturales de los insectos también son susceptibles a los insecticidas químicos.

- **Objetivo 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos en todas las edades (mejorar la salud, reducir las enfermedades prevenibles y las muertes prematuras).** La reducción de los insecticidas químicos en la agricultura mediante el aumento del uso de bioinsecticidas reducirá el riesgo de enfermedades como el cáncer y los efectos negativos sobre la reproducción, la respuesta inmunitaria y el sistema nervioso. Las personas que trabajan en la agricultura serán las más beneficiadas, ya que la exposición directa a productos químicos peligrosos se reducirá significativamente. Sin embargo, todas las personas que consumen alimentos producidos mediante agricultura intensiva también estarán menos expuestas a productos químicos tóxicos en sus alimentos.

- **Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos (*garantizar agua potable, mejorar la calidad del agua, reducir la contaminación, proteger los recursos hídricos*) (*los ecosistemas mejoran la gestión del agua y el saneamiento*).** La contaminación del medio ambiente por pesticidas químicos incluye la contaminación de los embalses de agua. La reducción del uso de estos productos químicos tóxicos en la agricultura y su sustitución por bioinsecticidas biodegradables reducirá la contaminación de los embalses de agua.

- **Objetivo 7 Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.** Las formas de energía renovables, no basadas en combustibles fósiles, son fundamentales para el desarrollo sostenible. Sin embargo, las formas de energía renovable basadas en plantas sufren importantes pérdidas por plagas, lo que reduce su contribución y aumenta sus costos. Los insecticidas químicos actuales no son respetuosos con el medio ambiente y, por lo tanto, no son sostenibles. Los biopesticidas son, por lo tanto, facilitadores de formas de energía renovables basadas en plantas y sostenibles.

- **Objetivo 14 Prevenir y reducir significativamente la contaminación marina.** Los insecticidas que se utilizan en las granjas costeras penetran en los mares y los contaminan, además de envenenar a la fauna y flora silvestres. La sustitución de los insecticidas químicos por bioinsecticidas biodegradables y específicos para cada objetivo reducirá la contaminación de los sistemas marinos.

- **Objetivo 15. Detener la pérdida de biodiversidad en los ecosistemas terrestres.** Los ecosistemas centrados en el suelo y en las plantas albergan gran parte de la biodiversidad planetaria. Los insecticidas reducen la diversidad de insectos y afectan la salud de otros

Un marco de educación en microbiología centrado

animales, por lo que es esencial reducir su aplicación en el tratamiento de plantas de cultivo y reemplazarlos con biopesticidas específicos para el objetivo.

Posibles implicaciones para las decisiones:

1. *Individual*

- a. Sopesar los diversos factores microbianos y no microbianos y alinearlos con convicciones personales (¿los beneficios personales positivos para la salud superan las consideraciones ambientales generales?).
- b. Consumir productos de producción orgánica o de cultivos normales (¿la huella ambiental será menor al limitar el uso de pesticidas en la producción de cultivos?).
- c. Consumir productos de cultivos Bt transgénicos o de la agricultura normal (¿la huella ambiental será menor al limitar el uso de pesticidas en la producción de cultivos?).

2. *Políticas comunitarias*

- a. Consecuencias ambientales locales (contaminación de tierras y masas de agua con pesticidas químicos).
- b. Costos de salud asociados a la exposición a pesticidas químicos en productores y consumidores de productos vegetales contaminados.
- c. Parámetros no microbianos: apoyar a los pequeños productores orgánicos y a las empresas locales de productos vegetales locales.

3. *Políticas nacionales relacionadas con la protección fitosanitaria*

- a. Economía de la atención sanitaria en caso de intoxicación por exposición a pesticidas químicos.
- b. Contaminación ambiental y biorremediación.
- c. Garantizar el suministro de alimentos y agua seguros.
- d. Recuperación de tierras contaminadas para la futura producción de cultivos.

Participación de los alumnos

1. *Clase discusión asociado con plantaprotección*

2. *Concienciación de los alumnos sobre las partes interesadas*

- a. La protección de las plantas contra los ataques de insectos con insecticidas químicos o con agentes de biocontrol tiene consecuencias positivas y negativas para los ODS. ¿Cuáles de estas son las más importantes para usted personalmente o como grupo?
- b. ¿Se te ocurre alguna forma de potenciar el uso de bioinsecticidas para reducir el uso de productos químicos en la agricultura?
- c. ¿Puede pensar en algo que podría hacer personalmente para reducir el impacto ambiental de los pesticidas químicos en la agricultura?

3. *Ceremonias*

- a. La mayor parte de nuestros suministros de alimentos provienen de una agricultura intensiva que utiliza pesticidas químicos para la producción de cultivos. ¿Qué otras alternativas existen para asegurar el suministro de alimentos con un uso reducido de

Un marco de educación en microbiología centrado

pesticidas para la producción de cultivos?

b. Los bioinsecticidas son seguros, pero requieren formulaciones precisas para protegerlos de la luz solar y prácticas de aplicación precisas para lograr un control eficaz de las plagas. ¿Se te ocurre algo que pueda mejorar su eficacia?

c. ¿Qué otros microorganismos podrían ser buenas fuentes de proteínas con acción insecticida? Actividad? ¿Por qué?

d. ¿Cuáles podrían ser los lugares más prometedores para la identificación de dichos microorganismos?

La base de evidencia, lecturas adicionales y ayudas didácticas

Soberón, M., Bravo, A., & Blanco, CA (2016). Estrategias para reducir el uso de insecticidas en la producción agrícola. Módulo de referencia en Ciencia de los alimentos. Elsevier 03063 pp. 1-5. ISBN:978-0-08-100596-5.03063 <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03063>

Pardo-López, L., Soberón, M., & Bravo, A. (2013). *Bacillus thuringiensis* insecticida de 3 dominios Toxinas Cry: modo de acción, resistencia de los insectos y consecuencias para la protección de los cultivos. *FEMS Microbiology Reviews*. 37: 3-22 <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2012.00341.x>

Bravo, A., del Rincon-Castro MC, Ibarra, JE, & Soberón M. (2011). Hacia un control saludable de plagas de insectos: uso potencial de insecticidas microbianos. En *Green Trends in Insect Control*. P 266-299 (Lopez, J y Fernández-Bolaños, JG) RSC Publishing. ISBN: 978-1-84973-149-2 <https://doi.org/10.1039/9781849732901-00266>

Sanahuja G, Banakar R, Twyman RM, Capell T y Christou P. (2011). *Bacillus thuringiensis*: una Un siglo de investigación, desarrollo y aplicaciones comerciales. *Plant Biotechnology Journal* 9:283-300. doi: 10.1111/j.1467-7652.2011.00595.x.

Naranjo, SE, & Ellsworth, PC (2015). Valor económico del control biológico en el manejo integrado de plagas en sistemas de plantas gestionadas. *Revista Anual de Entomología* 60, 621-645 doi: 10.1146/annurev-ento-010814-021005.

Glosario

Alcaligenes faecalis, una especie de bacteria Gram-negativa, con forma de bastón, que se encuentra comúnmente en el medio ambiente. ***Bacillus thuringiensis***, bacteria Gram-positiva con forma de bastón que durante su fase de esporulación produce inclusiones parasporales formadas por proteínas insecticidas como Cry, Cyt y Vip.

Baculovirus, virus patógenos que atacan a insectos y otros artrópodos

Bacteriófagos, tipo de virus que infecta a las bacterias

Beauveria, un género de hongos que se reproducen asexualmente. Varias especies son patógenas de insectos.

Insectos beneficiosos, insectos útiles que no dañan las plantas ni la salud humana, como las arañas, son depredadores de insectos, insectos parásitos, polinizadores, abejas, abejas melíferas, mariposas e insectos que son alimento para otros organismos.

Bioinsecticidas, organismos que incluyen bacterias, virus y hongos muy específicos para ciertas plagas de insectos y pueden persistir en el medio ambiente.

Biorremediación, una rama de la biotecnología que emplea el uso de organismos vivos, como

Un marco de educación en microbiología centrado

microbios y bacterias, en la eliminación de contaminantes, contaminantes y toxinas del suelo, el agua y otros entornos.

Cultivos Bt cultivos transgénicos que producen la misma toxina que la bacteria *Bacillus thuringiensis* en la célula vegetal, protegiendo así los cultivos de las plagas.

Carbamatos, una categoría de compuestos orgánicos que se deriva formalmente del ácido carbámico

Insecticidas químicos, Sustancias químicas tóxicas para las plagas de insectos

Chikunguña, enfermedad causada por el virus Chikungunya que se transmite a las personas por la picadura de un mosquito infectado.

Coleópteros, un orden de insectos que incluye a los escarabajos

Cultivos, plantas o productos que pueden cultivarse y cosecharse extensivamente con fines de lucro o subsistencia.

Llora toxinas, una gran familia de toxinas cristalinas producidas por *Bacillus thuringiensis*. Compuesto por tres dominios y producido como inclusiones cristalinas durante la fase de esporulación de *Bacillus thuringiensis*.

Toxinas citotóxicas, constituyen un grupo más pequeño y distinto de proteínas cristalinas producidas por *Bacillus thuringiensis* con actividad insecticida contra varias larvas de dípteros y muestran actividad citolítica contra los glóbulos rojos.

δ-endotoxinas, son formador de poros toxinas producidos por *Bacillus thuringiensis*.

DDT El diclorodifeniltricloroetano es un compuesto organoclorado.

dengue, Una enfermedad viral transmitida por mosquitos que se presenta en áreas tropicales y subtropicales.

Dípteros, un orden de insectos que incluye moscas y mosquitos

Encefalitis, inflamación del cerebro

Enzimas, proteínas que actúan como catalizadores biológicos acelerando las reacciones químicas.

Epizootico, una enfermedad que prevalece temporalmente y está muy extendida en una población animal.

Filariasis, Una enfermedad parasitaria tropical que afecta los ganglios linfáticos y los vasos linfáticos.

Gram-positivo, Las bacterias son bacterias que dan un resultado positivo en la prueba de tinción de Gram, que se utiliza tradicionalmente para clasificar rápidamente las bacterias en dos grandes categorías según la estructura de su pared celular.

Revolución verde Las iniciativas evolucionaron a partir de la transferencia de tecnología de investigación que aumentó la producción agrícola en todo el mundo, comenzando más notablemente a fines de la década de 1960.

Transferencia horizontal de genes, es el movimiento de material genético entre organismos unicelulares y/o multicelulares que no sea mediante la transmisión de ADN de padres a hijos (reproducción).

Enfermedades humanas, cualquier condición que cause dolor, disfunción, angustia, problemas sociales o muerte a los humanos.

cutícula de insecto, la cubierta exterior del insecto y es su exoesqueleto al que están unidos los músculos.

Patógenos de insectos, patógenos que causan enfermedades en los insectos

Plagas de insectos, insectos que tienen efectos adversos y perjudiciales para la producción agrícola, el acceso al mercado, el medio ambiente y la salud humana.

Especificidad de los insectos, especificidad de la actividad limitada a los insectos

Un marco de educación en microbiología centrado

Lepidópteros, un orden de insectos que incluye mariposas y polillas

malaria, es una enfermedad grave causada por un parásito transmitido a los humanos por el mosquito

Anopheles especies

Vías metabólicas, rutas y redes de reacciones químicas en una célula que construyen y descomponen moléculas para los procesos celulares.

Patógenos microbianos de insectos, microorganismos (bacterias, hongos, microsporidios, virus) que son capaces para matar plagas de insectos

Microbiota, comunidad de microorganismos que se encuentran en un nicho ecológico particular y forman ecosistemas microbianos

Neonicotinoides, una clase de insecticidas neuroactivos químicamente similares a la nicotina Organoclorados, compuestos orgánicos que contienen al menos un átomo de cloro unido covalentemente

Organofosforados, compuestos organofosforados con una molécula central de fosfato con sustituyentes alquílicos o aromáticos.

Parasitoide, un insecto cuyas larvas viven como parásitos que eventualmente matan a sus huéspedes (generalmente otros insectos).

Patógenos de plantas, un organismo que causa una enfermedad en una planta

Protección de plantas, área de la agricultura que se ocupa de prevenir pérdidas causadas a los cultivos por enfermedades, plagas y malezas

Plásmidos, pequeñas moléculas de ADN extracromosómico dentro de una célula que están separadas físicamente del ADN cromosómico y puede replicarse independientemente

Depredadores, animales salvajes que cazan o se aprovechan de otros animales.

Pseudomonas chlororaphis, es una bacteria Gram-negativa utilizada como inoculante del suelo en agricultura y horticultura.

Pseudomonas mosselii, es una bacteria Gram-negativa, con forma de bastón.

plantas piramidales, plantas que contienen dos o más *Bacillus thuringiensis* diferentes genes de toxinas en la misma planta

Piretroides, un compuesto orgánico similar a las piretrinas naturales, que son producidas por las flores de los piretros.

Bacterias del suelo, Bacterias que se encuentran en el suelo.

Spodoptera frugiperda, También conocido como gusano cogollero, es una especie del orden Lepidoptera Agricultura sostenible, prácticas agrícolas que satisfacen las necesidades alimentarias y textiles actuales de la sociedad, sin comprometer la capacidad de las generaciones actuales o futuras de satisfacer sus necesidades.

Plantas transgénicas, plantas en las que se han introducido en el genoma uno o más genes de otra especie, mediante procesos de ingeniería genética

Toxina VIP, Otra clase de toxinas insecticidas de *Bacillus thuringiensis* que se producen durante la fase de crecimiento vegetativo

Zika, Una enfermedad causada por el virus Zika que se transmite a través de las picaduras de mosquitos.