

**Evaluación de Efectos
Potencialmente Adversos de los OVM
Resistentes a Insectos Sobre la
Entomofauna Nativa Asociada al
Maíz y Algodón**

José Santisteban C., *Ph.D*
Entomólogo

Lima, 23 de Abril, 2013

Contenido

1. Introducción

2. Antecedentes

OVM resistentes a insectos, cultivos y entomofauna nativa

3. Metodología

4. Principales Resultados

5. Recomendaciones

1. Introduction

OVM resistentes a insectos y entomofauna nativa
Lima , Abril 2013

J. Santisteban

Agricultura & OVM

- La agricultura representa una de las bases más importantes para el sostenimiento de la sociedad y la seguridad alimentaria.
- Producción de OVM para conferir resistencia contra insectos plaga es una nueva tecnología de gran interés para la agricultura, pero también podría ser causa de posibles efectos no deseados al ambiente y a los seres humanos.

Agroecosistemas

- Son espacios modificados por el ser humano donde se desarrollan las actividades agrícolas y, de manera similar a los ecosistemas naturales, incluyen componentes bióticos y procesos asociados que podrían ser susceptibles de afectación por el uso no controlado de OVM.
- Dentro de los componentes del agroecosistema se encuentran los insectos nativos “no objetivo” de las tecnologías de cultivos transgénicos.

Cultivos *Bt*

- Resultan de la incorporación de genes provenientes de la bacteria *Bacillus thuringiensis* Berliner y similares, a los que se les ha conferido, mediante transgénesis, la capacidad de expresar proteínas con características insecticidas (endotoxinas).
- Las plantas así modificadas adquieren protección contra determinados insectos plaga mediante la expresión de las toxinas *Bt*.

Entomofauna nativa “no objetivo”

- Esta constituida por insectos terrestres de gran importancia para el agroecosistema local y los cultivos que soporta.
- Incluye los llamados “insectos benéficos ” y/o “enemigos naturales” que comprenden una gama de grupos taxonómicos, tróficos o funcionales, entre los que se cuentan los predadores, los parasitoides, y los polinizadores.
- Esta fauna nativa es propia de cada lugar.

Objetivos de la Consultoría

- Realizar una evaluación de los efectos posibles conocidos del uso de OVM resistentes a insectos plaga sobre la entomofauna nativa asociada con los cultivos de algodón y maíz.
- Hacer una revisión de la información a nivel nacional y global de los efectos potenciales del uso de OVM resistentes a insectos sobre la entomofauna nativa, e incorporarla en una base de datos ligada a especies para la fauna asociada a cultivos de algodón y maíz.

Objetivos de la Consultoría (Cont.)

- Hacer la recopilación y sistematización de los registros de especies nativas de insectos asociadas con los cultivos de algodón y maíz en el Perú, y en especial de aquellas especies benéficas o consideradas enemigos naturales, por región productiva y por cultivo.
- Realizar evaluaciones en campo de las comunidades de insectos no objetivo asociadas a los cultivos de maíz y algodón, en particular insectos fitófagos y enemigos naturales.



2. Antecedentes

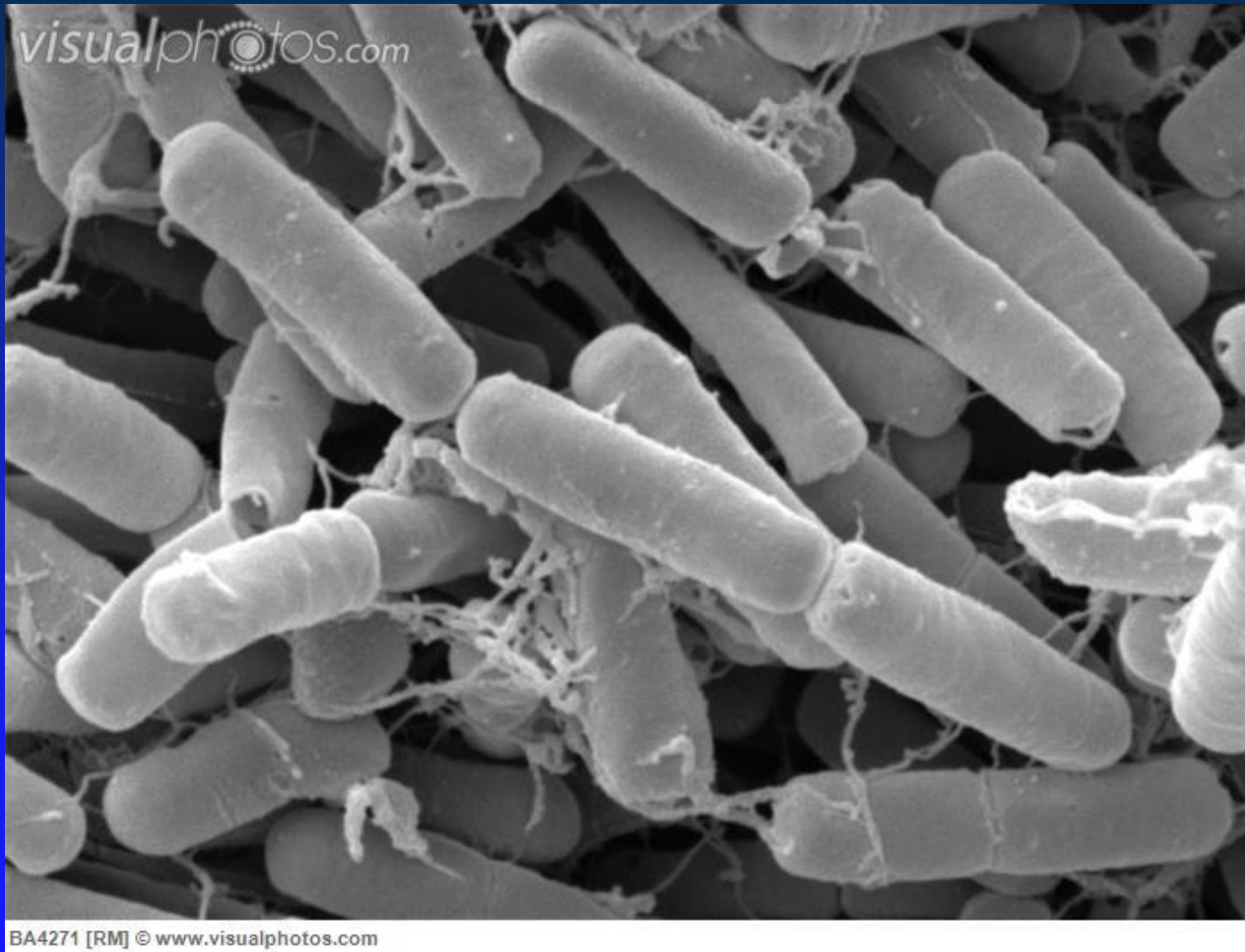
OVM resistentes a insectos y entomofauna nativa
Lima , Abril 2013

J. Santisteban

Bacillus thuringiensis

- Bacteria gram positiva en forma de bastón, capaz de formar endosporas durante la fase estacionaria de su ciclo de vida que pueden mantenerse latentes por largos períodos.
- Aunque se suele mencionar que la bacteria se encuentra preferentemente en el suelo, al parecer su ubicación podría ser más amplia (ILSI, 2012).

Bacillus thuringiensis (Cont.)



OVM resistentes a insectos y entomofauna nativa
Lima , Abril 2013

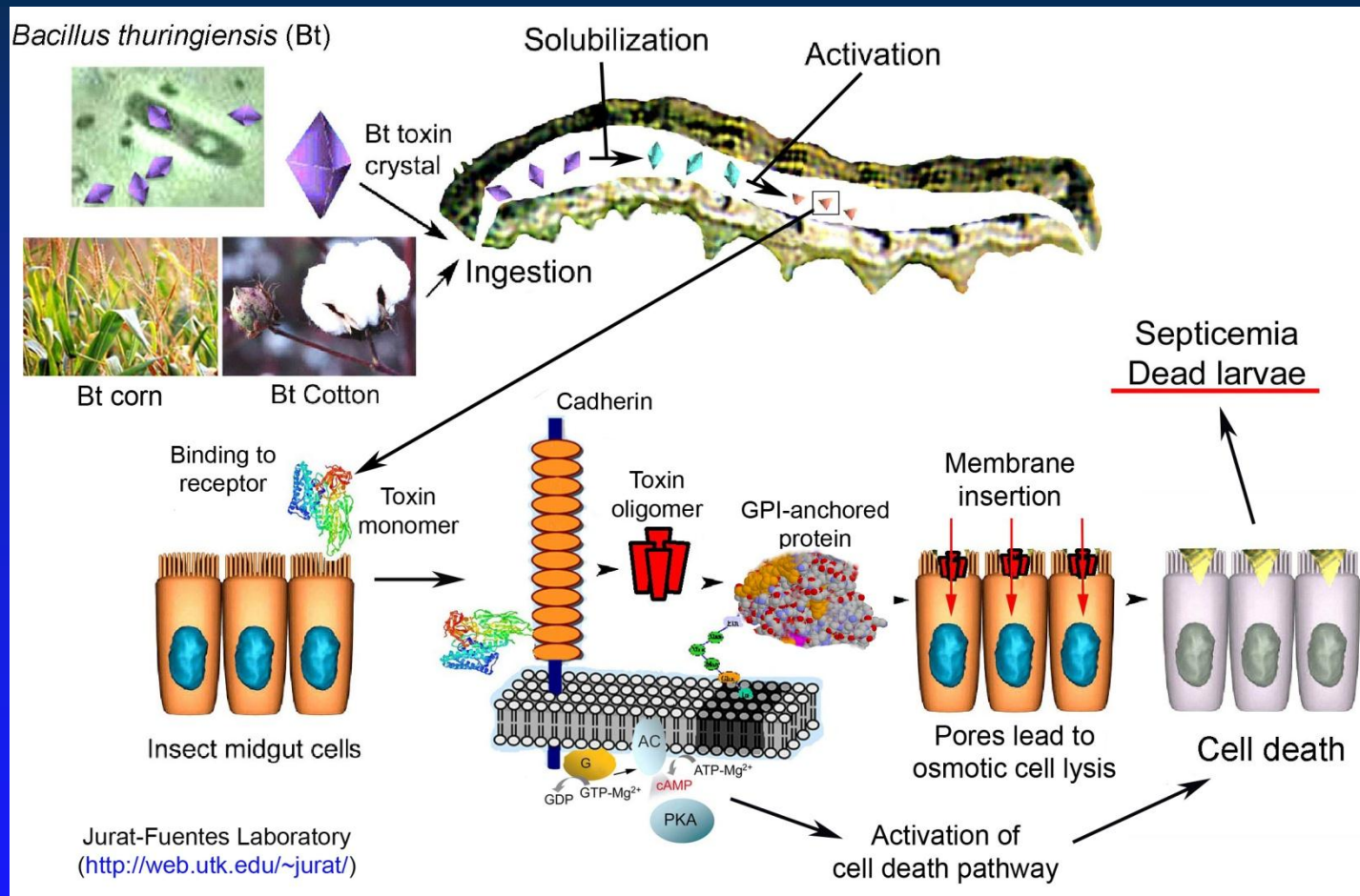
***Bacillus thuringiensis* (Cont.)**

- Las esporas contienen cristales que incluyen una o más proteínas *Cry* o *Cyt*, también conocidas como δ -endotoxinas, que tienen una potente actividad insecticida específica.
- Diferentes cepas de *Bt* producen diferentes tipos de toxinas cada una de las cuales afecta a un grupo taxonómicamente restringido de insectos.
- Las δ -endotoxinas *Cry* inicialmente fueron organizadas en 4 grupos: *Cry* I (Lepidoptera), *Cry* II (Lepidoptera y Diptera), *Cry* III (Coleoptera), y *Cry* IV (Diptera) (ILSI, 2012).

***Bacillus thuringiensis* (Cont.)**

- Las toxinas *Bt* inducen la muerte celular por formación de poros iónicos después de la inserción en la membrana de la célula, causando la lisis osmótica de las células epiteliales del intestino medio del insecto.
- Una segundo posible mecanismo, recientemente propuesto, involucra la activación de una cascada metabólica dependiente del Mg^{2+} , con un efecto de derribamiento (*Knock-on effect*) que inicia una serie de eventos citológicos que incluyen la aparición de bultos irregulares en la membrana celular y el hinchamiento de la célula seguido por la lisis celular (George & Crickmore, 2012).

Bacillus thuringiensis (Cont.)



***Bacillus thuringiensis* (Cont.)**

- *Bacillus thuringiensis* es notoriamente no tóxico para los seres humanos y, en cierta medida, se considera no tóxico a aquellos componentes de la fauna de insectos no objetivo.
- Existen registradas más de 400 formulaciones de *Bt* que, en su mayoría, contienen proteínas y esporas viables. Estos productos son aplicados de manera directa.

***Bacillus thuringiensis* (Cont.)**

- *Bacillus thuringiensis* es notoriamente no tóxico para los seres humanos y, en cierta medida, se considera no tóxico a aquellos componentes de la fauna de insectos no objetivo.
- Existen registradas más de 400 formulaciones de *Bt* que, en su mayoría, contienen proteínas y esporas viables. Estos productos son aplicados de manera directa.

Cultivos Bt

Antecedentes

Cultivo	Gen Bt	Plaga Objetivo	Referencias
Maíz	Cry1Ab	<i>Heliothis zea</i>	Koziel et al. (1993), Armstrong et al. (1995)
	Cry1Ac	<i>Pectinophora gossypiella</i>	Buschman et al. (1998)
Papa	Cry3A	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Perlak et al. (1993)
	Cry1Ab	<i>Phthorimaea operculella</i>	Duck and Evola (1997)
	Cry1Ac	<i>Phthorimaea operculella</i>	Ebora et al. (1994)
	Cry5	<i>Phthorimaea operculella</i>	Douches et al. (2004)
Algodón	Cry1Ac	<i>Helicoverpa spp.</i>	Perlak et al. (1990), Jenkins et al. (1997)
	Cry1Ab	<i>Pectinophora gossypiella</i>	Wilson et al. (1992), Benedict et al. (1996).
	Vip3Aa	Lepidópteros	Artim (2003)
Tomate	Cry1Ab	<i>Manduca sexta</i>	Delannay et al. (1989) p
Berenjema	Cry1Ab	<i>Leucinodes orbonalis</i>	Kumar et al. (1998)
	Cry3B	<i>Leucinodes orbonalis</i>	Iannacone et al. (1997)
Garbanzo	Cry1Ac	<i>Helicoverpa armigera</i>	Kar et al. (1997)
Caña de azúcar	Cry1Ab	<i>Diatraea saccharalis</i>	Arencibia et al. (1997)
Arroz	Cry1Ab	<i>Scirpophaga incertulas, Chilo suppressalis</i>	Datta et al. (1998), Shu et al. (2000), Ye et al. (2001) o
	Cry1Ac	<i>Scirpophaga incertulas</i>	Nayak et al. (1997)
	Cry2A-1Ac-gna	<i>Sitophilus oryzae, Dicladispa armigera</i>	Maqbool et al. (2001), Loc et al. (2002)
	Cry1B -1Aa	<i>Scirpophaga incertulas</i>	Raina et al. (2002)
	Cry1Ac – 2A	<i>Scirpophaga incertulas, Cnephalocrosis medinalis</i>	Bashir et al. (2004)

Cultivo de algodón

- La fibra del algodón es una de las más importantes en el mercado textil y la base de una gran industria.
- Sin embargo, la participación en la economía global es menor al 1% del PBI total.
- La producción mundial de algodón estimada a diciembre de 2012 fue de 124,3 millones de tm: China (33,1) , India (27,5) fueron los mayores productores, Brasil (8,7) y Argentina (1,0).
- Producción para Perú: 63,758 tm (2010) y 122,047 (2011) (MINAG, 2012).

Cultivo de maíz

- Cultivo ancestral originario de Sudamérica, llevado a todo el mundo: uno de los 3 más importantes para la alimentación mundial
- La producción mundial de maíz estimada a diciembre de 2012 fue de 881,75 millones de tm, para América Latina: Brasil (73,0) y Argentina (21,0).
- Producción para Perú en forma de maíz amarillo duro, maíz amiláceo y choclo.

Entomofauna nativa en maíz y algodón

- El conocimiento de la entomofauna asociada a estos cultivos es muy desigual a lo largo del territorio nacional donde se siembran las diversas variedades de estos cultivos.
- Esto es resultado del interés que han tenido estos cultivos y de su distribución histórica.
- En el caso del algodón mucha de la información sobre la entomofauna se generó a partir de trabajos realizados en la Costa Norte (Piura y Lambayeque) y en la Costa Central (Cañete a Ica).

Entomofauna nativa en maíz y algodón (Cont.)

- En el caso del maíz, grupos de investigadores, en mayor o menor grado, estudiaron la fauna de insectos asociada a este cultivo en las regiones de la Costa Central (Estaciones Experimentales de La Molina y Cañete, y Universidad Nacional Agraria La Molina), Sierra Central (Estación Experimental de Santa Ana y Huancayo), y en el Cusco (Universidad UNSAAC).

Entomofauna nativa en maíz y algodón (Cont.)

- La distribución de los estudios refleja la de los investigadores interesados en estos cultivos.
- Muchos trabajos han estado enfocados a aspectos de control y manejo de las plagas de insectos, y de la aplicación de los principios del Manejo Integrado de Plagas.
- El enfoque fue en las especies plaga y en los llamados "enemigos naturales primarios" que incluyen a especies predadoras y parasitoides consideradas más importantes para el cultivo y/o las plagas de mayor preocupación.

Entomofauna nativa en maíz y algodón (Cont.)

- La mayoría de estudios se formularon bajo diseños experimentales rígidos e incluyeron la aplicación de tratamientos de control, o ensayos de toxicidad, resistencia, eficiencia o estudios de historia natural asociados.
- Pocos enfocaron el análisis de los insectos asociados con estos cultivos desde el punto de vista de la comunidad y el agroecosistema.
- Estos enfoques se han venido desarrollando de manera más incremental en años recientes.



3. Metodología

Metodología de trabajo

Búsqueda y recopilación de información

- Búsqueda exhaustiva, recopilación y revisión de la información relevante , con enfoque en publicaciones académicas primarias (publicaciones completas).
- Información se ha referido al listado de eventos conocidos para cada uno de los dos cultivos a través del Sistema de Información Sobre Bioseguridad (BCH).

Metodología de trabajo

Búsqueda y recopilación de información (Cont.)

- Los trabajos sobre posibles efectos de los OVM tipo Bt sobre la entomofauna nativa han sido clasificados en tres tipos principales:
 - 1) estudios de laboratorio,
 - 2) estudios en condiciones confinadas (invernaderos, otros) ,
 - 3) estudios de campo.
- Solo se han incluido 2 y 3, no se han incluido estudios con dietas artificiales.

Metodología de trabajo

Sistematización y construcción de la base de datos

- Se ha tenido en consideración las recomendaciones para el registro e intercambio de información sobre biodiversidad y la validación de la autoridad taxonómica (TDWG, CBD).
- Campos clave:
 - a) nombre de la especie no objetivo o del grupo taxonómico no objetivo más inclusivo considerado en el estudio original,
 - b) evento transgénico asociado con cada registro,
 - c) localidad donde se ha hecho los registros, ensayos o evaluaciones.

Metodología de trabajo

Sistematización y construcción de la base de datos

- No se ha incluido registros de especies de la entomofauna nativa reportadas solo a partir de nombres comunes, a menos que sea específico: "gusano rosado de la India" para *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera: Gelechiidae).
- “Gusanos cortadores” puede referirse a varias especies de Noctuidae (Lepidoptera), estos registros no se han incluido.
- No se ha intentado hacer un juicio sobre la certidumbre taxonómica de las especies reportadas, pero se ha actualizado los nombres taxonómicos.

- Los reportes de especies han sido cotejados con el listado oficial de plagas cuarentenarias no presentes en el Perú.

Metodología de trabajo

Trabajo de campo

- Se realizaron evaluaciones en campo en las localidades de Cañete y Huaral.
- La dinámica de las poblaciones de insectos plaga y benéficos en el maíz, y en la periferia de los mismos, está sujeta a la estacionalidad y la fenología del cultivo, así como a las labores agrícolas asociadas.
- Evaluaciones de campo deben considerarse únicamente como referenciales:

dentro del campo de cultivo asociados con la planta,

en los alrededores del campo de cultivo.

Trampa de caída



OVM resistentes a insectos y entomofauna nativa
Lima , Abril 2013

J. Santisteban

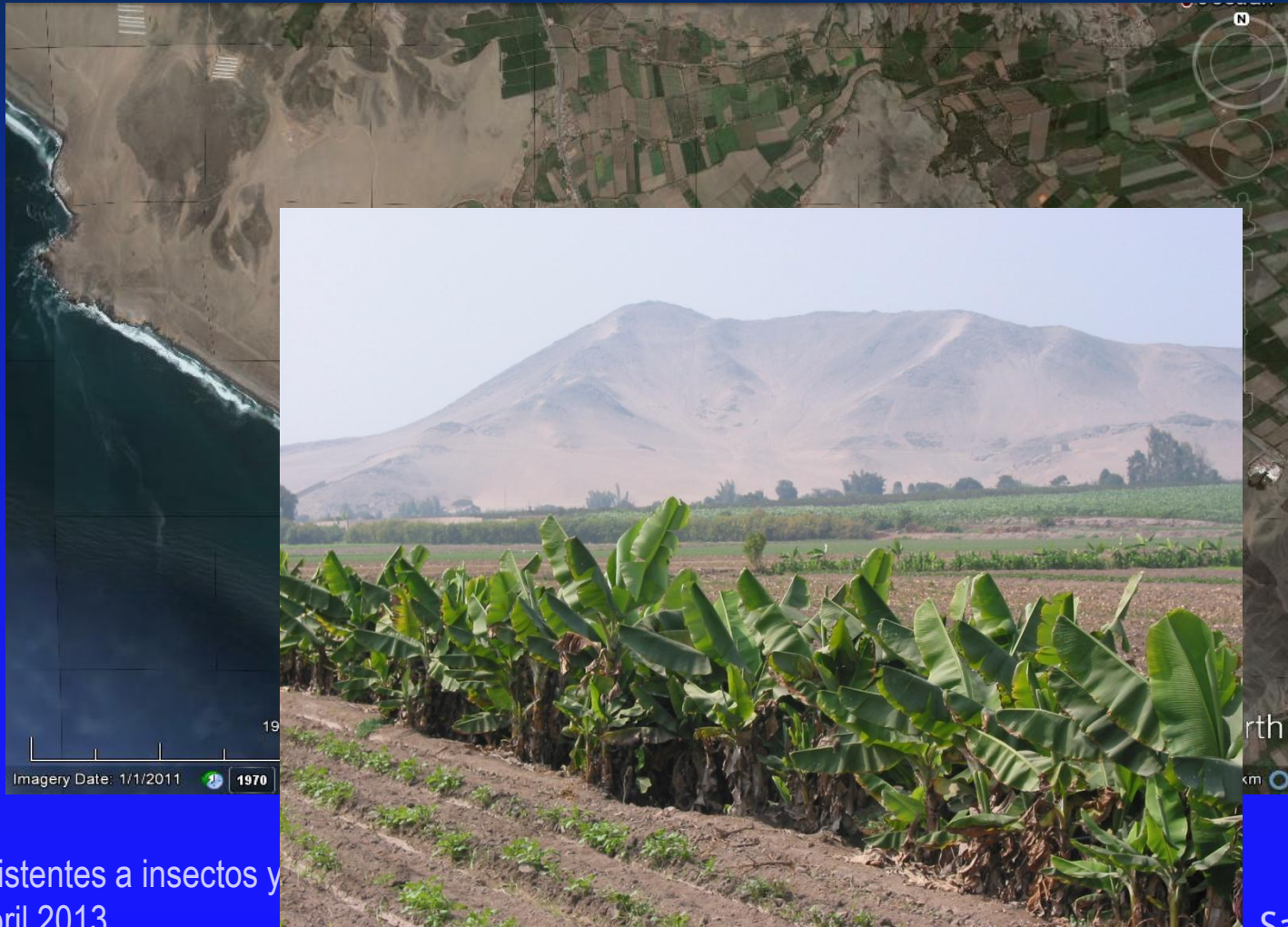
Trampa de Malaise y trampa de bandeja



OVM resistentes a insectos y entomofauna nativa
Lima , Abril 2013

J. Santisteban

Área de muestreo: Chancayllo (Huaral)



OVM resistentes a insectos y
Lima , Abril 2013

J. Santisteban

Área de muestreo: Cañete



OVM resistentes a inse
Lima , Abril 2013

J. Santisteban

Metodología de trabajo

Efectos potenciales sobre la fauna nativa

- Perspectivas:
 1. Estructura y dinámica de comunidades o de poblaciones, en los casos de una o pocas especies no objetivo
 2. Grupos funcionales definidos por su ubicación dentro de la arquitectura vertical del cultivo (subsuelo, suelo, dosel, insectos voladores), o por grupo trófico o funcional (predadores, parasitoides, herbívoros polinizadores).

Metodología de trabajo

Efectos potenciales sobre la fauna nativa

- Efectos:
 1. Sobre la riqueza y abundancia de insectos no-objetivo por grupo taxonómico.
 2. Sobre grupos funcionales de insectos.
 3. Sobre la fisiología y reproducción de especies no-objetivo (solo si a partir de estudios de campo o de condiciones confinadas).

Metodología de trabajo

Análisis y síntesis: categorización de efectos

- Incluye la naturaleza de los OVM, la estructura taxonómica y los grupos taxonómicos no objetivo más frecuentemente empleados, los parámetros comunitarios o poblacionales considerados, y los resultados encontrados por especie, grupo taxonómico o funcional en estudio.

Metodología de trabajo

Priorización

- Diversidad (riqueza de especies) de los grupos.
- Estado del conocimiento (taxonomía y ecología) de los grupos de insectos.
- Importancia para el cultivo como plagas secundarias o enemigos naturales.
- Uso de los grupos en los estudios sobre efectos de OVM para estos dos cultivos.
- Facilidad de muestreo, preservación, estudio y determinación.

Limitaciones

- Los grupos de artrópodos considerados dentro de la entomofauna nativa comprenden solamente a los insectos o hexápodos (*sensu* Zhang, 2011).
- Los cultivos transgénicos de interés son únicamente OVM tipo *Bt*.
- No se ha considerado (por ahora) reportes preparados por compañías biotecnológicas o similares con autoría corporativa.
- No se han incluido documentos disponibles en la Web de naturaleza no académica, o que evidentemente no cuentan con un sistema de **revisión por pares**.

Limitaciones (Cont.)

- La literatura nacional referida a registros de especies de importancia económica o aplicada a la agricultura es muy imprecisa espacialmente y (muchas veces) está referida a ubicaciones relativamente amplias, como por ejemplo "parte baja del valle de Cañete". No hay georreferenciación ó es limitada.
- Pocos registros (especialmente > año 2000) incluyen coordenadas geográficas (o UTM).



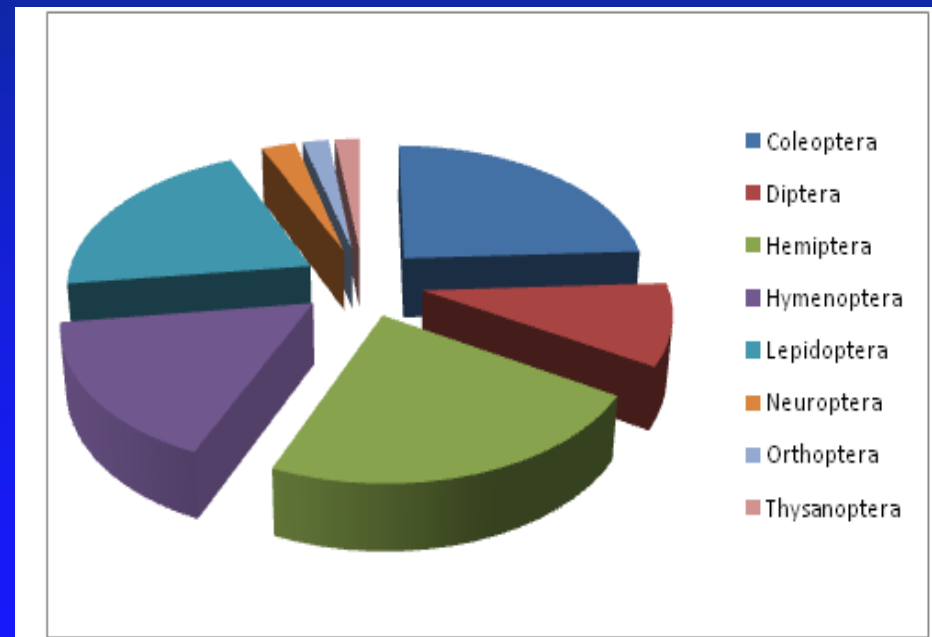
4. Resultados

OVM resistentes a insectos y entomofauna nativa
Lima , Abril 2013

J. Santisteban

Entomofauna nativa

- La BD incluye un total de 1101 registros de insectos asociados a los cultivos de interés a Diciembre de 2012, de los cuales 703 corresponden a algodón y 398 a maíz.
- Estos registros corresponden a un total de 97 familias de insectos y un total de 357 géneros diferentes.



Entomofauna nativa

- La distribución geográfica de los diferentes registros de especies de la entomofauna nativa, incluyen registros de al menos 15 departamentos o regiones.
- También podría interpretarse como un reflejo de la mayor o menor actividad de los grupos de investigadores.

Departamento	Algodón	Maíz
Amazonas	1	5
Ancash	19	2
Arequipa	2	
Cajamarca	2	8
Cusco		131
Huancavelica		1
Huánuco	1	
Huaraz		2
Ica	33	10
Junín	1	29
La Libertad	2	8
Lambayeque	25	24
Lima	81	35
Loreto	1	1
Piura	42	7
Tacna	1	1
Tumbes	4	1
Sin ubicación	487	134

Entomofauna nativa: grupos tróficos

- Mayor incidencia sobre insectos plaga en maíz.
- Un apreciable número de registros no indican el grupo funcional o función trófica de las especies.

Cultivo	Algodón	Maíz
Plaga	128	180
Predador	165	31
Parasitoide	175	11
Sin definición	235	177

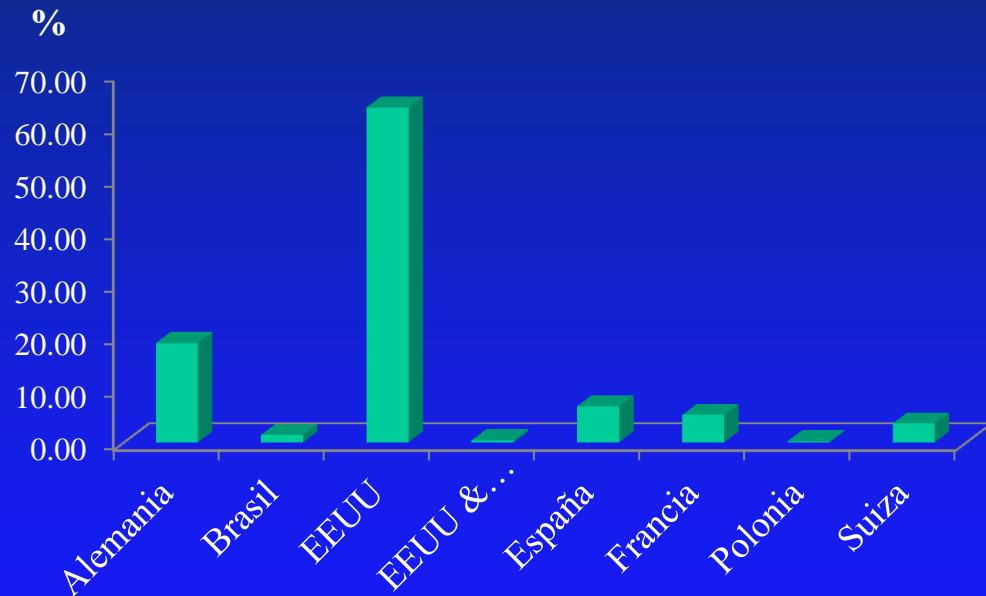
Grupos taxonómicos y especies empleados en los estudios

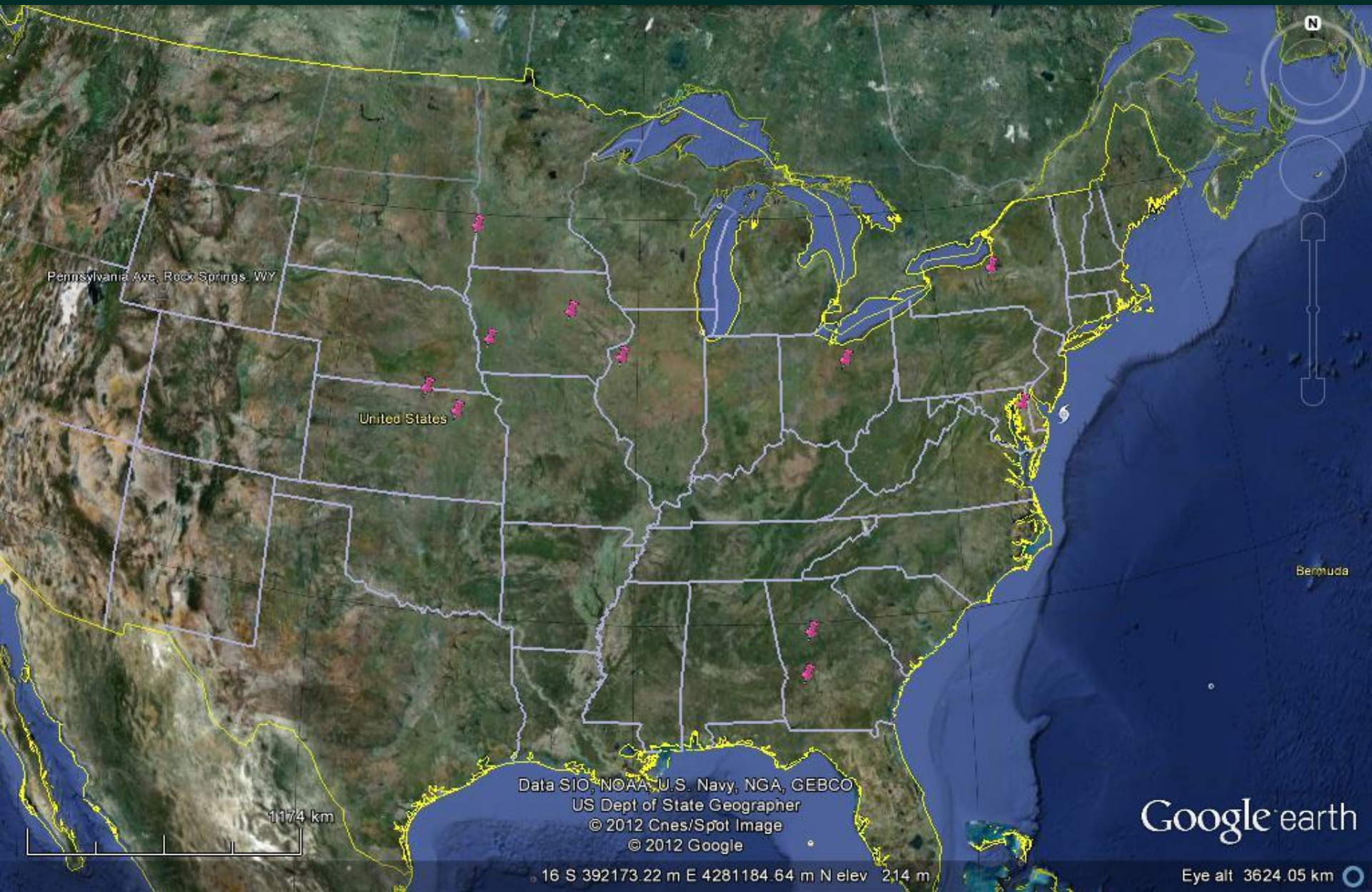
- En términos taxonómicos se han encontrado un total de 11 órdenes de insectos no objetivo incluidos en las evaluaciones revisadas.

Orden	Familias	Géneros
COLEOPTERA	22	105
COLLEMBOLA	13	33
DERMAPTERA	1	1
DIPTERA	18	1
HEMIPTERA	10	18
HYMENOPTERA	19	6
LEPIDOPTERA	3	3
NEUROPTERA	2	2
ORTHOPTERA	1	1
PSOCOPTERA	1	1
THYSANOPTERA	2	2

Ubicación geográfica de los estudios y afiliación

- Los estudios se distribuyen en nueve países de los cuales los EEUU comprenden el mayor número de registros en la base de datos.





Ubicación geográfica de los estudios y afiliación

- Al menos 25 instituciones albergan a los investigadores principales (o al menos los investigadores que aparecen primero en la lista de autores). De estas, al menos cinco corresponden a entidades de investigación o dependencias gubernamentales, dos corresponden a compañías de Biotecnología (Monsanto y Syngenta), y el resto a universidades.

OVM y eventos más estudiados

OVM
DKC6575 Monsanto, R33P67 Pioneer, Compa CB Syngenta
Pioneer 34M95
Compa CB, Syngenta
YieldGard Rootworm
Pioneer var. 38A25
GSS0966
DKc 307
GM 7590-Bt11 & Avant-ICP4
N4640Bt
NK3030Bt, NK7070Bt, 38G17, 34R07, Maximizer 21, 2249
Ostrinia-resistant MON810, Diabrotica-resistant MON88017
Stacked Bt corn

Métodos de evaluación de insectos, duración de los estudios, parámetros y variables

- “*Emergence traps*”, “*pan traps*”, “*Pherocon AM yellow sticky traps*”, “*pitfall traps*”, “*litterbags*”, “*Berlese*” o “*Tullgren*” .
- La duración de los estudios normalmente sigue la fenología de los cultivos , en la mayoría de casos, incorpora 1-2 campañas anuales (algunos 6-7 años).
- Parámetros estudiados: abundancia de los insectos por especie y/o grupo funcional o trófico, riqueza de especies y los índices de diversidad, niveles de parasitoidismo o porcentajes de infestación de estadios inmaduros o índices de contenido de toxinas *Bt*.

Principales efectos detectados

- Mayor abundancia en campo *Bt* en una campaña y no otra.
- Mayor abundancia en campo no *Bt* en una campaña y no otra.
- No hay diferencias en la abundancia entre campos *Bt* y campos no *Bt*
- No hay diferencias en la riqueza de especies entre campos *Bt* y no *Bt*.
- No hay diferencias en la composición de especies entre campos *Bt* y no *Bt*.
- Diferencias en actividad (como expresión de abundancia) de coleópteros terrestres entre campos *Bt* y no *Bt*, durante una de dos campañas. No hubo diferencias en la segunda campaña.
- Mayor actividad individual de coleópteros predadores en campos no *Bt* (no como población).
- Mayor abundancia de parasitoides de áfidos en el verano que en el invierno.

Principales efectos detectados

- Los resultados de la revisión de > 60 estudios evaluados **no indican**, empleando los parámetros antes mencionados, **efectos significativos** sobre la abundancia, riqueza o diversidad de los insectos estudiados, en plantas *Bt* en comparación con plantas no *Bt*.
- En un buen número de casos esta significancia es solo estadística, esto es, está basada en un análisis estadístico dentro del diseño experimental empleado.
- Este resultado general parece indicar un patrón de comportamiento de los diferentes ensayos realizados en condiciones de campo, sin embargo, estos resultados no deben considerarse conclusivos pues corresponden a otras regiones, cultivares, faunas o sistemas de cultivo.

Priorización de los grupos de la entomofauna nativa

Orden	En análisis de OVM		En estudios de LB (nacional)		Estado del conocimiento*	Importancia como enemigos naturales**	PRIORIDAD
	Familias	Géneros	Familias	Géneros			
COLEOPTERA	22	105	22	103	Pobre	Intermedia	Alta
COLLEMBOLA	13	33			Pobre	Menor	Alta
DERMAPTERA	1	1			Regular	Menor	Baja
DIPTERA	18	1	13	33	Pobre	Elevada	Alta
HEMIPTERA	10	18	22	69	Aceptable	Intermedia	Media
HYMENOPTERA	19	6	19	79	Aceptable	Elevada	Alta
LEPIDOPTERA	3	3	12	46	Regular	Menor	Baja
NEUROPTERA	2	2	3	9	Aceptable	Intermedia	Media
ORTHOPTERA	1	1	3	8	Pobre	Menor	Baja
PSOCOPTERA	1	1			Pobre	Menor	Baja
THYSANOPTERA	2	2	2	8	Aceptable	Menor	Baja
(*) Referido unicamente al conocimiento de los insectos asociados con los cultivos.							
(**) Referido unicamente para la mayoría de las especies registradas en la base de datos.							



5. Recomendaciones

Recomendaciones

- Realizar un estudio detallado de los registros de especies y grupos de especies de la entomofauna asociada con los cultivos de algodón y de maíz, basado en las principales colecciones entomológicas que se encuentran en el país.

Recomendaciones

- Definir, con base en la información varietal, de superficie cultivada, productividad, aspectos culturales y aquellos asociados de la agrobiodiversidad; **zonas de interés especial para estos cultivos** desde el punto de vista de los transgénicos y de la biota local
- En el caso del algodón se podría considerar inicialmente Lambayeque/Piura, Ica y Tarapoto. En el caso del maíz se podía incluir a Huaral/Chancay, Cusco y Huancayo.

Recomendaciones

- Identificar, dentro de las áreas de interés especial, actores académicos (universidades, institutos de investigación, especialistas) que podrían participar como ejecutores de este programa de monitoreo y evaluación.
- Seleccionar, calibrar y definir protocolos de monitoreo de la entomofauna nativa asociada a los cultivos de algodón y de maíz, que puedan ser empleados de manera consistente y uniforme en la ejecución de programa de monitoreo y evaluación.



