

Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria,
Acuacultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos



Convocatoria 2017

ANEXO B. DEMANDAS ESPECÍFICAS DEL SECTOR 2017-2

En atención a la problemática nacional en la que la I+D+i (Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica) tiene especial relevancia, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) ha identificado un conjunto de demandas y necesidades del Sector, para ser atendidas por la comunidad científica, tecnológica y empresarial con el apoyo del “Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuacultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos”.

Estas demandas se han clasificado en el área estratégica y fundamental:

- **Demanda 1.** Desarrollo de innovaciones tecnológicas para el manejo integral sustentable del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en México. (Tema Estratégico).
- **Demanda 2.** Diagnóstico y generación de tecnología para el manejo fitosanitario sustentable del cultivo de yaca (*Artocarpus heterophyllus*) en México. (Tema Estratégico).
- **Demanda 3.** Desarrollo y transferencia de pruebas diagnósticas para fuentes de aborto infeccioso causados por *Chlamydia* spp., *Brucella melitensis*, *Leptospira* spp., *Coxiella burnetii* o lentivirus en Ovinos y Caprinos. (Tema Estratégico).
- **Demanda 4.** Plataforma WEB informativa sobre usos del agua en la agricultura nacional. (Tema Fundamental).
- **Demanda 5** Generación de conocimiento y esquemas de manejo de insectos polinizadores en sistemas de agricultura protegida y a campo abierto de México. (Tema Estratégico).
- **Demanda 6.** Diseño y Fabricación de Microarreglos de ADN, para la Identificación de Organismos Patógenos en Cultivos de: Papa, Fresa, Frijol, Tomate, Café, Cacao, Aguacate, Chile o Cítricos. (Tema Fundamental).

La Demanda Específica debe ser debidamente dimensionada y acotada a través de la siguiente estructura:

Es importante aclarar que se espera apoyar un solo proyecto por demanda específica, ya que el Proyecto (multidisciplinario e interinstitucional) propuesto, debe cumplir con todos los productos esperados.

Demanda 1. Desarrollo de innovaciones tecnológicas para el manejo integral sustentable del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en México

I. Beneficiarios del Proyecto

Sector productivo, comercializadores, industrializadores, exportadores, Centros de Investigación e Instituciones de Educación Superior públicos y privados que se dediquen a la innovación, investigación y transferencia de tecnología en la cadena de valor del cultivo.

II. Antecedentes

El Cacao (*Theobroma cacao* L.), es una especie con una amplia distribución natural que se extiende desde la Amazonia Peruana hasta Mesoamérica. Prospera naturalmente en la sombra de las selvas lluviosas del Neotrópico. Es en Mesoamérica donde se cuenta con la mayor evidencia de la domesticación de esta especie, realizada a través de un sofisticado sistema agroforestal donde los grupos humanos lograron la domesticación no sólo de la especie de interés sino de la selva misma, logrando así un sistema diversificado de producción, aprovechamiento y conservación de las selvas lluviosas (Ogata *et al.*, 2006).

El principal país productor en el 2013 fue Costa de Marfil que produjo 1,448,992 toneladas, México ocupa el octavo lugar con una producción promedio de 27,844 toneladas. La industria chocolatera de México requiere el abasto de grano, lo cual se satisface con producción interna y con volúmenes importados de 11 países. Para el año 2015, el volumen de importaciones sumó 23,524 toneladas, con respecto a 140 toneladas de importación. A Estados Unidos se exporta 39.4 % del cacao producido, aunque también países europeos adquieren el grano mexicano. (Atlas agroalimentario, 2016.)

El sector cacaotero en México lo constituyen aproximadamente 47,624 familias distribuidas en 10 municipios de Tabasco y 28 municipios de Chiapas (Avendaño *et al.* 2011), sin dejar de considerar que en Guerrero también hay algunos municipios que aportan el 1 % de la producción nacional. De acuerdo con el SIAP (2016) en México se cultivan 61,562 hectáreas, que se distribuyen en un 66 % en Tabasco, 33 % en Chiapas y el 1 % restante en Guerrero. Para el 2016 en esta superficie se cosecharon 27 mil toneladas cuyo valor económico ascendió a 958 millones de pesos, esta producción se distribuyó en un 60 % en Tabasco, 39 % en Chiapas y un 1 % en Guerrero. Los rendimientos más bajos se reportan en Tabasco con 0.4 t ha^{-1} , en Chiapas con 0.56 t ha^{-1} , mientras que en Guerrero se reportan los rendimientos más altos con 0.93 t ha^{-1} (SIAP, 2016). El aporte que México hace a la producción mundial lo posiciona como el octavo mayor productor (SIAP, 2014). Sin embargo, en términos de calidad, el cacao mexicano es uno de los mejores, lo que recientemente permitió que el cacao de Tabasco lograra obtener la denominación de origen como “Cacao Grijalva” único en el mundo.

El aumento en la demanda por chocolates con mayores porcentajes de cacao requiere mayor producción de cacao aromático y de alta calidad (García-Alamilla *et al.*, 2002). Un 97% de la producción mundial de cacao está concentrada en diez países. África del oeste es la región que más provee de cacao, específicamente un cacao convencional y no fino de aroma (Hernández-Velez *et al.*, 2005).

En México la cadena de valor de cacao está perdiendo competitividad debido a la enfermedad conocida como “la moniliasis del cacao” que ha provocado la disminución de la productividad y rentabilidad del cultivo. Otro factor importante de la disminución de competitividad es la heterogeneidad de la calidad del grano y por último la falta de valorización de los atributos de calidad del potencial aromático de los granos de cacao, así como el escaso aprovechamiento de los subproductos del beneficiado del grano.

III. Problemática

En México, la producción de cacao ha disminuido en un 39 % entre el periodo de 2003 al 2014, al pasar de 44 mil toneladas en 2003 a 27 mil toneladas en 2014 (SIAP, 2014). Lo que ha afectado drásticamente la economía de las familias dedicadas al cultivo, así como los indicadores macroeconómicos de las entidades donde se produce esta semilla. Un problema mayúsculo asociado a esta caída en la producción, es la disminución de la superficie plantada, tan solo en el estado de Tabasco que es donde se concentra el 60 % de la producción nacional, la superficie pasó de 60,006 hectáreas en 2004 a 40,782 ha en 2014, es decir que en el periodo se perdió un 32 % de la superficie de este sistema agroforestal.

El Sistema Nacional de Investigación y Transferencia Tecnológica para el Desarrollo Rural Sustentable, a través de distintos foros y talleres nacionales, convocó a instituciones de investigación, universidades, organizaciones de productores e iniciativa privada involucrados en el sector cacaotero, con el objetivo de establecer las necesidades en materia de investigación, innovación y transferencia de tecnología en dicho cultivo, así como establecer vinculación con los actores para proponer soluciones a las necesidades planteadas. Las necesidades en común que se mencionaron que deben atenderse de manera inmediata son: escalamiento de la producción de fungicidas obtenidos a partir de extractos de plantas y productos minerales para el manejo de la moniliasis del cacao y mancha negra además de su validación en las diferentes zonas productoras de cacao en México; búsqueda, selección y multiplicación de cacaos criollos de alta calidad de aroma; resolver los problemas de plantaciones viejas e improductivas; determinación de zonas potenciales y de restricción para el cultivo de acuerdo a los niveles de propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo en diferentes condiciones edafoclimáticas; investigar sobre el valor nutricional, funcional y organoléptico de las especies de cacao mexicano para impulsar la producción y la venta en mercados especializados; caracterización/descripción para la protección y registro de especies, variedades y tipos de cacao nacional;

fortalecer la cadena de valor en temas de producción, fermentación y manejo postcosecha.

Si bien el grano de cacao mexicano es reconocido por su fuerte sabor y aroma a chocolate mismos que se deben a la genética de árboles en las plantaciones, no existe actualmente un estudio objetivo y documentado que permita dejar constancia de dicha calidad organoléptica para los genotipos de cacao que se cultivan actualmente a nivel nacional.

Actualmente existen plantaciones que contienen materiales de diferentes fondos genéticos, debido a cruzas y segregaciones de los materiales introducidos (López-Mendoza, 1987). Estos materiales se cosechan y fermentan mezclados, sin considerar el tiempo óptimo de fermentación el cual varía para cada fondo genético, esto es, 3 – 4 días se requieren para fermentar el cacao Criollo, mientras que se requieren de 6 – 8 para el Forastero/Trinitario (Cueto-Moreno y col. 2007). Al fermentarlos juntos es imposible evitar la producción de malos sabores desarrollados por sobrepasar el tiempo de fermentación del Criollo o se limita el desarrollo de buenos aromas del Forastero/Trinitario. Una fermentación no adecuada puede provocar aromas indeseables, acidez fuera de norma y contaminación de esporas.

Es importante que los granos fermentados cumplan con las normas internacionales de certificación de calidad como humedad, grado de fermentación, color, textura y peso, para tener mejores precios en el mercado.

IV. Logros y avances

Manejo de la enfermedad mancha negra (*Phytophthora palmivora*) y Moniliasis (*Moniliophthora roreri*).

La mancha negra causada por *Phytophthora* spp. ataca a todas las partes de la planta, pero el mayor daño lo sufren las mazorcas que pueden podrirse hasta al

100 %. La infección se inicia en la base del ápice del fruto con una mancha redonda de color café, cual aumenta de 2 a 5 cm por día. En cuanto a híbridos promisorios, actualmente se cuenta con 23 clones mejorados, denominados INIFAP, con potencial de alta productividad y resistentes a la mancha negra (*Phytophthora* spp.), así mismo, existen siete clones con resistencia moderada a moniliasis, producto de la cruce de los clones INIFAP con el clon UF273 (López *et al.*, 2011).

Desde el año 2003 el INIFAP puso a disposición cuatro genotipos de cacao para resistencia a mancha negra y de alto rendimiento (INIFAP 1, INIFAP 4, INIFAP 8, INIFAP 9), sin embargo, estos no son resistentes a la moniliasis.

La moniliasis constituye el principal problema fitosanitario que enfrenta la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Latinoamérica; su alta capacidad destructiva ocasiona grandes pérdidas económicas en los lugares donde está presente (Evans, 2007; Ploetz, 2007).

En México la enfermedad fue detectada por primera vez en marzo de 2005 en plantaciones del municipio de Pichucalco, Chiapas; de ahí se ha dispersado en las principales regiones productoras de Tabasco y Chiapas (García *et al.*, 2006; López *et al.*, 2006; Ramírez, 2008).

Desde su ingreso al país, ha provocado pérdidas considerables e incremento en los costos de la producción, la reducción de la rentabilidad del cultivo, el empobrecimiento de los productores, el abandono de las plantaciones, así como el deterioro ambiental debido al derribo de un gran número de las mismas (Ramírez, 2008).

La moniliasis se encuentra distribuida en zonas productoras del país, la susceptibilidad de todos los genotipos comerciales de cacao, su capacidad de sobrevivir en diferentes condiciones ambientales, su rápida dispersión representa una gran amenaza para los productores de México.

Las prácticas culturales han sido el método más utilizado para el combate de la moniliasis del cacao (Soberanis *et al.*, 1999). El uso de fungicidas ha sido una

práctica poco empleada, debido a las estrategias erráticas de evaluación de fungicidas y al precio fluctuante del cacao (Bateman *et al.*, 2005). También se han establecido programas para el desarrollo de material genético resistente (Phillips-Mora, Arciniegas-Leal, Mata-Quiros, & Motomajor-Arias, 2012); sin embargo, no se han obtenido progresos notables en la utilización comercial de clones con resistencia a la enfermedad.

Existen resultados en México sobre el manejo integrado de la principal enfermedad actual del cacao, la moniliasis (*Moniliophthora roreri*), mediante 1) la eliminación semanal de los frutos enfermos, 2) la poda de las ramas laterales e internas, 3) la reducción de altura de los árboles a 4 m, 4) la eliminación total de las frutas en el periodo de baja producción (purga), 5) el tratamiento de frutos eliminados y la cosecha con 15 % de urea, 6) una sola aplicación con Azoxistrobina (250 g de i.a. ha⁻¹) a los frutos menores de dos meses de edad, y después de ella, tres aspersiones mensuales con hidróxido de cobre (1,500 g de i.a./ha). Adicionalmente, se implementó el control de malas hierbas y la mejora del drenaje del suelo (Torres de la Cruz *et al.*, 2011).

En México, en el año 2014 se reportó la formación de 306 nuevos híbridos de cacao generados a partir de progenitores resistentes a la moniliasis y altamente productivos; y en el año 2006 se incorporaron 6 clones resistentes a moniliasis al banco de germoplasma del INIFAP en Tabasco. Es necesario incorporar este carácter de resistencia a genotipos con alto rendimiento y adaptación regional a través de cruzamientos (Azpeitia, 2009).

El control biológico como opción para el manejo integrado de plagas es una de las soluciones más sustentables, de la cual se ha encontrado una alta eficiencia para el control de enfermedades de cacao, mediante el empleo de hongos parasíticos (Mejia *et al.*, 2008) antagonistas microbianos en el manejo integrado de la pudrición negra del fruto del cacao (*Phytophthora* spp.,). Se demostró que especies de *Trichoderma* inhiben el crecimiento de *Phytophthora* spp., tanto en condiciones *in vitro* como *in vivo*. Informan que aislaron y caracterizaron ocho

rizobacterias antagonistas de *P. palmivora* y que sus caldos libres de células, podrían ser utilizados como biofungicidas para controlar la pudrición negra del fruto en *T.cacao* (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2014).

Por lo tanto, en el manejo integrado de la enfermedad se deben contemplar las propiedades del suelo en su conjunto. Hojah da Silva (2013) menciona que el mejoramiento de las propiedades físicas en el cacaotal contribuye a lograr una reducción en la incidencia de esta enfermedad.

Los conocimientos de la calidad del suelo a través de indicadores de la fertilidad también contribuyen a mantener una producción sostenible de grano de cacao, ya que permite mejorar las estrategias de manejo de nutrientes en el suelo, aportando las cantidades óptimas de fertilizantes, así como advirtiendo el agotamiento de nutrientes en un futuro próximo, evitando así la infertilidad del suelo en el corto plazo (Njukeng y Baligar, 2016).

Específicamente la incidencia y severidad de la moniliasis causada por el hongo *Moniliophthora roreri*, se asocia estrechamente a las condiciones de humedad del suelo. Asimismo, conocer los niveles de los indicadores de la calidad del suelo, permitiría identificar la capacidad de uso para el cultivo de cacao, ya sea con fines de reordenamiento territorial o para el aprovechamiento de áreas potenciales para el cultivo. Por su parte, el desconocimiento de los niveles de la calidad del suelo de los cacaotales en México, limita la posibilidad de lograr con éxito la diversificación de la producción del cacaotal con otras especies maderables, frutales y ornamentales, ya que estas especies deben de introducirse según las condiciones edafoclimáticas del sistema, para lograr una adecuada adaptación y productividad.

Recursos genéticos y mejoramiento genético

En México, desde hace varios años se inició con un programa de mejoramiento genético en cacao mediante hibridación para resistencia a enfermedades, principalmente a mancha negra (*P. palmivora*) y moniliasis (*M. roreri*) (Solís *et al.*, 2015). De este programa se han obtenido clones de cacao tolerantes a mancha

negra y actualmente se encuentran en evaluación clones con tolerancia a moniliasis. Además, a través del mejoramiento participativo y con el objetivo principal de seleccionar árboles con cierta tolerancia a la moniliasis, y con la participación directa de los productores se están evaluando clones de cacao con cierta tolerancia a moniliasis en el Soconusco, Chiapas (Avendaño *et al.*, 2013).

Además, se han introducido del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica, seis clones tolerantes a moniliasis para su evaluación y validación en México, además como fuente de germoplasma para el programa hibridación para la obtención de materiales tolerantes a moniliasis para México.

El banco de germoplasma del Campo Experimental Huimanguillo, cuenta con 91 accesiones de cacao, de los cuales el 66 % proceden de colectas realizadas en México y el resto corresponde a accesiones introducidas del Banco Internacional del CATIE. Existen 30 accesiones de cacao trinitario y criollos procedentes de Yucatán, Veracruz, Chiapas y Tabasco los cuales se caracterizan por presentar cotiledones blancos (López-Andrade *et al.*, 2011).

Se cuenta con 23 clones mejorados, denominados INIFAP, con potencial de alta productividad y resistentes a la mancha negra (*Phytophthora* spp.), así mismo, existen siete clones con resistencia moderada a moniliasis, producto de la cruce de clones INIFAP con el clon UF273 (López-Andrade *et al.*, 2011).

En la actualidad existen genotipos reportados como resistentes a la "moniliasis" como: ICS 95 (Trinidad y Tobago), UF 273 (Costa Rica), PA 169 (Perú), EET 233 (Ecuador) y EET 183 (Ecuador) (Phillis-Mora *et al.*, 2009). Estos materiales fueron introducidos por el INIFAP en el año 2006 a México (Azpeitia *et al.*, 2008; Azpeitia *et al.* 2009) y han mostrado producción de 0.7 kg de grano seco por árbol para el clon PA 169, 1 Kg para el clon UF 273 y 1.5 Kg en el clon ICS 95. Sin embargo, los genotipos ICS 95 y UF 273 presentaron resistencia con cero frutos enfermos

de moniliasis y el PA 169 mostró moderada resistencia (Ramírez-Guillermo *et al.*, 2012).

En trabajos desarrollados por el INIFAP con genotipos tolerantes a la moniliasis utilizando como progenitores paternos los genotipos UF 273, PA 169 e ICS 95 y progenitoras maternas de alto rendimiento denominados INIFAP 1, INIFAP 8 e INIFAP C ha permitido obtener 63 familias diferentes, descendientes de 23 cruza diferentes (Barron *et al.*, 2014). En la actualidad se cuenta con una evaluación de 600 híbridos promisorios. De este grupo de híbridos se cuenta con una selección de ocho híbridos con resistencia del 90 al 100 %, mismos que deberán ser multiplicados y validados en parcelas de productores.

Desarrollo de protocolos para embriogénesis somática de cacao en genotipos mexicanos: en la actualidad los productores necesitan genotipos con alto rendimiento y con resistencia a enfermedades principalmente. La selección de genotipos con estas cualidades representa un componente integral de la estrategia para mejorar la producción (Minyaka, 2008).

Éste cultivo se puede propagar por semillas y a través de partes vegetativas como estacas, acodos e injertos. Sin embargo, con el desarrollo de la biotecnología dirigida hacia la clonación de plantas, el desarrollo de la embriogénesis somática para la reproducción de plantas aplicado a cacao hace vislumbrar la obtención de genotipos seleccionados en grandes cantidades y en menor tiempo. Los avances obtenidos hasta hoy en día muestran la posibilidad de obtener un protocolo para la propagación de cacao por embriogénesis somática, de acuerdo a los resultados de Alejandro-Lazaro *et al.*, 2015.

Los resultados mostraron que los fragmentos de cotiledón procedentes de embriones somáticos primarios cultivados sin fitohormonas favorece la embriogénesis somática, obteniendo un promedio de seis embriones somáticos secundarios a los 210 días de cultivo contra uno para el tratamiento suplementado

con fitohormonas. La exclusión del 2,4-D y el thidiazuron no son importantes para inducir la embriogénesis somática secundaria en cacao. Recientemente, Peña (2016) reporta un protocolo para la multiplicación in vitro de embriones somáticos secundarios de cacao (INIFAP 1) a partir de un sistema de inmersión temporal en medio líquido sin fitohormonas, logrando cuantificar una media de 15 embriones somáticos secundarios por cada embrión somático primario cultivado.

Transformación y comercialización del cacao a pequeña escala.

El beneficio es determinante de la calidad del grano (Cubillos y col. 2008), donde el aroma de cacao depende de manera crucial de la variedad, tiempo de cosecha, tratamiento de pre-fermentación, fermentación, secado y tostado (Afoakwa y col. 2008). Caligiani y col. (2014) utilizaron por primera vez la técnica de RMN-H para estudiar el perfil metabólico de los granos de cacao de diferentes variedades, origen y grado de fermentación. Observaron que el principal factor que tiene influencia en el perfil metabólico es el grado de fermentación. Todos estos factores afectan el perfil de compuestos volátiles y no-volátiles del cacao compuestos que definen la calidad final de los productos del cacao, como el chocolate (Afoakwa y col. 2008).

La última etapa de generación de compuestos volátiles, es el tostado, etapa donde se produce un gran número de estos compuestos sin menospreciar la importancia de la fermentación y el secado, etapas determinantes para la producción de los compuestos precursores del aroma (azúcares reductores, aminoácidos libres, péptidos, compuestos fenólicos, ácidos grasos, etc.). La fracción volátil del cacao tostado es generada por diferentes vías, una de ellas es la degradación de Strecker, vía la reacción de Maillard, en la cual a partir de los compuestos antes mencionados y en presencia de temperaturas altas y un pH ligeramente alcalino se obtienen compuestos volátiles de las familias de las pirazinas y aldehídos. Siendo las pirazinas uno de los grupos de compuestos más importantes del aroma a cacao tostado al participar con el 40 % del mismo (Bonvehí, 2005)

Se han estudiado diferentes variedades de cacao específicamente el efecto del proceso de beneficio (condiciones de fermentación, secado y tostado) sobre los compuestos precursores de los compuestos aromáticos (azúcares reductores, aminoácidos libres, péptidos, polifenoles, ácidos grasos, etc.) los cuales imprimen el aroma característico del cacao tostado (Cros, 2000; Bonvehí, 2005; Nazaruddin y col. 2005; Rodriguez Campos y col. 2011; Nazaruddin y col. 2006, Neimenak y col. 2006).

V. Propósito de la demanda

Desarrollo e implementación de tecnologías e innovaciones estratégicas para la reactivación del cultivo y la integración de la cadena de valor del cacao-chocolate en México.

VI. Objetivos

6.1 Objetivo General

Desarrollar e implementar tecnologías e innovaciones estratégicas para la reactivación del cultivo y la integración de la cadena de valor del cacao-chocolate en México.

6.2 Objetivos específicos

1. Generar, introducir, evaluar, validar y seleccionar los mejores clones con mayor rendimiento, calidad y resistencia a las principales enfermedades de cacao en México.

2. Diseñar, generar, evaluar, validar y adoptar métodos de propagación masiva (embriogénesis somática) de clones de cacao sobresalientes por su rendimiento, calidad y tolerancia a enfermedades.
3. Determinar los niveles de las propiedades químicas, físicas y biológicas de las diferentes zonas edafoclimáticas donde se cultiva cacao en México.
4. Definir las áreas de mayor potencialidad y restricción para el cultivo de cacao, de acuerdo a los niveles de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo en diferentes condiciones edafoclimáticas.
5. Identificar y caracterizar los hongos fitopatógenos que se encuentran actualmente en el cacao y evaluar agentes de biocontrol que inhiban las infecciones causadas por hongos fitopatógenos.
6. Desarrollo de un producto que sea utilizado por los productores del cacao como agente de biocontrol para el manejo de las infecciones por hongos fitopatógenos.
7. Realizar el diagnóstico del proceso de beneficio de cacao Criollo, Forastero y mezcla en Tabasco y Chiapas (este diagnóstico involucra el monitoreo del proceso de fermentación y secado, evaluando su perfil aromático, el tipo de consorcios microbianos y parámetros fisicoquímicos).
8. Desarrollar, evaluar, validar, adaptar y adoptar tecnologías e innovaciones para la agregación de valor de los productos y subproductos de cacao.
9. Definir los parámetros de calidad en el beneficio del cacao criollo, forastero y mezcla para validar la calidad de cada variedad.
10. Desarrollar un paquete tecnológico del proceso de Beneficio para mantener una calidad estandarizada de acuerdo a la variedad.
11. Realizar capacitación (a productores y técnicos), transferencia de tecnología y difusión, vinculada a las innovaciones tecnológicas disponibles y las generadas en el proyecto para incrementar la productividad y rentabilidad sustentable del cacao convencional y orgánico.

VII. Justificación

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2013-2018, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de mayo de 2013, establece en su objetivo 3.5: Hacer del desarrollo científico, tecnológico y la innovación, pilares para el progreso económico y social sostenible. Así mismo, el Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-2018, tiene como estrategia integral elevar la productividad para alcanzar el máximo potencial del sector agroalimentario y una visión estratégica que implica la construcción del nuevo rostro del campo, sustentado en un sector agroalimentario productivo, competitivo, rentable, sustentable y justo, que garantice la seguridad alimentaria del país y contribuya al desarrollo rural integral. Establece en el Objetivo 1 “Impulsar la productividad en el sector agroalimentario mediante inversión en capital físico, humano y tecnológico que garantice la seguridad alimentaria”, y en la Estrategia 1.1 “Orientar la investigación y el desarrollo tecnológico a generar innovaciones aplicadas al sector agroalimentario que eleven la productividad y competitividad”.

En congruencia con el PND y el PSDAPA; y en cumplimiento con lo establecido en el Art. 37 de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, el Sistema Nacional de Investigación y Transferencia Tecnológica para el Desarrollo Rural Sustentable (SNITT), como parte de sus funciones estratégicas, recabó información para identificar los temas estratégicos y transversales de investigación, que aporten a elevar la productividad de la producción pecuaria y la seguridad alimentaria del país, en cumplimiento a lo establecido en el PND, PSDAPA y el Anexo de Ejecución del Convenio del Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos SAGARPA-CONACYT 2017.

México es el centro de origen y domesticación del cacao y la cuna del chocolate (bebida de los dioses). Tradicionalmente era un país exportador de cacao. Actualmente importa grandes volúmenes de grano de muy mala calidad para complementar el abasto de la demanda interna nacional cuyo mercado interno ha resurgido con fuerza en los años recientes. La pérdida de la productividad de los

cacaotales amenaza con la reducción de la superficie cultivada, lo que tendría implicaciones ambientales y económicas severas por la riqueza ecológica de estos sistemas agroforestales.

VIII. Productos a entregar

1. Un documento con los protocolos que resulten de los estudios de control integrado de las enfermedades actuales (moniliasis y mancha negra) del cacao, con énfasis en el control cultural y microbiológico (antagonistas endofíticos), con evidencia de trámite para registro de protección intelectual.
2. Informe de resultados sobre la colección de microorganismos que actúen como agentes de biocontrol de hongos fitopatógenos del cacao, así como un estudio de efectividad biológica.
3. Producto biotecnológico para controlar las infecciones causadas por hongos fitopatógenos que afecten al cultivo, así como un documento referente a la propiedad intelectual.
4. Al menos un clon de cacao, con buen rendimiento y tolerancia a enfermedades (moniliasis y mancha negra), con evidencia de trámite para registro ante el SNICS.
5. Un documento con los resultados de la introducción de al menos cinco clones de cacao con resistencia a moniliasis y al menos dos parcelas de evaluación de estos clones en diferentes zonas productoras del país, para su adaptación y posible adopción.
6. Un protocolo que contenga un desarrollo tecnológico o innovación para la propagación masiva de clones de cacao sobresalientes por su rendimiento, calidad y tolerancia a enfermedades, con su evidencia de trámite de propiedad intelectual.
7. Un documento con resultados de rescate y conservación de al menos diez genotipos de cacao criollo mexicano, que incluya su caracterización morfológica, bioquímica, molecular y evidencias de registro ante el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales.
8. Un documento con un protocolo de tecnología desarrollada (convencional y orgánica) para lograr alto rendimiento y calidad de grano en plantaciones de

- cacao, con evidencia de trámite para registro de protección intelectual.
9. Informe técnico que describa la calidad del suelo de los cacaotales a través del monitoreo de las propiedades físicas, químicas y biológicas de cada zona productora en México.
 10. Un informe que contenga mapas temáticos que registren los diferentes niveles de potencialidad y restricciones para el cultivo de cacao en Tabasco y Chiapas que permitan la planificación de la producción y el reordenamiento del territorio.
 11. Un documento informe de la colección de cepas microbianas involucradas en el proceso de fermentación de cacao que estarán en un banco de cepas disponibles para los productores que estarán bajo resguardo del sujeto de apoyo.
 12. Documento del diagnóstico detallado que contenga el perfil aromático de cada variedad (forastero, criollo y mezcla) de Tabasco y Chiapas.
 13. Un documento con las definiciones de parámetros de calidad, con una propuesta de paquete tecnológico para alcanzar y mantener los parámetros de calidad.
 14. Realizar al menos tres cursos de capacitación (a productores y técnicos) y transferencia de tecnología vinculada a las innovaciones tecnológicas disponibles y las generadas en el proyecto para incrementar la productividad y rentabilidad sustentable del cacao de las principales zonas productoras del país. En los talleres de capacitación y transferencia de tecnología deberán estar presentes representantes del Fondo Sectorial, productores y representantes del sector.
 15. Un portafolio de evidencias multimedia que incluya videos, fotografías, entrevistas, manuales gráficos, etc. de los resultados obtenidos en el proyecto enfocados en los productos a entregar.

IX. Literatura Citada

Alejandro Lázaro A., A. Azpeitia Morales, Sáenz Carbonell L. y F. Mirafuentes Hernández. 2014. Embriogénesis somática secundaria en el genotipo de cacao

(*Theobroma cacao* L.) INIFAP 1 y su descripción histológica. *Nova, scientia* 14 (7): 398 – 417.

Avendaño A.C.H., Villarreal F.J.M., Campos R.E., Gallardo M.R.A., Mendoza L.A., Aguirre M.J.F., Sandoval E.A. y Espinosa Z.S. 2011. Diagnóstico del cacao en México. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Avendaño-Arrazate, C.H., Mendoza-López A., Hernández-Gómez E., López-Guillén G., Martínez-Bolaños M., Caballero-Pérez J.F., Guillén-Díaz S., Espinosa-Zaragoza S. 2013. Mejoramiento genético participativo en cacao (*Theobroma cacao* L.). *Agroproductividad* 6(5):71-80.

Afoakwa EO, Paterson A, Fowler M, Ryan A (2008) Flavor formation and character in cocoa and chocolate: A critical review. *Crit. Rev. Food Sci and Nutr.* 48: 1-18

Azpeitia, M. A.; Mirafuentes, H. F.; López, A. P. A. y Castillo, G. R. 2009. Evaluación de genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) resistentes a “moniliasis” en el estado de Tabasco, México. *In: Memoria del PCCMCA. Campeche, México.* 128 p.

Azpeitia, M. A.; Mirafuentes, H. F.; López, A. P. A. y Castillo, G. R. 2009. Evaluación de genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) resistentes a “moniliasis” en el estado de Tabasco, México. *In: Memoria del PCCMCA. Campeche, México.* 128 p.

Bateman, R. P., Hidalgo, E., García, J., Arroyo, C., Ten Hoopen, G. M., Adonijah, V., & Krauss, U. (2005). Application of chemical and biological agents for the management of frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) in Costa Rican cocoa (*Theobroma cacao*). *Annals of Applied Biology*, 147(2), 129–138. doi: 10.1111/j.1744-7348.2005.00012.

Barrón G.Y.P., Azpeitia M. A., López A. P.A., Mirafuentes, H. F. 2014. Metodología adaptada para la formación de híbridos F1 de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tabasco. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 5, núm. 5, junio-agosto, 2014, pp. 765-777.

Bonhevi S. (2005). Investigation of aromatic compounds in roasted cocoa powder. Eur Food Res.Technol. 221:19–29.

Caligiani, A., Acquotti, D., Cirlini, M. and Palla, G. (2010) ¹H NMR study of fermented cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans. J Agric. Food Chem 58, 12105-12111.

Cueto-Moreno, J.; Aguirre-Medina, J. F.; Zamarripa-Colmenero, A.; Iracheta-Donjuan, L. y Olivera-De los Santos, A 2007. El mejoramiento del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México. 250 p

Cubillos G., Merizalde G., Correa E. (2008). Manual de beneficio del cacao. Secretaria de Agricultura de Antioquia. Compañía Nacional de Chocolates S.A., Corporación de Investigaciones Biológicas (CIB). Universidad de Antioquia.

Evans,H.C, 2007. Cacao diseases- The trilogy revisited. Phytopathology 97: 1640-1643.

García, H. C., J. R. Jiménez, M. C. Bautista & G. C. F. Ortiz. 2006. Impacto de la moniliasis en Cupilco, Comalcalco, Tabasco: percepción de los productores. XIX Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco, 2006. 16-17 de noviembre de 2006. Villahermosa, México.

García-Alamilla, P., Morales-Cruz, R., García-Alvarado, M.A; Urrieta-Saltijeral, J.M. 2002. Perfiles de concentración interna de acidez volátil a través de la fermentación de cacao. XII Reunión Científica del INIFAP Tabasco. p 123- 132.

Hernández-Rodríguez A., Ruíz-Beltrán Y., Acebo-Guerrero Y., Miguélez-Sierral Y. y Heydrich-Pérez, M. Antagonistas microbianos para el manejo de la pudrición negra del fruto en *Theobroma cacao* L. Estado actual y perspectivas de uso en Cuba. Rev. Protección Veg. Vol. 29 No. 1 (2014): 11-19.

Hernández-Velez R.M., Rodríguez C. M. De León A. F. y Urrieta-Saltijeral J.M. 2005. Caracterización de la flora microbiana presente durante el proceso de fermentación del cacao tabasqueño mediante identificación molecular. XVIII Reunión científica-tecnológica forestal y agropecuaria Tabasco. Vol 1. ISSN 1405-1591p 215-218.

Krauss, U., & Soberanis, W. (2001). Biocontrol of cocoa pod diseases with mycoparasite mixtures. *Biological Control*, 22(2), 149–158. doi: 10.1006/bcon.2001.0956.

López-Mendoza 1987. El cacao en Tabasco. Colección Cuadernos Universitarios. Serie agronomía No.13. Universidad Autónoma de Chapingo.

López, B. O. & G. S. I. Ramírez. 2006. La selección participativa y la conservación de la biodiversidad en los agroecosistemas. pp. 40. En: López, B. O., G. S. I.

Ramírez, G. M. Ramírez, B. O. López, M. O. González, G. S. I. Ramírez, R. V. Lee, G. M. B. Ramírez, G. A. Alvarado, V. M. Gehrke. 2006. Diagnóstico y técnicas para el manejo de la moniliasis del cacao. Unach-UPTC-Fundación Produce Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, México.

López-Andrade, P. A., Ramírez-Guillermo, M. A. y Hernández-Hernández, C. 2011a. El banco de germoplasma de cacao *Theobroma cacao* L. para el estudio y conservación de los recursos genéticos de Tabasco, México. 2º Congreso

Internacional de Agronomía Tropical y 3° Simposio Nacional Agroalimentario. Pp 72.

Mejia LC, Rojas EI, Maynard Z, Van Bael S, Arnold AE, Hebbbar P, Samuels GJ, Robbins N, Herre EA. 2008. Endophytic fungi as biocontrol agents of *Theobroma cacao* pathogens. *Biol Control*. 46(1):4-14.

Minyaka, E; Niemenak, N; Koffi, E; Issali, E; Omokolo, D. 2008. Sulphate supply promotes somatic embryogenesis in *Theobroma cacao* L. *Journal of biological Sciences* 8. University of Yaounde I. Yaounde, Cameroon. 306-313 p.

Nazaruddin R, Hassan O, Said M, Samsudin W, Idris NA (2005) Influence of roasting conditions on volatile flavor of roasted Malaysian cocoa beans. *J. Food Process Preserv.* 30: 280-298.

Neimenak R, Seng L, Hassan O, Said M (2006) Effect of pulp preconditioning on the content of polyphenols in cocoa beans (*Theobroma cacao*) during fermentation. *Ind. Crops Prod.* 24: 87-94.

Njukeng Nkengafac Jetro y Baligar Virupax C. 2016. Soil Physical and Chemical Properties of Cacao Farms in the South Western Region of Cameroon. *International Journal of Plant & Soil Science* 11 (6): 1-10.

Ogata, N., A. Gómez-Pompa & K. Taube. 2006. The Domestication of cacao in the Neotropics. In: McNeil, C. L. 2006. *Chocolate in Mesoamerica: A cultural history of Cacao*. University Press of Florida.

Peña López J. L., Azpeitia Morales A. Mirafuentes Hernández F., Ruíz Carrera V., Sáenz Carbonell L. 2016. Incremento de embriones somáticos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en sistema de inmersión automático. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 3 (8): 215-224.

Phillips-Mora, W., Arciniegas-Leal, A., Mata-Quiros, A., & Motomajor-Arias, J. C. (2012). *Catálogo de clones de cacao*. Turrialba, Costa Rica: CATIE.

Ploetz, R.C.2007.Cacao diseases: Important threats to chocolate production worldwide.*Phytopathology* 97: 1634-1639.

Ramírez, G. S. I. 2008. La moniliasis un desafío para lograr la sostenibilidad del sistema cacao en México. *Tecnología en marcha (Costa Rica)* 21(1): 97-110.

Requena P. J. M. 2012. Aplicación Gastronómica del cacao y sus principales derivados, coberturas y chocolates. *Revista Digital Innovación y Experiencias Educativas*. Número 56. Agosto de 2012. Colegio San José Campillos, Málaga. España.

Soberanis, W., Ríos, R., Arévalo, E., Zúñiga, L., Cabezas, O., & Krauss, U. (1999). Increased frequency of phytosanitary pod removal in cacao (*Theobroma cacao*) increases yield economically in eastern Peru. *Crop Protection*, 18, 677–685. doi: 10.1016/S0261-2194(99)00073-3.

Torres de la Cruz, M., Ortiz G. C. F., Téliz O. D., Mora, A. A. and Nava, D. C. 2011. Progreso temporal y manejo integrado de moniliasis frosty pod rot (*Moniliophthora roreri*) de cacao en Tabasco, Mexico. *Journal of Plant Pathology* (2011), 93 (1), 31-36 *Edizioni ETS Pisa*.

Contacto para consultas técnicas sobre la demanda:

Ing. Sergio Tapia Medina

Director General de Productividad y Desarrollo Tecnológico, SAGARPA

Correo Electrónico: sergio.tapia@sagarpa.gob.mx

M.C. Quetzalcoatl Uribe Ortega

Director de Insumos para la Producción, SAGARPA

Correo Electrónico: quetzalcoatl.uribe@sagarpa.gob.mx

Demanda 2: Diagnóstico y generación de tecnología para el manejo fitosanitario sustentable del cultivo de yaca (*Artocarpus heterophyllus*) en México.

I. Beneficiarios

Productores, agentes técnicos y autoridades de sanidad vegetal, consumidores y comercializadores de las principales zonas productoras de yaca en México.

II. Antecedentes

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2013-2018 (DOF, 2013) establece, entre otras acciones, la estrategia transversal “Democratizar la Productividad” mediante actividades que eliminen los obstáculos que limitan el potencial productivo de los ciudadanos y hagan más eficiente el uso de los recursos productivos. Este PND señala que para elevar la productividad se requiere generar y transferir tecnología. El objetivo 2 del PND establece elevar la productividad de los productores y empresas del país mediante la evaluación, promoción y adopción de nuevas tecnologías. En la consulta pública de la SAGARPA para transformar al campo derivada del encuentro con organizaciones nacionales el 5 de marzo del 2014 en Manzanillo, Colima, las propuestas con mayor frecuencia fueron, entre otras: evaluación y transferencia de tecnología para el manejo fitosanitario de los cultivos. Por otro lado, el plan estratégico (2013-2015) de la Organización Norteamericana para la Protección de la Plantas (NAPPO-siglas en Inglés), de la cual forma parte México, indica la necesidad de fortalecer y promover las actividades de protección fitosanitaria con las asociaciones y organizaciones de investigación para identificar las necesidades técnicas y científicas que apoyen las actividades de la NAPPO.

La yaca pertenece a la familia Moraceae y es originaria de India (León, 1968).

El cultivo de la yaca está adaptado al clima tropical, se desarrolla perfectamente en clima subtropical húmedo y subhúmedo, el crecimiento y la producción óptima

se obtienen en las áreas que poseen temperaturas cálidas durante todo el año. Crece a diferentes alturas, desde el nivel del mar hasta 1524 m de elevación. Se cultiva principalmente en India, Myanmar, Sri Lanka, Sur de China, Malasia, Vietnam, Indonesia y Filipinas (Singh, 2015).

El árbol produce uno de los frutos más grandes del mundo y es altamente productivo, lo que ha despertado el interés de los investigadores y productores. Entre las características que lo hacen atractivo son su relativa precocidad, pues empieza a producir entre el segundo y tercer años después de ser trasplantado. En México su cultivo es relativamente nuevo pues se introdujo en la década de los 80's y su interés nacional e internacional ha aumentado significativamente por sus propiedades organolépticas y nutritivas. En México se consume principalmente la pulpa en fresco o en elaboración de helados, licuados y otros; no obstante, en otros mercados como el de exportación se consume también la semilla y fibra.

El contenido de carbohidratos y proteína en las semillas es de 38.4 % y 6.6 %, respectivamente, mientras que en la pulpa es de 23.4 % y 0.6 %, siendo rica en carbohidratos es usualmente utilizada como una fuente importante de energía, contiene también minerales como fósforo, hierro, potasio, vitamina A y C, manganeso, aminoácidos y otros nutrientes que actúan como anticancerígenos e hipertensivos (Singh, 2015). La mayor parte de la producción en México se exporta a los Estados Unidos de América (Ulloa *et al.*, 2007) con gran aceptación por los consumidores, principalmente por los de origen asiático. En México se cultivan alrededor de 1,250 ha, cifra que ha ido en constante aumento al iniciar su cultivo en distintos estados del país, principalmente Nayarit, Jalisco, Colima, Sinaloa y Veracruz. En los últimos 5 años la superficie de cultivo de yaca ha crecido poco más de 60 % al pasar de 797 ha en 2011 a 1,248 ha en el 2015.

El rendimiento promedio es de 15.8 toneladas por hectárea, con un precio medio rural de 6,117 pesos por tonelada, el valor total de la producción se estima en alrededor de 103 millones de pesos (SIAP, 2015).

El proceso de producción a cosecha y empaque se realiza con base en experiencias empíricas de técnicos y productores, no obstante, su alta rentabilidad ha favorecido la generación de mano de obra e incrementado la actividad económica de los municipios donde se cultiva. La producción de yaca en México es una ventana de oportunidad para los productores de zonas tropicales al diversificar su producción con frutales cuyo valor en los mercados internacionales ha ido incrementándose sustancialmente, al ser un producto poco conocido y de reciente introducción no existen grandes zonas productoras, lo que hace que alcance precios atractivos en esos mercados.

También por ser un cultivo de reciente introducción en México, se ha realizado poca investigación en relación a prácticas agronómicas, enfermedades y plagas y en consecuencia se tiene escaso desarrollo y transferencia de tecnología. Por otro lado, los programas de manejo de plagas deben ser selectivos e integrarse al sistema de producción, compatibles con principios ecológicos, todo ello con aplicación de tecnología en forma combinada: estudios ecológicos de plagas, control químico y biológico, conocimiento de biología y hábitos de la plaga objetivo, sostenibilidad del cultivo y prácticas agronómicas.

III. Problemática

En el proceso de producción de yaca en México se presentan varios factores que afectan la calidad y rendimiento, entre los principales se encuentran los hongos en pre y postcosecha, ácaros e insectos plaga. En Nayarit se cultiva más del 80 % de la superficie nacional de yaca, en el cual se introdujo como un cultivo alternativo a frutos tradicionales que en la actualidad tienen menor rentabilidad (Luna *et al.*, 2013). Aún cuando el crecimiento de la superficie de yaca ha sido constante al establecerse parcelas no solo en Nayarit, sino también en Colima, Jalisco y Veracruz y al poco tiempo del cultivo en México, existen pocos trabajos de investigación en relación a su manejo agronómico, enfermedades y plagas, manejo postcosecha; en consecuencia se tiene escaso desarrollo y transferencia

de tecnología, lo anterior se refleja en que una gran parte de la producción no cumpla con los estándares de calidad, y el surgimiento de problemas en la comercialización por las recientes alertas de contaminantes por plaguicidas emitidas por el Departamento de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) a los plaguicidas malation, captan, tiabendazol y cipermetrina (http://www.accessdata.fda.gov/cms_ia/importalert_258.html).

Estas alertas de contaminantes implican, entre otras cosas, que los frutos enlistados pueden ser detenidos sin un muestreo físico, pérdida del producto al ser detenido y obligado a destruirlo, también obliga al propietario del embarque a analizar muestras en laboratorio para evidenciar que su producto está libre de contaminantes, lo cual genera mayores gastos en la exportación. Para que el producto quede exento de este listado emitido por el FDA, el productor o exportador debe comprobar que ha realizado las enmiendas que garanticen que su producto va libre de contaminantes por plaguicidas.

Como insectos plaga de la yaca se reportan perforadores de tallo y ramas, pulgones y escamas (*Diaphania caesalis*, *Toxoptera aurantii* y *Ochyromera artocarpio*), en India la principal plaga es la larva del barrenador *Diaphania caesalis*, se han reportado piojos harinosos como plagas secundarias; las enfermedades de importancia en el cultivo incluyen la enfermedad rosada causada por *Pellicularia salmonicolor*, la pudrición del tallo, fruto e inflorescencia las cuales son ocasionadas por *Rhizopus artocarp*, la mancha foliar se presenta por *Phomopsis artocarp* y *Colletrotrichum orbiculare* (Ghosal *et al.*, 2011). En México, se han observado insectos y ácaros que dañan el follaje, ramas y frutos. Insectos del orden Hemiptera y Coleoptera y ácaros como araña roja ocurren cada vez con mayor frecuencia.

En la mayoría de los casos se desconocen aspectos básicos para su manejo como son: identificación a nivel específico, biología, hábitos y métodos de control. Ante estos problemas, los productores realizan aplicaciones de plaguicidas de

amplio espectro sin una base técnica que indique, entre otras cosas, el momento y las dosis óptimas para ejercer mayor control. Problemas como contaminación de mantos acuíferos, efectos a organismos benéficos, toxicidad al cultivo, pueden ser sólo algunos efectos colaterales cuando no se cuenta con el sustento técnico-científico para el control de plagas y enfermedades con el uso de plaguicidas.

IV. Logros y avances

En general, los estudios realizados sobre yaca en nuestro país, han sido dirigidos a la fisiología postcosecha y composición química del fruto. Se ha estudiado el efecto del 1-metilciclopropeno sobre el perfil aromático del fruto de yaca (Núñez *et al.*, 2006) y sobre la fisiología y calidad de los frutos, además de la prolongación de la vida de anaquel (Mata *et al.*, 2007).

La yaca se introdujo a México en la década de 1980, al ser un cultivo exótico de reciente introducción, poco se ha realizado de investigación en relación a su manejo agronómico, proceso de producción y manejo postcosecha, en temas como enfermedades, plagas y su manejo integrado el conocimiento es aún escaso. Como plagas en Nayarit y Colima se han observado daños por araña roja (*Tetranychus urticae*), chinche café (*Piezogaster* sp.), chinche de encaje, barrenadores de ramas y pulgones. En frutos de postcosecha, en Nayarit Ragazzo *et al.*, (2011) identificaron al patógeno *Aspergillus niger*, además de estos se han observado *Colletotrichum* sp. *Penicillium* sp. y *Rizophus* sp. los cuales afectan frutos en empaque y cuya falta de identificación a nivel específico y evaluación de métodos de control dificulta su adecuado manejo. Es perfectamente natural que, al incrementarse la superficie de un cultivo, se incrementen de igual manera los agentes patógenos, insectos plaga, organismos benéficos y demás organismos que conforman el sistema biológico de ese cultivo. Ante estos cambios, principalmente de plagas y enfermedades, el productor tiende a realizar aplicaciones de plaguicidas sin un sustento técnico-científico, con las consecuencias que esto origina.

V. Propósito de la demanda

Generar y transferir tecnología para el manejo fitosanitario sustentable del cultivo de yaca en México y contribuir en el incremento de la calidad y rendimiento de la producción.

VI. Objetivos

6.1 Objetivo general

Generación y transferencia de tecnología para la producción sustentable y el incremento de la productividad del cultivo de yaca en México.

6.2 Objetivos particulares

- Identificación y generación de base de datos de insectos y ácaros plaga, enfermedades bióticas, fluctuación poblacional de estas y su relación con factores climáticos en el cultivo de yaca.
- Evaluación de prácticas agronómicas que contribuyan a disminuir el ataque de plagas y enfermedades al cultivo de yaca e incrementen su rendimiento y calidad.
- Evaluación y determinación de las dosis óptimas de plaguicidas de origen biológico-orgánico y químico con la mayor eficacia biológica para las principales plagas y enfermedades que dañan al cultivo de yaca en México.
- Determinación de líneas de degradación y residualidad en frutos de postcosecha de los plaguicidas con mayor eficacia para el control de plagas y enfermedades de yaca.
- Diseño y evaluación de tratamientos postcosecha para incrementar la vida de anaquel de los frutos de yaca.

- Capacitación y transferencia de tecnología a técnicos y productores en el manejo fitosanitario del cultivo de yaca.

VII. Justificación

El objetivo 2 del Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2013-2018 (DOF, 2013) establece elevar la productividad de los productores y empresas del país mediante la evaluación, promoción y adopción de nuevas tecnologías. Además, en el objetivo 3.5 menciona *Hacer del desarrollo científico, tecnológico y la innovación, pilares para el progreso económico y social sostenible*.

Con base en el PND, el Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario (PSDAPA) 2013-2018, tiene como estrategia integral elevar la productividad para alcanzar el máximo potencial del sector agroalimentario y una visión estratégica que implica la construcción del nuevo rostro del campo, sustentado en un sector agroalimentario productivo, competitivo, rentable, sustentable y justo, que garantice la seguridad alimentaria del país y contribuya al desarrollo rural integral; este programa establece, en el objetivo 1 “Impulsar la productividad en el sector agroalimentario mediante inversión en capital físico, humano y tecnológico que garantice la seguridad alimentaria”, menciona también orientar *la investigación y el desarrollo tecnológico a generar innovaciones aplicadas al sector agroalimentario que eleven la productividad y competitividad* en la Línea de Acción 1.1.1. incluye la *Implementación de investigación y desarrollo tecnológico aplicado en proyectos de desarrollo rural sustentable a través del Sistema Nacional de Investigación y Transferencia Tecnológica para el Desarrollo Rural Sustentable (SNITT)*.

De los cultivos del género *Artocarpus*, la yaca es el cultivo más importante desarrollado en las regiones tropicales. En México su cultivo es relativamente nuevo y su interés internacional ha aumentado recientemente por sus propiedades organolépticas y nutritivas, que hace que sea un éxito comercial en muchos

países, especialmente en los Estados Unidos de América en los consumidores de origen asiático. En México, la yaca se introdujo en la década de los 80's, desde ese tiempo se ha observado un gran aumento en la superficie cultivada, la mayoría de la producción se exporta a los Estados Unidos de América (Ulloa *et al.*, 2007). En México se cultivan alrededor de 1,250 ha, cifra que ha ido en constante aumento al iniciar su establecimiento en distintos estados del país, principalmente Nayarit, Jalisco, Colima, Sinaloa y Veracruz. En los últimos 5 años la superficie de cultivo de yaca ha crecido poco más de 60 % al pasar de 797 ha en 2011 a 1248 ha en el 2015. El rendimiento promedio es de 15.8 toneladas por hectárea, con un precio medio rural de 6,117 pesos por tonelada, el valor total de la producción se estima en alrededor de 103 millones de pesos (SIAP, 2015).

En el proceso de producción se presentan varios factores que afectan la calidad y rendimiento, entre los principales se encuentran los hongos (Ragazzo *et al.*, 2011), ácaros e insectos plaga. Al ser un cultivo de reciente introducción y menor superficie en México, poco se ha realizado de investigación y transferencia de tecnología en relación al manejo agronómico del cultivo, enfermedades y plagas, lo anterior repercute en que una gran parte de la producción no cumpla con los estándares de calidad plaguicidas, como ha ocurrido por las alertas de contaminantes por plaguicidas emitidas por el Departamento de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos en los últimos meses a los plaguicidas malation, captan, tiabendazol y cipermetrina.

Entre algunos problemas de plagas y enfermedades se reportan perforadores de tallo y ramas, pulgones y escamas (*Diaphania caesalis*, *Toxoptera aurantii* y *Ochyromera artocarpio*), en India la principal plaga es la larva del barrenador *Diaphania caesalis*, se han reportado piojos harinosos como plagas secundarias; las enfermedades de importancia en el cultivo incluyen la enfermedad rosada causada por *Pellicularia salmonicolor*, la pudrición del tallo, fruto e inflorescencia las cuales son ocasionadas por *Rhizopus artocarp*, la mancha foliar se presenta por *Phomopsis artocarp* y *Colletrotrichum orbiculare* (Ghosal *et al.*, 2011). Por otro lado, los programas de manejo de plagas deben ser selectivos e integrarse al sistema de producción, compatibles con principios ecológicos, todo ello con

aplicación de tecnología en forma combinada: estudios ecológicos de plagas, control químico y biológico, conocimiento de biología y hábitos de la plaga objetivo, sostenibilidad del cultivo y prácticas agronómicas.

Es importante destacar que existe muy poca información agronómica sobre el cultivo de yaca en México, por lo que la información generada en este proyecto sentará las bases para un mejor manejo fitosanitario e implementación de prácticas agrícolas que mejoren su calidad e incrementen los rendimientos, todo desde una visión de respeto por el medio ambiente.

VIII. Productos a entregar

1. Paquete tecnológico sobre el manejo integrado de plagas y enfermedades del cultivo de yaca en México, así como evidencias de trámite para registro de propiedad intelectual.
2. Documento que contenga una base de datos de plagas y enfermedades con información georreferenciada en el cultivo de yaca, dinámica poblacional y su relación con factores climáticos.
3. Documento informe que contenga un listado de productos biológicos-orgánicos y químicos con la mayor efectividad biológica y líneas de degradación de residuos en postcosecha. Los productos evaluados deberán contar con registro ante la autoridad correspondiente en México en al menos un frutal tropical que se cultive en regiones similares donde se produzca la yaca.
4. Documento con resultados relacionado a la determinación de residuos de plaguicidas evaluados con la mayor efectividad biológica. Los estudios deberán realizarse con el uso de técnicas reconocidas y acreditadas ante las instancias correspondientes nacionales e internacionales para la determinación de plaguicidas. Deberá, asimismo, seguir metodologías

reconocidas ante organismos nacionales e internacionales para estudios de campo y evaluación de efectividad biológica de plaguicidas.

5. Tres módulos demostrativos (parcelas con productores cooperantes) para capacitación de técnicos y productores en el manejo de plagas y enfermedades del cultivo de yaca.
6. Manual técnico que contenga un informe de resultados referente a técnicas de tratamiento postcosecha que incrementen la vida de anaquel de los productos con evidencia de trámite para registro en propiedad intelectual.
7. Documento que contenga un manual de prácticas agronómicas que contribuyan al manejo fitosanitario del cultivo de yaca en México, con evidencia de trámite para registro de propiedad intelectual.
8. Realizar al menos tres cursos de capacitación y transferencia de tecnología a productores, técnicos y personas afines, vinculada a las innovaciones tecnológicas disponibles y las generadas en el proyecto para incrementar la productividad y rentabilidad sustentable del cultivo de las principales zonas productoras del país, en los talleres de capacitación y transferencia de tecnología deberán estar presentes representantes del Fondo Sectorial, productores y representantes del sector.
9. Un portafolio de evidencias multimedia que incluya videos, fotografías, entrevistas, manuales gráficos, etc. de los resultados obtenidos en el proyecto enfocados en los productos a entregar.

IX. Literatura consultada

- Ghosal, A., D. Manna and P. Kundu. 2011. Identification and management of insect pests and diseases of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) - a documentation. Proceedings of the International Symposium on Minor Fruits and Medicinal Plants for Health and Ecological Security (ISMF & MP), West Bengal, India, 19-22 December, 2011.
- León, J. 1968. Fundamentos botánicos de los cultivos tropicales. Número 18 de Textos y Materiales de Enseñanza. IICA. Venezuela. 487 p.
- Luna, E. G., G. Alejo S., L. G. Ramirez G. Ma. de L. Arevalo G. 2013. La yaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), un fruto de exportación. Agroproductividad 6(5): 65-70.
- Mata, M. de Oca, M., J. A. Osuna. G., A. Hernández E., M. Ochoa V., B. Tovar G. 2007. Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) sobre la fisiología y calidad de frutos de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). Revista Chapingo Serie Horticultura 13: 165-170.
- Núñez, P. R., M. Calderón S., J. A. Ragazzo S. 2006. Acción del 1-metilciclopropeno sobre el perfil aromático del fruto de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam.). IV congreso internacional XV congreso nacional de Ingeniería Bioquímica. 9 p.
- SIAP. 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp
- Singh J., Chauhan P.S., Kavita A., Bhatnagar, P. and Meena R.R. 2015. Jackfruit : A food of promise. *HortFlora Res. Spectrum*, 4(3) : 277-281.
- Ulloa, J. A., Rosas Ulloa, P., Flores, J. R., Ulloa Rangel, B.E., Escalona, H. 2007. Comportamiento del color en bulbos del fruto de la jaca (*Artocarpus heterophyllus*) auto estabilizados en frascos de vidrio por la tecnología de obstáculos Ciencia y Tecnología Alimentaria. En línea:

en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72450508>> ISSN 1135-8122.

Fecha de consulta: 12 de agosto de 2015.

Contacto para consultas técnicas sobre la demanda:

Ing. Sergio Tapia Medina

Director General de Productividad y Desarrollo Tecnológico, SAGARPA

Correo Electrónico: sergio.tapia@sagarpa.gob.mx

M.C. Quetzalcoatl Uribe Ortega

Director de Insumos para la Producción, SAGARPA

Correo Electrónico: quetzalcoatl.uribe@sagarpa.gob.mx

Demanda 3. Desarrollo y transferencia de pruebas diagnósticas para fuentes de aborto infeccioso causados por *Chlamydia* spp., *Brucella melitensis*, *Leptospira* spp., *Coxiella burnetii* o lentivirus en Ovinos y Caprinos.

I. Beneficiarios

Productores de caprinos, de ovinos y laboratorios de diagnóstico a nivel nacional.

II. Antecedentes

En el 2010 existían alrededor de 494,000 unidades de producción caprina y aproximadamente 1.5 millones de familias mexicanas dependían de esta actividad productiva de forma primaria o secundaria; por otro lado, las cifras preliminares de la población caprina del año 2014 arrojan un número de 8'687,814 cabezas en el país. Las limitaciones a las que se enfrentan las unidades de producción caprina son el bajo ingreso económico dado principalmente por el precio de la leche, del cabrito y la falta de atención sanitaria (Cuellar *et al.*, 2012; SIAP, 2014).

La población ovina en 2012 era de 8'405,902 cabezas, produciendo 58,000 toneladas de carne; el mercado preponderante en México es el uso de la carne para la preparación de barbacoa (Cuellar *et al.*, 2012; SIAP, 2014).

En el aspecto sanitario, las enfermedades de los caprinos y de los ovinos en los últimos años han tenido un aumento significativo, sin embargo actualmente son dos las afecciones sanitarias de origen infeccioso las que más preocupan a los sistemas de producción ovino-caprino nacional, la primera de ellas es la clamidiasis que es definida como una enfermedad causada por una bacteria intracelular obligada llamada *Chlamydia abortus*, esta enfermedad está frecuentemente relacionada con cuadros abortivos y con algunas otras afecciones que disminuyen la productividad de los rebaños; la segunda de ellas es la infección por lentivirus de los pequeños rumiantes (LvPR), que causa la artritis encefalitis caprina (AEC) y la infección en ovinos conocida como Maedi-Visna,

ambas enfermedades consideradas como cuadros crónico-degenerativos que están frecuentemente asociados a sistemas de producción intensivos y que una vez establecidas en el rebaño, limitan la comercialización y mayor productividad de los animales, además de dificultar la implementación de medidas de control y erradicación a corto plazo.

III. Problemática

Después de haber transcurrido más de 20 años de que se aislara por primera vez en nuestro país la *Chlamydia* en pequeños rumiantes, se aceptó la existencia de la clamidiasis animal en México a partir de mayo del 2016 pasando de ser una enfermedad exótica a una enfermedad endémica. El hecho de no reconocer la enfermedad propició el retraso para contar con las herramientas de diagnóstico y de prevención necesarias para su control, lo que ocasionó la diseminación de la clamidiasis en nuestro país.

Actualmente, la infección por lentivirus se ha convertido en un problema recurrente en las regiones productoras de ovinos y caprinos, con las subsecuentes pérdidas económicas que esto implica. Además, limita el comercio nacional e internacional. Ejemplo de este último, fueron las pérdidas económicas de aproximadamente 3 millones de pesos, ocasionadas por la exportación de 265 ovinos a Colombia en el 2007, los cuales fueron sacrificados posterior a la detección de 17 animales positivos a la prueba de inmunodifusión en gel de agar (AGID) usada para la detección de anticuerpos contra estos virus en los ovinos. La reincidencia de los lentivirus, se debe a que las pruebas para el diagnóstico serológico y molecular son incapaces de detectar todos los grupos, subtipos genéticos y existe un gran desconocimiento de las variantes genéticas y antigénicas que están ocasionando el problema. Por lo tanto, la caracterización de aislamientos realizados en ovinos y caprinos, contribuirá a la generación de conocimiento científico, que ofrezca un panorama actualizado de la diversidad genética de estos virus en el territorio nacional y desarrollar tecnologías de alta calidad con antígenos propios para la detección molecular, de anticuerpos en caprinos y ovinos infectados con lentivirus.

IV. Logros y avances

En México se han realizado diversos reportes de la clamidiasis en pequeños rumiantes. En 1997 se hizo el primer reporte de aislamiento de la bacteria a partir de un aborto en caprinos (Escalante *et al.*, 1997); en 2001 se demostró la participación de *Chlamydia* spp. en un proceso zoonótico a partir de ganado caprino. Recientemente, varios grupos de investigación han orientado sus estudios para verificar la importancia y diseminación de la enfermedad en nuestro país, tales como los de la UAEM, el grupo de investigación del INIFAP y de la FMVZ de la UNAM, encontrando evidencias mediante pruebas serológicas, aislamiento y PCR, de que la enfermedad está presente y sigue diseminándose.

Los estudios de esta enfermedad en caprinos en 2005, demostraron la presencia de la bacteria en el estado de Michoacán, en donde se logró el aislamiento de la bacteria en heces. En 2008 se hizo un estudio serológico en rebaños caprinos lecheros de seis estados del país, encontrando anticuerpos contra la bacteria. A partir del 2010, se continuó investigando la seroprevalencia, complementando con el aislamiento bacteriano y se ha logrado implementar la técnica de PCR como alternativa en el diagnóstico.

En México se han conseguido aislamientos en cabras; en el año 2012, en rebaños del estado de Guanajuato, se lograron 43 aislamientos de *C. abortus* a partir de muestras de exudado vaginal de cabras que abortaron o que estaban recién paridas (Mora *et al.*, 2015).

En otro trabajo del INIFAP realizado, durante los años 2012 y 2013, para determinar la presencia de *C. abortus* en casos de abortos en rebaños caprinos, se tomaron muestras de exudado vaginal de cabras de parto reciente con historial de aborto, de cabras con aborto reciente y de fetos abortados. Se obtuvieron 186 muestras procedentes de 49 rebaños de los estados de Coahuila, Jalisco, Puebla, Veracruz y Querétaro. Mediante el aislamiento bacteriano se encontró un 23.1 % de muestras positivas a inclusiones clamidiales durante la infección en las células L929; la PCR mostró un 9.6 % de muestras positivas. Los análisis de la secuencia

de los productos de amplificación mostraron una homología del 99 % con *C. abortus* cepa A.22, FAS, S26, EBA y VPG (Sánchez, 2014). En un estudio serológico realizado por el INIFAP en 2011-2013 en rebaños ovinos, se analizaron 5,321 muestras sanguíneas de hembras en 209 explotaciones de 61 municipios en siete estados de la República Mexicana. Los resultados mostraron que la prevalencia en ovinos para Sonora fue de 12.45 % (102/819), Chiapas 9.69 % (60/591), Querétaro 10.15 % (79/815), Chihuahua 11.56 % (107/925), Tlaxcala 13.08 % (73/558), Hidalgo 11.34 % (97/855) y para el Estado de México 7.09 % (63/758). La frecuencia de rebaños positivos fue para Sonora del 12.45 % (102/819), Chiapas 31.57 % (12/38), Querétaro 67.18 % (43/64), Chihuahua 24.32 % (9/37), Tlaxcala 33.33 % (12/36), Hidalgo 67.39 % (31/46) y para el Estado de México 25.45 % (14/55) (Mejía *et al.*, 2014).

En México, la infección por lentivirus en caprinos es considerada endémica, en estudios epidemiológicos realizados durante los últimos años, se ha observado a nivel nacional un incremento de su frecuencia. En este contexto, los principales estados considerados importantes en la producción caprina, presentan rebaños con individuos identificados como positivos a la infección por lentivirus. Con base en estos resultados, se ha logrado determinar la presencia de la infección en 13 de 32 estados de la República Mexicana, mientras que el resto del territorio nacional no ha sido estudiado. En el INIFAP y en la UNAM se han desarrollado metodologías de PCR lo que ha permitido corroborar el diagnóstico serológico y detectar en fases tempranas la infección viral; sin embargo, se desconoce genóticamente si estos virus pertenecen a un mismo grupo genético, a razón de que la región LTR amplificada en la PCR, es altamente conservada. Por lo tanto, resulta necesario el estudio de otros genes estructurales como de la cápside (CAp25) y envoltura (GP135 y TM45), para determinar la diversidad genética y antigénica que presentan los lentivirus en nuestro país.

V. Propósito de la demanda

El desarrollo de pruebas diagnósticas de LvPR que tengan elevada sensibilidad y especificidad, con previa genotipificación de aislamientos virales y el estudio de las regiones antigénicas de los virus que están presentes en México, permitirá la elaboración de antígenos propios para nuestras cepas prevalentes que serán utilizados para realizar el diagnóstico oportuno, rápido, confiable, eficiente y que sea accesible a todo tipo de productores al tener un costo razonable.

Realizar aislamientos para efectuar la genotipificación de las cepas, lo que nos permitiría obtener el conocimiento exacto de las especies de *Chlamydia* que actualmente están afectando a los pequeños rumiantes de México.

Además de estos patógenos, se tiene la presencia de otras tres bacterias que llegan a generar pérdidas de alto valor económico en la producción de ovinos y caprinos: *Brucella melitensis*, *Leptospira* spp. y *Coxiella burnetii*. Hasta el momento algunas de ellas ya están localizadas en pequeñas zonas de producción; la importancia de tener una forma viable de diagnosticarla es evitar su diseminación, al tener una distribución no controlada de material genético contaminado.

VI. Objetivos

6.1 Objetivo general

- Desarrollar y validar pruebas moleculares y serológicas para el diagnóstico de la clamidiasis y los lentivirus en caprinos y en ovinos, teniendo como referencia la genotipificación de las cepas mexicanas.

6.2 Objetivos específicos

- Realizar aislamientos de bacterias (*Chlamydia* spp., *Brucella melitensis*, *Leptospira* spp y *Coxiella burnetii*) a partir de muestras de cabras y de ovejas paridas o que hayan abortado.

- Genotipificar las cepas circulantes para determinar las especies prevalentes que afectan a los pequeños rumiantes.
- Estudiar genética y antigénicamente los lentivirus en ovinos y caprinos presentes en México.
- Establecer y validar PCR punto final y PCR tiempo real para el diagnóstico de las bacterias y los lentivirus en caprinos y en ovinos.
- Obtención de antígenos proteicos recombinantes de acuerdo a la variabilidad genética y antigénica de las bacterias y lentivirus.
- Estandarizar y evaluar pruebas serológicas para el diagnóstico de las bacterias y lentivirus en caprinos y en ovinos, determinando su punto de corte, sensibilidad y especificidad.
- Conocer si los sementales y las hembras de reemplazo utilizados para la mejora genética, representan un riesgo para el contagio de bacterias y de lentivirus.
- Identificar los principales factores nutricionales, fisiológicos y de manejo productivo que puedan predisponer al aborto de los ovinos y caprinos.
- Realizar cursos teórico-prácticos dirigidos a técnicos de laboratorio y extensionistas para realizar la transferencia de los conocimientos generados.

VII. Justificación

En México no existen pruebas diagnósticas accesibles para la clamidiasis y los lentivirus de pequeños rumiantes, que permitan el monitoreo constante necesario para evitar que las enfermedades sean diseminadas; por lo que se hace necesario el desarrollo de técnicas diagnósticas sensibles y específicas que permitan la identificación y el control de la clamidiasis que infecta rebaños nacionales. Por otro lado, como *C. abortus* era, hasta mayo del 2016, considerada una enfermedad exótica, no se tiene acceso a estuches comerciales de ELISA, los permisos de importación para éstos son restringidos y tardados, además las pruebas son costosas. Finalmente, el control de esta enfermedad es relevante para la salud

animal, y representa un riesgo zoonótico para los grupos expuestos en actividades pecuarias durante el manejo y el cuidado de los animales enfermos.

A través del desarrollo y validación de pruebas para el diagnóstico, se pretende ofrecer productos de calidad, y de alto impacto nacional, que contribuyan a resolver uno de los problemas principales de salud animal, que actualmente enfrentan los Sistemas Producto Caprinos y Ovinos. Adicionalmente, se podrá contribuir en la elaboración de programas de apoyo en beneficio de los productores, que les permita garantizar la seguridad alimentaria y disminuir la pobreza en los sectores mayormente desprotegidos.

VIII. Productos a entregar

1. Documento que contenga los resultados de los aislamientos de cepas de bacterias (*Chlamydia* spp., *Brucella melitensis*, *Leptospira* spp., y *Coxiella burnetii*) genotipificadas, que proporcionen información sobre la situación y distribución de especies que afectan a los pequeños rumiantes de México.
2. Documento que contenga la caracterización genética y antigénica de los lentivirus de ovinos y caprinos presentes en México, con su evidencia de trámite de propiedad intelectual.
3. Documento que contenga los resultados para establecer y validar PCR punto final y PCR tiempo real para el diagnóstico de las bacterias, los lentivirus en caprinos y ovinos de México.
4. Documento que contenga resultados referentes a la obtención de antígenos proteicos recombinantes de acuerdo a la variabilidad genética y antigénica de las bacterias y lentivirus en caprinos y ovinos de México.
5. Documento de resultados que contenga pruebas serológicas con elevados porcentajes de sensibilidad y de especificidad para el diagnóstico de las principales bacterias (de acuerdo al análisis nacional empleado) y los lentivirus en ovinos y caprinos, con su evidencia de trámite de propiedad intelectual.

6. Documento que contenga evidencias de al menos tres cursos de transferencia de la tecnología de diagnóstico a universidades, laboratorios de diagnóstico y público en general (productores y técnicos). En los talleres de capacitación y/o transferencia de tecnología deberán estar presentes representantes del Fondo Sectorial, productores y representantes del sector.
7. Un portafolio de evidencias multimedia que incluya videos, fotografías, entrevistas, manuales gráficos, etc. de los resultados obtenidos en el proyecto enfocados en los productos a entregar.

IX. Literatura Consultada

Cohen J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement* 20:37-46.

Consejo Técnico Consultivo Nacional de Sanidad Animal. Salud y producción ovina y caprina. 22 reunión anual CONASA. Mérida Yucatán. Noviembre 2014, 160-169.

de Andres D, Klein D, Watt NJ, Berriatua E, Torsteinsdottir S, Blacklaws BA, Harkiss GD. Diagnostic Test for small ruminant lentiviruses. *Veterinary Microbiology* 2005, 107 (1-2):49-62.

Escalante-Ochoa C, Díaz-Aparicio E, Segundo-Zaragoza C. and Suárez-Güemes F. 1997. Isolation of *Chlamydia psittaci* involved in abortion of goats in Mexico: first report. *Revista Latinoamericana de Microbiología*. 39: 117-122.

Escalante-Ochoa C, Rivera-Flores A, Trigo-Tavera F, and Romero-Martinez J. 1996. Detection of *Chlamydia psittaci* in enteric subclinical infections in adult sheep, through cell culture isolation, *Revista Latinoamericana de Microbiología* 38, 17-23.

Goff PS. Retroviridae: The Retroviruses and their Replication, in: Knipe MD, Howley MP editors. *Fields Virology*. 5th Ed. Vol. I. Lippincott Williams & Wilkinis. USA. 2007, 2000-2069.

Herrmann-Hoesing LM, Broughton-Neiswanwer LE, Gouine KC, White SN, Mousel MR, Lewis GS, Marshall KL, Knowles DP. Evaluation of a caprine arthritis-encephalitis virus/maedi-visna virus indirect enzyme-linked immunosorbent assay in the serological diagnosis in ovine progressive pneumonia virus in U.S. sheep. *Clinical and Vaccine Immunology: CVI* 2010, 17 (2): 307-310.

Hunter E. Retroviruses: General Features, in: Mahy BWJ, Van Regenmortel MHV editors. *Encyclopedia of Virology*. 3th Ed. Vol. IV. Academic Press. USA. 2008, 459-467.

Keen JE, Hungerford LL, Littledike ET, Wittum TE, Kwang J. Effect of ewe ovine lentivirus infection on ewe and lamb productivity. *Prev Vet Med* 1997; 30: 155-169.

Mejía SP, Díaz AE, Aguilar RF, Palomares RG, Jiménez SH, Castañeda RV, Cortés PYA. 2014. Seroprevalencia y factores de riesgo asociados a *Chlamydia abortus* en México. Memorias de la L Reunión Nacional de Investigación Pecuaria, Mérida, Yucatán, México.

Mora DJC, Díaz AE, Herrera LE, Suárez GF, Escalante OC, Jaimes VS, and Arellano-Reynoso B. 2015. Isolation of *Chlamydia abortus* in dairy goat herds and its relation to abortion in Guanajuato, Mexico. *Veterinaria MexicoOA* Vol. 2 No. 1

Peterhans E, Greenland T, Badiola J, Harkiss G, Bertoni G, Amorena B *et al*. Routes of transmission and consequences of small ruminant lentiviruses (SRLVs) infection and eradication schemes. *Vet Res* 2004; 35: 257-274.

Quérat G and Vigne R. Caprine Arthritis Encephalitis Virus (*Retroviridae*), in: Granoff A, Webster RG editors. *Encyclopedia of Virology*. 2nd Ed. Vol. I. Academic Press. USA. 1999, 223-229.

Ramírez H, Glaria I, de Andrés X, Martínez HA, Hernández MM, Reina R, Iráizoz E, Crespo H, Berriatua E, Vázquez J, Amorena B, de Andrés D. Recombinant small ruminant lentivirus subtype B1 in goats and sheep of imported breeds in Mexico. *The Veterinary Journal* 2011, 190: 169- 172.

Sambrook, J and Russell DW. 2001. *Molecular Cloning: A Laboratory Manual*, CSHL Press.

Sánchez Rocha Liliana. Presencia de *Chlamydia abortus* en cabras de México. Tesis de Maestría en ciencias de la producción y salud animal Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, 2014.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Diario Oficial de la Federación (DOF). Las enfermedades y plagas de los animales, exóticas y endémicas de notificación obligatoria en los Estados Unidos Mexicanos.

Stonos N, Wootton SK, Karrow N. Immunogenetics of Small Ruminant Lentiviral Infections. *Viruses* 2014; 6: 3311-3333.

Torres Acosta JFJ, Gutierrez-Ruiz EJ, Butler V, Schmidt A, Evans J, Babington J, Bearman K, Fordham T, Brownlie T, Schroer S, Cámara-G E, Lightsey J.

Serological survey of caprine arthritis-encephalitis virus in 83 goat hers of Yucatan, Mexico. *Small Ruminant Research*. 2003; 49:207-211.

Valladares Riveroll Blanca. Generación y caracterización de la proteína p25 del Lentivirus de pequeños rumiantes (LvPR) expresada en *Escherichia coli*. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UNAM. Tesis de Maestría. 87 pp. Ciudad de Mexico 2016.

World Organization for Animal Health O. Enzootic abortion of ewes (ovine chlamydiosis). In: OIE, editor. *Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals*. Sixth edition. Paris, France: World Organisation for Animal Health; 2008. p. 1013–1020.

Contacto para consultas técnicas sobre la demanda:

Ing. Sergio Tapia Medina

Director General de Productividad y Desarrollo Tecnológico, SAGARPA

Correo Electrónico: sergio.tapia@sagarpa.gob.mx

M.C. Quetzalcoatl Uribe Ortega

Director de Insumos para la Producción, SAGARPA

Correo Electrónico: quetzalcoatl.uribe@sagarpa.gob.mx

Demanda 4: Plataforma WEB informativa sobre usos del agua en la agricultura nacional.

I. Beneficiarios del proyecto

Sector federal, agrícola, educativo y público en general.

II. Antecedentes

En México existen diversos sistemas de información que al pasar de los años no han renovado sus metodologías de toma, análisis y difusión de la información, o es su defecto, las políticas de accesibilidad a los resultados obtenidos. Lo que genera un importante rezago en materia de transparencia y confiabilidad, ya que los principales Sistemas de Información Nacional, presentan un amplio margen de error entre los datos reportados en rubros similares. De igual manera, se deben generar los medios necesarios para que todo el interesado pueda acceder a esta información, siendo las plataformas WEB la opción más explorada y útil para dicho propósito.

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) considera al campo y a los campesinos como un sector estratégico por su potencial para reducir la pobreza e incidir en el desarrollo regional y en general para el país, que atenderá la seguridad alimentaria, la erradicación de la pobreza y la necesaria equidad social. Por ello es necesario mejorar los conocimientos básicos, tecnológicos y científicos que impulsen el sector agrícola nacional, así como el uso eficiente de los recursos naturales.

Se tiene como necesidad social y ambiental, regular los consumos de agua en la agricultura, ya que es la industria que más agua utiliza mundialmente. Actualmente no se tiene un sistema totalmente confiable que nos dote de información sobre

explotación de acuíferos y cuencas hidrográficas del país, por lo cual se debe realizar una evaluación de las superficies regadas y los volúmenes de agua que se están utilizando, mediante sensores remotos, muestreo en campo y análisis estadístico que sea de fácil acceso para la población en general.

III. Problemática

La falta de personal y equipo para medir las superficies cultivadas y los volúmenes de agua utilizados, tiene consecuencias en la distribución de un recurso restringido cuya demanda crece constantemente conforme aumenta la población y la industria.

México es un país muy montañoso con poca superficie agrícola, lo que dificulta el abastecimiento de agua para todos los usos acorde a las demandas regionales.

La agricultura de temporal o secano tiene una enorme variabilidad relacionada no solamente con la correspondiente a la dependencia de las lluvias, sino también a otras causas como son las enfermedades y las plagas, más comunes que en la agricultura bajo riego.

De acuerdo a la información que se ha analizado, no se han aumentado las superficies cosechadas desde hace muchos años, lo que implica que es difícil encontrar nuevas áreas para usarlas para la agricultura a pesar de inversiones que se han llevado al cabo.

No se vislumbran regiones donde puedan aumentar las zonas agrícolas; sin embargo, a pesar de que las áreas cosechadas no han aumentado, se ha podido mantener una producción creciente para poder satisfacer la demanda de alimentos y materias primas, gracias al aumento de la productividad de las áreas regadas por tecnificación de las zonas agrícolas. Sin embargo, esta productividad parece que ya no crece y por otra parte hay la amenaza de una reducción de las superficies regadas, lo cual ha ocurrido en el Noreste del país, donde los distritos

de riego han disminuido las superficies regadas en forma significativa, debido a la salinización de los suelos, principalmente en distritos de riego por bombeo y por otra parte con la misma agua disponible se han estado regando nuevas unidades de riego.

IV. Logros y avances.

Las tecnologías para evaluar superficies a nivel nacional como el uso del suelo, áreas forestales, y superficies erosionadas mediante sensores remotos y específicamente imágenes satelitales, se han utilizado desde los años setentas, principalmente por la entonces Secretaría de Agricultura y Ganadería, la CETENAL que luego se transformo en INEGI y para la elaboración del Plan Nacional Hidráulico. Actualmente la SAGARPA, la CONAGUA, INEGI, así como la CONABIO usan las imágenes satelitales para medir el uso del suelo, así como su degradación.

V. Propósito de la demanda.

Llevar al cabo un estudio que permita evaluar las superficies que se están regando, conocer los cultivos predominantes en la nación y los volúmenes de agua que se están utilizando, para hacer una estimación de la eficiencia en el uso del recurso, con lo que se verificarán las estadísticas agrícolas disponibles.

VI. Objetivos.

6.1 Objetivo general.

Generar una plataforma WEB con la información hídrica actual y confiable que nos permita conocer la utilización y distribución del recurso a nivel nacional.

6.2 Objetivos particulares

- Generar por los medios necesarios (Imágenes Satelitales, levantamientos topográficos, mediciones en campo, GPS; entre otras) estimaciones de las superficies reales de los distritos y unidades de riego que se estén aprovechando actualmente, haciendo registro de los tipos de vegetación presentes en cada uno (cultivada y silvestre), así como de las fuentes de abastecimiento de agua.
- Implementar una plataforma WEB que contenga las zonas con riego; tipos de vegetación, ciclos de cultivo y diferencias de abastecimiento de agua de acuerdo al temporal.

VII. Justificación

La falta de personal en el campo debido a significativas reducciones presupuestarias tanto en la SAGARPA como en CONAGUA, ha agudizado los problemas para obtener información fidedigna; por esta razón el uso del muestreo estadístico en el campo para medir superficies cultivadas y láminas de riego, tiene la ventaja de estimar el error estadístico en dichas mediciones con objeto de minimizarlo. En este proyecto se pretende hacer mediciones en el campo mediante brigadas tanto en superficies regadas como en volúmenes de agua usada para riego.

VIII. Productos a entregar

- 1) Plataforma WEB de fácil manejo con software básico el QGis, de código abierto (Software Libre) que sea compatible con GNU/Linux, Microsoft Windows, Mac IOS y Android, que contenga las zonas con riego; tipos de vegetación, ciclos de cultivo y diferencias de abastecimiento de agua de acuerdo al temporal de los 32 Entidades Federativas de la República

Mexicana que será entregado a las autoridades del Fondo Sectorial para su aplicación.

- 2) Documento informe que contenga mapas interactivos de las treinta y dos Entidades Federativas de la República Mexicana, donde se muestren las superficies bajo riego, las fuentes de abastecimiento con ficha técnica de la descripción de calidad y volumen de agua, los principales cultivos regados, así como sus ciclos del cultivo con su respectiva demanda de riego según tipo y zona de cultivo, tipos de vegetación, condición de los suelos (si aún son productivos).
- 3) Documento informe que contenga una base de datos con las estimaciones de los volúmenes utilizados para riego en base a las láminas de riego promedio calculadas en función de los cultivos y con apoyo en las mediciones que se lleven al cabo en las treinta y dos Entidades Federativas de la República Mexicana, que contengan los puntos de monitoreo del agua (estaciones de medición).
- 4) Documento informe que contenga evidencias de la impartición de cursos o talleres del uso de las tecnologías utilizadas, incluyendo el uso del software creado a interesados del sector incluyendo a las autoridades del Fondo Sectorial.
- 5) Documento con resultados de evidencia de la realización de al menos tres cursos de capacitación y transferencia de tecnología vinculada a las innovaciones tecnológicas disponibles y las generadas en el proyecto, en los talleres de capacitación y transferencia de tecnología. Deberán estar presentes representantes del Fondo Sectorial, productores y representantes del sector.

IX. Literatura consultada

Allen R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration Guidelines for crop computing water requirements. Estudios FAO Riego y Drenaje Publicación 56.

Barkin David. 1978. Desarrollo Regional y Reorganización Campesina. La Chontalpa como reflejo del problema agropecuario mexicano. Editorial Nueva Imagen, S. A. México, D.F.

G. D'Urso and A. Calera. 2005. Operative approaches to determine crop water requirements from Earth Observation. Data Methodologies and Applications. In AIP Conference Proceedings, Naples, Italy.

Jensen, John R. 2000. Remote Sensing of the Environment, An Earth Resource Perspective, Prentice Hall Series in Geographic Information Science, 544 pp.

Kotchenova, S. Y. Vermote, E. F. Levy, R. and Lyapustin, A. 2008, Radiative transfer codes for atmospheric correction and aerosol retrieval: intercomparison study, Applied Optics, Vol. 47, No. 13, p. 2215-2226.

OCDE. 2011. Análisis de extensionismo agrícola en México. Informe solicitado por la SAGARPA disponible en pdf.

Palacios Enrique V. y Adolfo Exebio G. 2011. La operación de los distritos de riego con apoyo de las técnicas de la información. Libro 311 pp. bba Biblioteca básica de Agricultura.

Palacios S. L, Paz P. F., Oropeza M. J., Figueroa S. B., Martínez M. M., Ortiz, S. C. y Exebio G. A. 2006. Clasificador genérico de objetos en imágenes ETM+. Agrocienca 40: p 613-626.

Palacios S. L. 2007. Corrector atmosférico en imágenes Landsat. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 92 pp.

Rahman, H. and Dedieu, G. 1997, SMAC: A simplified method for the atmospheric correction of satellite measurements in the solar spectrum. International Journal of Remote Sensing. Vol. 15, No. 1, p 123-143.

Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA. S. P. 351 I, pp 309-317.

UNCTAD. 2011. Desarrollo de la agricultura en México. Informe solicitado por la SAGARPA disponible en pdf.

Vermote E, Tanré D, Deuzé J. L, Hermán M., Morcrette J. J. and Kotchenova, S. Y. 2006, Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum - Vector, (6SV). User Guide Versión 3. Department of Geography, University of Maryland; Laboratoire d'Optique Atmosphérique, Université des Sciences et Technologies de Lille; European Centre for Medium Range Weather Forecast. 243 pp.

Xiaoyang Zhang, Nick A. Drake, John Wainwright and Mark Mulligan. 1999. Comparison of slope estimates from low resolution dems: scaling issues and a fractal method for their solution. Earth Surface Processes and Landforms. 24, p 763-779.

Contacto para consultas técnicas sobre la demanda:

Ing. Sergio Tapia Medina

Director General de Productividad y Desarrollo Tecnológico, SAGARPA

Correo Electrónico: sergio.tapia@sagarpa.gob.mx

M.C. Quetzalcoatl Uribe Ortega

Director de Insumos para la Producción, SAGARPA

Correo Electrónico: quetzalcoatl.uribe@sagarpa.gob.mx

Demanda 5. Generación de conocimiento y esquemas de manejo de insectos polinizadores en sistemas de agricultura protegida y a campo abierto de México.

I. Beneficiarios

Sector Productivo Agroalimentario, Cadena Productiva Apícola, Centros de Investigación e Instituciones de Educación Superior públicos y privados que se dediquen a la innovación, investigación y transferencia de tecnología en la cadena de valor del sector apícola.

II. Antecedentes

La apicultura en México es la segunda actividad agropecuaria más importante a nivel nacional y se ubica como el sexto productor de miel a nivel mundial (Claridades Agropecuarias, 2010; SIAP, 2016). Sin embargo, la principal importancia de las abejas para la humanidad es la polinización. Esta se entiende como la transferencia de polen desde la parte masculina de una flor hasta la parte femenina de la misma flor u otra flor. Proceso esencial para el mantenimiento de la viabilidad y la diversidad genética de las plantas con flor, además de mejorar la calidad y cantidad de semillas y frutos (Chauta–Mellizo *et al.*, 2012; Vilhena *et al.*, 2012). Este proceso de fecundación de las plantas puede ser realizada de forma abiótica, mediante el transporte del polen por el viento o el agua, o biótica, a través de vectores animales como las aves, insectos o mamíferos, los cuales son estimulados por su imperiosa necesidad en la búsqueda de alimentos empleados para su sobrevivencia, desarrollo y reproducción (Bonilla 2012).

Alrededor del 78 % de las especies de plantas con flor en climas templados y del 94 % en climas tropicales se benefician del proceso de la polinización mediada por

animales, lo que equivale a más del 87% de todas las especies de angiospermas conocidas (Bonilla 2012; Mayer *et al.*, 2011). En cultivos tropicales, el 70 % de las 1,330 especies cultivadas se ven favorecidas por los polinizadores. Mientras que en cultivos europeos el 84 % de las 264 especies cultivadas dependen del proceso de polinización animal (Chautau-Mellizo *et al.* 2012; Klein *et al.*, 2007). A nivel global el 87 % de las especies cultivadas, que representan el 35 % del suministro global de alimentos, se ven beneficiadas por este proceso (Hoehn *et al.*, 2008; Klatt *et al.*, 2014; Mallinger y Gratton, 2015) que se traduce en un valor económico estimado de la polinización a más de 153 billones de euros, o al 9.5 % del total de la producción agrícola (Ricou *et al.*, 2014; Vilhena *et al.*, 2012). Así mismo se estima que dentro del 90 % de la polinización que ocurre en plantas con flor en todo el mundo, un 67 % es llevado a cabo por los insectos, constituyéndose como el grupo de polinizadores más importantes, tanto para especies de plantas silvestres como cultivadas (Bonilla, 2012; Fründ *et al.*, 2013).

En febrero de 2016 la Plataforma Inter-gubernamental sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (IPBES), corporación de la ONU encargada de vincular el conocimiento científico con los tomadores de decisiones, presentó una evaluación global sobre polinizadores, polinización y producción de alimentos. En ese documento, se reconoce la importancia ecológica, económica y cultural de los polinizadores, la cual ha sido ratificada en la reciente Conferencia sobre Biodiversidad de las Naciones Unidas celebrada en Cancún, México. Las abejas y su papel como insectos polinizadores han sido ampliamente demostrados para todo tipo de cultivos (Rader *et al.*, 2013), siendo cada vez mayor el interés, el número de investigaciones y la preocupación por su pérdida y de los servicios que ellos proporcionan.

Quezada-Avendaño (2016), en un estudio realizado en México, concluyó que las abejas melíferas son las responsables de más del 50 % de la actividad polinizadora, seguida por otros polinizadores menores como los abejorros, avispas, mariposas, aves y murciélagos.

Por otra parte, muchos estudios reportan la pérdida de grandes cantidades de colonias de abejas melíferas en los Estados Unidos de América, Canadá, Europa y Asia (Stankus, 2014), dichas pérdidas se consideran se deben al fenómeno denominado *Colony Collapse Disorder* o CCD (por sus siglas en inglés) referido como el “Síndrome del Colapso de las Colonias de abejas” término acuñado para caracterizar la pérdida masiva de colonias sin una explicación clara (Van Engelsdorp *et al.*, 2009). En los EUA, antes del CCD, se reconocía que la pérdida de colonias no rebasaba el 20 % cada año, pero a partir del 2006, y hasta la actualidad se han reportado pérdidas anuales superiores al 30 %, y en casos extremos alcanzando hasta un 90 % (Stankus, 2014).

En “Miel Carlota SA de CV”, antigua empresa apícola de México, fundada en 1947 y que llegó a manejar más de 45,000 colonias, la pérdida de colonias en los años 80´s, oscilaba entre el 5 y 15 %, y se asumía que esto se debía al llamado “Mal de otoño”, pues muchas colonias se debilitaban por la pérdida de abejas obreras semanas antes del inicio de la floración sin causa aparente, aunque esto no ocurría cada año.

En otros países se le ha nombrado como la “*Enfermedad de la Desaparición*” y “*Enfermedad de la disminución de golpe*” (*spring dwindle*), sin embargo, la pérdida solo ocurría en algunos años, contrario a lo que se presenta con el CCD, donde se presentan pérdidas anuales (Oldroyd, 2007). No hay evidencias científicas de pérdidas espontaneas en abejas silvestres.

III. Problemática

Los polinizadores tanto silvestres como manejados, están íntimamente ligados e influidos por los cambios del medio ambiente que les rodea (Colteaux *et al.*, 2013; Greenleaf y Kremen, 2006; Wojcik *et al.*, 2008), debido a su gran dependencia por los recursos néctar poliniíferos que emplean como sustento y hábitats de nidificación adecuados (Colteaux *et al.* 2013; Wojcik *et al.*, 2008). Si el hábitat de nidificación sufre alguna modificación, este se ve incapacitado para continuar

viviendo en ese lugar, aunque en la zona haya recursos alimenticios en abundancia (Colteaux *et al.*, 2013; Wojcik *et al.*, 2008), siendo esta una de las causas más importantes en el declive de las poblaciones de polinizadores nativos (Colteaux *et al.*, 2013). Y se considera que el declive a gran escala de sus poblaciones es consecuencia de cambios antropogénicos en el paisaje (Bos *et al.*, 2007). Como ejemplo de estos son el uso intensivo en los usos del suelo, la fragmentación, degradación y pérdida de hábitat, o el uso de agroquímicos, los cuales tienen efectos adversos sobre la diversidad de polinizadores (Bos *et al.*, 2007; Greenleaf y Kremen 2006; Hoehn *et al.*, 2008).

Existen algunos estudios que tratan de valorar estos efectos desde el punto de vista de la respuesta de las abejas a los distintos sistemas de manejo del cultivo, a la pérdida del hábitat natural o al incremento del aislamiento entre parches de hábitat (Badano y Vergara, 2011; Vergara y Badano, 2009) y sus variaciones según el grado de especialización de una especie a los recursos florares, a lo largo del ciclo de vida de un polinizador o entre taxones (Greenleaf y Kremen, 2006). Otros estudios evalúan la influencia de la introducción de especies exóticas como la abeja doméstica *Apis mellifera* (Badano y Vergara, 2011; Colteaux *et al.*, 2013; Vergara y Badano, 2009).

La pérdida de colonias de abejas melíferas probablemente asociado al CCD se debe a múltiples factores como los agentes patógenos, pesticidas, el estrés causado por la movilización de colmenas y la mal nutrición, así como por las deficiencias en el manejo de las colmenas (Stankus, 2014). Por otro lado, los efectos del cambio climático también parecen influir en la presentación de este síndrome (Stankus, 2014). La mayoría de los investigadores en todo el mundo consideran que el CCD es consecuencia de la suma de varios de estos factores (Oldroyd, 2007; Van Der Sluij *et al.*, 2013; Williams *et al.*, 2010).

La disponibilidad de polinizadores silvestres se está reduciendo debido sobre todo a las prácticas agrícolas modernas, convirtiendo a las abejas melíferas en los insectos polinizadores más importantes. Sin embargo, el uso de los pesticidas de

origen neonicotinoide afecta de manera subaguda o crónica la vida de las abejas. Estos pesticidas se emplean para proteger las semillas de muchos cultivos agrícolas y actúan sistémicamente difundiéndose por todos los tejidos de la planta que está en crecimiento, protegiéndola de muchos insectos. Y es común encontrar residuos de los pesticidas en el polen y néctar floral, que también afectan la salud de los insectos benéficos que las visitan. Aunque la magnitud de los daños ocasionados por estos pesticidas es controversial, pues mientras unos indican que la cantidad de estos productos usados en el campo es dañina para las abejas otros indican que no hay evidencia concluyente de que esto así ocurra (Van Der Sluijs *et al.*, 2013). Aunado a esta situación se presenta el surgimiento de los cultivos genéticamente modificados o transgénicos que producen sus propios insecticidas y aunque presentan la ventaja de reducir el uso de pesticidas exógenos podrían ser también tóxicos para las abejas (Huang *et al.*, 2004).

México es un país con una de las mayores diversidades de abejas en el mundo con una cantidad superior a las 1,800 especies (Ayala *et al.*, 1993), siendo claro que se tiene un gran potencial de insectos polinizadores. A pesar de ello, no existe un esquema de producción comercial o de manejo *in situ* de especies para polinización.

Las abejas *Apis mellifera* y los abejorros *Bombus* spp, se emplean como eficientes polinizadores y la importación de reinas procedentes de EUA, Canadá y Europa representan una seria amenaza de importación de enfermedades. La introducción de *Bombus* también implica una mayor competencia por los recursos botánicos y probablemente el desplazamiento de especies nativas. En la actualidad solo dos empresas comerciales en México surten de abejorros para la polinización en invernaderos. Por lo que es importante desarrollar tecnologías para la reproducción de material nativo de abejorros del país y por ello recientemente (2015), se formó la Asociación Mexicana de Criadores de Abejorros Nativos A.C., conformada por 12 socios pertenecientes a los estados de Jalisco, Sinaloa, Nayarit, Michoacán y Guanajuato.

Aunque en otros países se tiene una idea concreta de los impactos económicos de la polinización con *Apis mellifera* y *Bombus* spp. en la producción de alimentos, en México no existen suficientes datos para determinar tales impactos en los sistemas de producción a campo abierto y empleando especies nativas o silvestres, poco se sabe sobre cómo los factores implicados en la aparición del CCD puedan estar afectando a las poblaciones abejas nativas.

IV. Logros y avances

En nuestro país se han realizado trabajos pioneros sobre la polinización de cultivos en invernadero, empleando abejorros y nativas sin aguijón (Cauich *et al.*, 2004; Cuadriello-Aguilar y Salinas–Navarrete 2006; Palma *et al.*, 2008). Se ha demostrado la eficiencia de tales especies como polinizadores, aunque en la actualidad sólo se encuentran disponibles comercialmente colonias de abejorros importados. Aunque algunas especies de abejas nativas han mostrado ser iguales o mejores polinizadoras que las abejas melíferas en ciertos cultivos. En México se emplean miles de colonias de abejas en los campos agrícolas, principalmente en el centro y norte del país donde se siembran gran cantidad de cucurbitáceas, igualmente en huertos de aguacate, manzanos y cítricos, cultivos que se benefician de la actividad polinizadora de las abejas.

En el año 2015 se iniciaron estudios para determinar los efectos de los pesticidas neonicotinoides sobre la vida de las abejas (Uribe-Rubio *et al.*, 2015; De la Mora-Peña *et al.*, 2015). Estos se realizaron en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal del INIFAP. Los principales resultados indicaron que el Thiametoxam, pesticida neonicotinoide, causó alteraciones en diversos comportamientos como el acicalamiento, el aguijoneo y tuvo un efecto detrimental en la cantidad de hemocitos circulantes en la hemolinfa de las abejas, y en la expresión de genes asociados al sistema inmune, lo cual podría estar causando un incremento en la susceptibilidad de las abejas a enfermarse, debido a la disminución de las células inmunes y probablemente

afectando la longevidad de las abejas y su actividad polinizadora. Siendo posible que el uso de pesticidas de origen neonicotinoide también estén afectando a miles de colonias de abejas melíferas y silvestres sin saberlo.

V. Propósito de la demanda:

Generar información sobre los principales factores que afectan el proceso de polinización empleando abejas melíferas y silvestres en sistemas de agricultura protegida y en cultivos a campo abierto con el propósito de contribuir a la soberanía alimentaria.

VI. Objetivos

6.1 Objetivo general

Desarrollar procesos tecnológicos para el uso sustentable de las abejas melíferas y silvestres como polinizadores en sistemas de agricultura protegida y en cultivos a campo abierto.

6.2 Objetivos particulares

1. Desarrollar estrategias para el manejo sustentable de las abejas melíferas y silvestres en sistemas de agricultura protegida y en cultivos a campo abierto.
2. Evaluar los efectos de los principales factores que afectan el declive de las abejas melíferas y silvestres en las principales regiones agroecológicas del país.
3. Determinar y evaluar el efecto de los pesticidas sobre el crecimiento, desarrollo y reproducción de las abejas melíferas y silvestres, y sus repercusiones en el proceso de polinización.
4. Realizar estudios sobre la biología de abejas silvestres bajo condiciones controladas de laboratorio y campo.

5. Realizar estudios para determinar estrategias de conservación y mantenimiento de hábitats y especies de abejas encargadas de llevar a cabo servicios ecosistémicos.
6. Determinar la asociación entre polinizadores - plantas y sus efectos sobre la productividad de un cultivo.
7. Realizar estudios moleculares sobre las abejas nativas que participan en la polinización de cultivos en invernadero y campo abierto.
8. Realizar transferencia de tecnología vinculada a las innovaciones tecnológicas disponibles y a las generadas en el proyecto.

VII. Justificación

La introducción de la abeja occidental en casi todos los países del mundo y su domesticación durante más de 400 años, podrían considerarse como uno de los mayores experimentos incontrolados inducidos por el hombre (Badano y Vergara, 2011), dada la facilidad de manejo y cría de esta especie, y el supuesto acerca de su gran potencial como polinizador y de sus múltiples efectos benéficos sobre las cosechas (Badano y Vergara, 2011; Mallinger y Gratton 2015; Rogers *et al.*, 2013; Vergara y Badano, 2009).

En la mayoría de las publicaciones revisadas del 2005 al 2015, al hablar de polinizadores principalmente se hace referencia a aquellos insectos que se encargan de polinizar los cultivos y, más concretamente, la atención suele centrarse en dos grupos, las abejas de la miel (*Apis mellifera*) y los polinizadores silvestres (*abejas y Abejorros*), dando importancia en ocasiones a los dípteros. Dentro de los polinizadores silvestres, tenemos como ejemplo los géneros *Bombus*, *Xylocopa* para abejorros, y *Megachile*, *Lasioglossum*, *Halictus*, *Andrena*, *Ceratina* y *Trigona*, *Melipona*, para abejas.

Actualmente existen casi 2 millones de colonias de *Apis mellifera* distribuidas principalmente en cinco zonas geográficas, y de ellas dependen unas 42 mil familias (SIAP, 2016). La producción de miel y los servicios de polinización son los principales fines de la apicultura en nuestro país (Claridades Agropecuarias,

2010). Los ingresos por estas actividades oscilan alrededor de los 110 millones de dólares anuales, según los datos registrados entre 1991 y 2014 por el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la SAGARPA y por la división de estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT). No existen cifras exactas del número de colmenas de abejas melíferas que se emplean en el país para la polinización de cultivos a cielo abierto, pero hay estimaciones de que cerca de 200 mil se emplean en Sinaloa, Sonora, Michoacán y Chihuahua (Pompa Fernández, 2015).

Sin embargo, en general la baja productividad de los cultivos en el país mantiene elevados los costos de producción, haciendo al campo mexicano menos competitivo respecto a sus contrapartes extranjeras. Ante el panorama económico que se presenta para el futuro cercano es necesario incrementar y hacer más eficiente la producción agrícola nacional, con el propósito de reducir la importación de granos a mediano y largo plazo.

La contribución de las abejas como polinizadores puede incrementar significativamente la calidad y productividad de los cultivos. Pero hasta ahora no se ha evaluado si la polinización de tales cultivos en campo abierto es suficiente para obtener una producción adecuada y redituable. El uso intensivo de invernaderos (agricultura protegida) ha favorecido el empleo de colonias de abejorros para incrementar la productividad de sus cultivos, lo que los hace dependientes del servicio de polinización de estos insectos.

Por otra parte, la pérdida de colonias de abejas melíferas en México debido al uso de pesticidas se ha reportado empíricamente por muchos productores apícolas, sin embargo, no se ha documentado bajo condiciones reales esas pérdidas en el campo, ya que no se ha realizado una investigación formal para dar claridad sobre la intensidad de los efectos de estos productos en las colonias de abejas. Así mismo es necesario determinar las características mínimas de población, sanitarias y de manejo sustentable que garanticen la eficacia de las colonias en los campos de cultivo. Por otra parte, es importante diseñar estrategias coordinadas entre los productores apícolas y agrícolas para evitar la pérdida de

colonias de abejas de manera súbita por envenenamiento, ocasionado por la aplicación de pesticidas muchas de las veces empleados sin ninguna regulación. La pérdida de grandes poblaciones de abejas obreras en las colonias también puede darse de manera tardía, debido al consumo de alimentos como el néctar y polen contaminado con pesticidas (dosis sub-letales), lo que probablemente se asocia al CCD.

Por otro lado, es sumamente importante mantener las poblaciones de las abejas nativas en el ecosistema, pues ayudan a mantener la biodiversidad de nuestras selvas y bosques, por ello es conveniente tomar medidas para protegerlas y para garantizar sus servicios ecosistémicos.

VIII. Productos a entregar:

1. Documento con protocolo de manejo sustentable de colonias melíferas y silvestres en cultivos de invernadero y campo abierto para su aplicación en México con evidencia de trámite para registro de propiedad intelectual.
2. Documento de investigación referente al síndrome del colapso de las colonias de abejas melíferas en México: situación actual y perspectivas con evidencia de trámite para registro de propiedad intelectual.
3. Documento referente al Impacto de los pesticidas en la salud de las colonias de abejas melíferas y silvestres que participan en el proceso de polinización de los cultivos de hortalizas y frutales.
4. Documento con los resultados referentes a la clasificación molecular de las especies de abejas nativas más comunes en los cultivos agrícolas de tres regiones de México con evidencia de trámite para registro de propiedad intelectual.

5. Documento que explique el impacto económico de la polinización de cultivos en invernadero por insectos distintos a *Bombus* spp.
6. Manual técnico para la recuperación y conservación de abejas silvestres empleadas en la polinización de cultivos con evidencia de trámite para registro de propiedad intelectual.
7. Al menos tres cursos de capacitación, así como transferencia de tecnología en el uso de insectos polinizadores a productores, técnicos y personas afines, con el fin de cuidar la especie y elevar la productividad del cultivo. En los cursos de capacitación y transferencia de tecnología deberán estar presentes representantes del Fondo Sectorial, productores y representantes del sector.
8. Un portafolio de evidencias multimedia (videos, fotografías, entrevistas, manuales gráficos, etc.) de los resultados obtenidos en el proyecto enfocados en los productos a entregar.
9. Un meliponario (reserva de material biológico), que contenga las principales especies polinizadoras en México para su conservación y uso sustentable, estará bajo resguardo del sujeto de apoyo y disponible para productores, agentes técnicos, investigadores y personas afines.

IX. Literatura

- Claridades Agropecuarias, marzo 2010. Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercado, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México D.F.
- SIAP. 2016. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en: www.siap.gob.mx/ganaderia-anual/, consultado Enero 12 de 2016.
- Chautá-Mellizo, A, Campbel SA, Bonilla MA, Thaler JS, Poveda K. 2012. Effects of natural and artificial pollination on fruit and offspring quality. *Basic and Applied Ecology*, 13: 524-532.
- Vilhena AM, Rabelo L, Bastos EM, Augusto SC. 2012. Acerola pollinators in the savanna of Central Brazil Temporal variations in oil-collecting bee richness and a mutualistic network. *Apidologie*, 43:51-62.
- Bonilla MA. 2012. La polinización como servicio ecosistémico. En: Iniciativa Colombiana de polinizadores (ICPA). Capítulo 1: abejas. Universidad Nacional de Colombia. Instituto Humboldt. Bogotá, Colombia pp. 1-103.
- Mayer C, Adler L, Armbruster WS, Dafni A, Eardley C, Huang SQ, Kevan PG, Ollerton J, Packer L, Szymank A, Stout JC, Potts SG. 2011. Pollination ecology in the 21st century: Key questions for future research. *Journal of Pollination Ecology* 3(2): 8-23.
- Klein AM, Vaissiere BE, Cane JH, Steffan-Dewnter I, C Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B*. 274: 303-3013.
- Hoehn P, Tscharntke T, Tylianakis JM, Steffan-Dewenter I. 2008. Functional group diversity of bee pollinators increases crop yield. *Proceedings of The Royal Society B*, 275: 2283-2291.
- Klatt BK, Holzschuh a, Westphal C, Clough Y, Smit I, Pawelsik E, Tscharntke T. 2014. Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. *Proceedings of the Royal Society B*. 281: 2013-2440.

- Mallinger RE, Gratton C, 2015. Species richness of wild bees, but not the use of managed honeybees, increases fruit set of a pollinator-dependent crop. *Journal of Applied Ecology*, 52 (2): 232-330.
- Ricou C, Schneller C, Amiaud B, Plantureux S, Bockstaller C. 2014. A vegetation-based indicator to assess the pollination value of field margin flora. *Ecological Indicators* 45: 320-331.
- Fründ J, Dormann CF, Holzschuh A, Tschamntke T. 2013. Bee diversity effects on pollination depend on functional complementarity and niche shifts. *Ecology* 94(9): 2042-2054.
- IPBES (2016): Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. S.G. Potts, et al. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 36 pp.
- Rader R, Edwards W, Westcott DA, Cunningham SA, Howlett BG. 2013. Diurnal effectiveness of pollination by bees and flies in agricultural Brassica rapa: Implications for ecosystems resilience. *Basic and Applied Ecology* 14:20-27.
- Quezada-Avenidaño M. 2016. Panel: Situación y Perspectivas de la Apicultura: Crisis de Polinizadores y Servicios Ecosistémicos de Polinización. Metepec, Estado de México. Noviembre, 2016.
- Stankus T. 2014. Reviews of science for science librarians: an update on honeybee colony collapse disorders. *Science and Technology Libraries*. 33;228.260.
- Van Engelsdorp D, Evans JD, Saegerman C, Mullin C, Haubruge E, Nguyen BK, Frasier M, Frazier J, Cox-Foxter D, Chen YP, Underwood R, Tarpay DR and Pettis JS. 2009. Colony Collapse Disorder: a descriptive study. *PLOS one* 4e6481.
- Oldroyd, B.P. 2007. What's Killing American honeybees?. *PLOS Biology*, 5e168.
- Colteaux BC, McDonald C, Kolipinsky M, Cunningham JB, Ghosh S. 2013. A survey of pollinator and plant interactions in meadow and grassland habitats of Marin County, California. *Bios* 84(1):1-7.

- Greenleaf SS, Kremen C. 2006. Wild bee species increase tomato production and respond differently to surrounding land use in Northern California. *Biological Conservation* 133: 81-87.
- Wojcik VA, Frankie GW, Thorp RW, Hernandez JL. 2008. Seasonality in bees and Their Flora Resource Plants at a Constructed Urban Bee Habitat in Berkeley, California. *Journal of the Kansas Entomological Society* 81(1):15-28.
- Bos MM, Veddeler D, Bogdanski AK, Klein AM, Tscharnkte T, Steffan-Dewenter I, Tylianakis J. 2007. Caveats to quantifying ecosystem service: fruit abortion blurs benefits from crop pollination. *Ecological Applications* 17 (6): 1841-1849.
- Badano EI, Vergara CH. 2011. Potential negative effects of exotic honey bees on the diversity of native pollinators and yield of highland coffee plantations. *Agricultural and Forest Entomology* 13:365-372.
- Vergara CH, Badano EI. 2009. Pollinator diversity increases fruit production in Mexican coffee plantation: The importance of rustic management systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 129: 117-123.
- Van Der Sluijs JP, Simon-Delso N, Goulson D, Maxim L, Bonmatin JM and Belzunces LP. 2013. Neonicotinoids, bee disorders and the sustainability of pollination services. *Currents Opinion in Environmental Sustainability* 5:293-305.
- Williams GR, Tarpy DR, van Engelsdorp D, Chauzat MP, Cox-Foster DF, Delaplane KS, Neuman P, Pettis JS, Roger REL and Shutler D. 2010. Colony Collapse Disorder in context. *BioEssays* 32: 845-846.
- Huang, Z. Y., Hanley A. V., Pett W. L., Langerberger M, and Duan J. J. 2004. Field and Semifield Evaluation of Impacts of Transgenic Canola Pollen on Survival and Development of Worker Honey Bees *J. Econ. Entomol.* 97(5): 1517-1523.
- Ayala, R., Griswold, T. and Bullock, S.H. 1993. The Native Bees of México. In: Ramamoorthy, T.P., Bay, R., Lot, A. and Fa, J. (eds.), *Biological Diversity of México, Origin and Distribution*. Oxford University Press. pp. 179-227.

- Cahuich, M. O. (2004). Eficiencia de la abeja nativa *Nannotrigona perilampoides* Cr. (Apidae: Meliponini) en la polinización de Chile Habanero (*Capsicum chinensis* Jacq.) en cultivos bajo cobertura en Yucatán. Tesis de maestría. FMVZ-UADY. 85 pp.
- Palma, G., Quezada-Euán, J.J.G., Reyes-Oregel, V., Meléndez-Ramírez, V. y Moo-Valle, H. 2008. Production of greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) using *Nannotrigona perilampoides*, *Bombus impatiens* and mechanical vibration (Hym.: Apoidea). *Journal of Applied Entomology* 132:79–85.
- Cuadriello-AguilarJI, Salinas-Navarrete JC. 2006. Los riesgos de importar polinizadores exóticos y la importancia de su legislación. Resúmenes. Primer Reunión Mexicana de la Campaña Norteamericana para la protección de los polinizadores (NAPPC). San Juan del Rio, Querétaro, Mex.
- Uribe-Rubio JL, De la Mora Peña A, Guzmán-Novoa E, Espinoza Montaña L. 2015. Efecto de la varroasis y un Insecticida neonicotinoide sobre la cantidad de hemocitos presentes en las abejas melíferas (*Apis mellifera* L.) bajo condiciones de laboratorio. LI Reunión Nacional de Investigación Pecuaria, Memoria. 2015. Toluca de Lerdo, estado de México. Vol.1, Año 1. 2015.
- De la Peña Mora A, Uribe-Rubio JL, Guzmán-Nova E, Espinoza-Montaña LG. 2015. Efectos de la interacción de un insecticida neonicotinoide y el acaro *Varroa destructor* sobre el comportamiento defensivo de las abejas melíferas (*Apis mellifera* L.) LI Reunión Nacional de Investigación Pecuaria, Memoria. 2015. Toluca de Lerdo, estado de México. Vol.1, Año 1. 2015.
- Rogers SR, Tarpay DR, Burrack HJ. 2013. Multiple Criteria for Evaluating Pollinator Performance in Highbush blueberry (Ericales: Ericaceae) Agroecosystem. *Environmental Entomology* 42 (6): 1201-1209.
- Pompa-Fernández J. 2015. Presidente de la Asociación de Polinizadores del estado de Sinaloa, México.

Contacto para consultas técnicas sobre la demanda:

Ing. Sergio Tapia Medina

Director General de Productividad y Desarrollo Tecnológico, SAGARPA

Correo Electrónico: sergio.tapia@sagarpa.gob.mx

M.C. Quetzalcoatl Uribe Ortega

Director de Insumos para la Producción, SAGARPA

Correo Electrónico: quetzalcoatl.uribe@sagarpa.gob.mx

Demanda 6. Diseño y Fabricación de Microarreglos de ADN, para la Identificación de Organismos Patógenos en Cultivos de: Papa, Fresa, Frijol, Tomate, Café, Cacao, Aguacate, Chile y Cítricos.

I. Beneficiarios

Productores, agentes técnicos y autoridades de sanidad vegetal, consumidores y comercializadores de hortalizas y frutales a nivel nacional.

II. Antecedentes

Un requisito previo para el control de cualquier enfermedad es la detección e identificación apropiada del organismo causal. La detección de patógenos en plantas con síntomas puede ser relativamente simple si se tiene extensa experiencia con el diagnóstico de la enfermedad y aislamiento del patógeno. Por otro lado, la detección del patógeno en las semillas y materiales de propagación asintomática tales como tubérculos de papa, pueden ser sumamente difíciles cuando la población de los patógenos es muy baja en los propágulos. Debido a esto, se necesitan técnicas capaces de detectar un número bajo de patógenos en los propágulos. Antes del desarrollo de las técnicas serológicas el único método disponible y fiable para la identificación de hongos y bacterias fue el aislamiento en medio de cultivo y prueba de patogenicidad. Las pruebas serológicas permiten el diagnóstico presuntivo de enfermedades bacterianas. Sin embargo, hasta que no se desarrollaron las técnicas basadas en ADN, no se pudieron detectar los patógenos en plantas asintomáticas.

Para proteger los cultivos mexicanos, las actividades de monitoreo y detección de patógenos que afectan la producción agrícola, son de gran importancia. Para ello se requieren actividades de diagnóstico fitosanitario, el diseño de procedimientos y protocolos para la detección de fitopatógenos.

III. Problemática

Dentro de la problemática que presenta el Sector Agrícola en México aparte de la comercialización, transporte, infraestructura, capacitación a los productores y uso de semillas mejoradas, están los aspectos fitosanitarios que son de gran importancia; éstos son ocasionados por virus, viroides, fitoplasmas, bacterias, hongos y nematodos. Los problemas fitosanitarios se agravan debido a un mal control y sobre todo a que no prevén realizar un diagnóstico fitosanitario para conocer el problema real que está afectando al cultivo, por lo que es necesario contar con diversas metodologías para la confirmación de un buen resultado.

Estos fitopatógenos son causantes de varias pérdidas económicas en todo el mundo; por mencionar algunos encontramos al nematodo *Meloidogyne chitwoodi* presente en papa y que causa pérdidas directas e indirectas hasta del 68 %, otro es el nematodo quiste de la papa (*Globodera* spp.) cuyas pérdidas son difíciles de estimar y varían con el grado de infestación del terreno, la población del nematodo, la variedad de papa cultivada y las condiciones del medio ambiente; se considera que las pérdidas pueden ser del 13 al 58 % de la producción. Otra de las enfermedades presentes en este cultivo es la conocida punta morada debida a un fitoplasma el cual ocasiona grandes pérdidas en diferentes partes del mundo. En cuestión de frutales encontramos a las bacterias de *Xylella fastidiosa* y *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*. Los cítricos se encuentran afectados por una serie de patógenos o agentes infecciosos; unos son causados por virus, viroides, bacterias y a un gran número se le desconoce su agente causal.

Todos estos organismos que causan enfermedades a los frutales y hortalizas, pueden ser diagnosticados mediante técnicas moleculares basadas en los ácidos nucleicos y analizadas en una sola prueba, conocida como microarreglos.

IV. Logros y avances

La evolución de las técnicas de diagnóstico ha estado marcada por la búsqueda de métodos cada vez más confiables y que permitan analizar un número elevado de muestras. A la vez, se han desarrollado métodos o plataformas genéricas que

pueden ser empleados en la detección de diferentes patógenos con sólo el cambio de los reactivos específicos. La disponibilidad de la secuencia completa de genomas ha permitido el desarrollo de tecnologías capaces de analizar en un solo experimento todos los elementos identificados de un genoma. Una de estas tecnologías es la de microarreglos de ADN, colecciones de segmentos de ADN que son fijados a una superficie sólida para su utilización en la cuantificación de niveles de ARN o ADN en muestras biológicas. Estos segmentos o sondas de ADN se diseñan de forma que sean complementarios a las regiones del ADN o ARN que se desea cuantificar, lo que permite medir los niveles de expresión de cada gen de acuerdo con la cantidad de ADN o ARN que se hibridan con las sondas impresas en el arreglo.

Uno de los reportes más interesantes en los cuales se muestra la utilidad de esta técnica fue publicado en 2003 y reporta la utilización de un arreglo de secuencias de genes ribosomales para la eficiente detección de patógenos causantes de marchitamientos vasculares del tomate (*Solanum lycopersicum* L.), *Verticillium albo-atrum*, *Verticillium dahliae* y *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Los patógenos pueden ser detectados a partir de tejido vegetal e incluso de muestras de difícil manipulación como las de suelo y de aguas de irrigación. La sensibilidad de la técnica permite detectar patógenos en concentraciones similares a las encontradas en condiciones de campo. El mismo año se desarrolló otro arreglo para la detección de virus de papa (*Solanum tuberosum*) como PVY, PVX, PVS y PVA. Con este último ejemplo queda en evidencia otra gran ventaja del método: la posibilidad de detectar organismos no cultivables sin los problemas de inhibición, como se presenta en el caso de la PCR. Obtener microarreglos para detectar los patógenos potencialmente peligrosos para los cultivos mexicanos es indispensable para estar preparados ante nuevos patógenos o para evitar la introducción de patógenos en frutas y hortalizas de importación.

V. Propósito de la demanda

Proporcionar los microarreglos que puedan ser utilizados en lector ya existente y realizar la detección simultánea de diferentes patógenos en menor tiempo posible, con la finalidad de poder emitir un diagnóstico oportuno y poder tomar acciones.

VI. Objetivos

6.1 Objetivo general

Elaborar diferentes microarreglos para la determinación oportuna y confiable de patógenos de difícil diagnóstico visual en cultivos de alto valor económico del país.

6.2 Objetivos específicos

- Elaboración de microarreglos para hortalizas (chile, tomate, papa).
- Elaboración de microarreglos para frutales (cafeto, cacao, aguacate, fresa y cítricos).

VII. Justificación

Es un hecho que el incremento actual y futuro en la población mundial comienza y va a experimentar serios problemas para la producción de alimentos, fármacos y otros insumos de consumo humano. Un factor fundamental en la distribución y el consumo de estos insumos, es poder garantizar la inocuidad de los mismos, derivado de esta inquietud, se han establecido diversos procedimientos para la detección de organismos patógenos. De estos procedimientos los más eficientes han sido los basados en la identificación de material genético proveniente del o de los posibles patógenos presentes en la muestra. Las técnicas comúnmente empleadas son el PCR punto final y el PCR cuantitativo. Si bien estas tecnologías han mostrado ser eficientes, un problema adicional puede ser la cantidad de muestras que se deben analizar y el tiempo que requiere hacer el análisis de las mismas con los métodos convencionales.

Para realizar una evaluación de la seguridad de los insumos de consumo humano y poder atender la demanda de número de pruebas que se deben realizar, es necesario implementar nuevas tecnologías. Una de estas tecnologías puede ser los microarreglos de DNA. Esta tecnología basada en el reconocimiento exacto de las moléculas de DNA, ha mostrado ser capaz de identificar cambios en miles de genes en una sola prueba. Con esta tecnología es posible disponer de un número importante de marcadores, para diferentes organismos en la misma prueba, de tal forma que en un solo ensayo se pueda determinar la presencia de uno o varios patógenos simultáneamente. Adicionalmente es posible hacer microarreglos múltiples (12 arreglos por chip) en donde se prueban diferentes muestras para diferentes patógenos en un mismo tiempo.

Para el diseño de una herramienta como esta se requiere contar con la información de la secuencia genómica completa del o los patógenos de interés, la cual es pública y se tiene para la mayoría de los patógenos que se pueden encontrar en los alimentos u otros productos.

Con la secuenciación sistemática de los genomas completos de un sin número de organismos, en la actualidad es posible identificar regiones en el DNA que sean únicas en el genoma de cada uno de ellos. Esta información aunada al desarrollo de la técnica de microarreglos de DNA, que consiste en la impresión ordenada de pequeñas secuencias de DNA en una pequeña superficie ($10,000/\text{cm}^2$) y el principio de reconocimiento casi perfecto de las cadenas complementarias del DNA, han permitido desarrollar pruebas moleculares con las que es posible identificar la presencia de material genético de uno o varios organismos diferentes en una sola prueba.

Sobre la base de este conocimiento es posible desarrollar microarreglos con los que se puede detectar la presencia de material genético de prácticamente cualquier organismo, en una sola prueba y para uno o varios organismos diferentes de forma simultánea. El diseño de esta prueba consiste en la distribución ordenada de las sondas para formar números digitales (códigos)

asociados a un organismo. Con esta distribución es posible, a simple vista, identificar los patógenos presentes en una muestra de interés.

Actualmente, la detección de patógenos se realiza mediante las técnicas clásicas de la microbiología, en algunos casos con técnicas bioquímicas y por las técnicas de PCR punto final o PCR cuantitativo. Si bien estas pruebas son bastante precisas, se debe hacer la prueba por separado para cada uno de los organismos de interés, lo que es poco práctico cuando se tiene un número importante de muestras para analizar. Aunado a esto se debe tomar en cuenta el tiempo que pueden requerir y el costo de cada prueba.

Con los microarreglos de DNA es posible hacer en una sola prueba la detección simultánea de diferentes patógenos, y actualmente ya es posible fabricar microarreglos que permitan probar en un solo ensayo hasta 12 muestras diferentes.

VIII. Productos a entregar

- 1) Documento de resultados, así como los microarreglos de diagnóstico de patógenos potencialmente peligrosos en formato digital, controles de PCR e hibridación; así como sus controles negativos, de los cultivos de chile, tomate, papa, cafeto, cacao, aguacate, fresa y cítricos, con evidencia de trámite de registro de propiedad intelectual;
- 2) Documento de resultados, así como los juegos de oligonucleótidos para la reacción de PCR y las secuencias de los mismos, para los patógenos potencialmente peligrosos en los cultivos de chile, tomate, papa, cafeto, cacao, aguacate, fresa y cítricos.
- 3) Documento que contenga los protocolos para la preparación y el procesamiento de las muestras biológicas para los patógenos potencialmente peligrosos de los cultivos de chile, tomate, papa, cafeto, cacao, aguacate, fresa y cítricos.

- 4) Documento que contenga los protocolos para el marcado, hibridación y lectura de los chips de los microarreglos de los patógenos identificados potencialmente peligrosos para los cultivos de chile, tomate, papa, cafeto, cacao, aguacate, fresa y cítricos.
- 5) Documento que contenga evidencias de capacitación y asesoría necesarias para laboratorios de gobierno (SENASICA) y sociedades agrícolas con la necesidad de adaptar dichas tecnologías, en los talleres de capacitación y transferencia de tecnología deberán estar presentes representantes del Fondo Sectorial, productores y representantes del sector.

IX. Literatura Consultada

Silvia Michanie (2005). Métodos alternativos, precisos y rápidos para el control microbiológico de alimentos. *Enfasis Alimentacion*, Año XI, N° 1:64-71.

Mahesh Uttamchandani, Jia Ling Neo, Brandon Ngiap Zhung Ong and Shabbir Moochhala (2008). Applications of microarrays in pathogen detection and bio defence. *Trends in Biotechnology* 27(1):53-61.

Maria Palka-Santini, Berit E Cleven, Ludwig Eichinger, Martin Krönke¹, and Oleg Krut (2009). Large scale multiplex PCR improves pathogen detection by DNA microarrays. *BMC Microbiology*, 9(1):1-14.

Douglas R. Call (2005). Challenges and Opportunities for Pathogen Detection Using DNA Microarrays. *Critical Reviews in Microbiology*, 31:91–99.

Anna-Kaarina Järvinen, Sanna Laakso, Pasi Piiparinen, Anne Aittakorpi, Merja Lindfors, Laura Huopaniemi, Heli Piiparinen and Minna Mäki (2009). Rapid identification of bacterial pathogens using a PCR- and microarray-based assay. *BMC Microbiology*, 9(161):1-16.

- Dae-Young Lee, Kelly Shannon, Lee A. Beaudette (2005). Detection of bacterial pathogens in municipal wastewater using an oligonucleotide microarray and real-time quantitative PCR. *Journal of Microbiological Methods*, 65:453–467
- K. Lemarchand, T. F. Berthiaume, C. Maynard, J. Harel, P. Payment, P. Bayardelle, L. Masson, R. Brousseau (2005). Optimization of microbial DNA extraction and purification from raw wastewater samples for downstream pathogen detection by microarrays. *Journal of Microbiological Methods* 63:115– 126
- Ramírez-Salcedo, J., Chávez-González, L., Santillán-Torres, J.L. y Guzmán-León, S. (2014). Microarreglos de ADN: Fabricación, Proceso y Análisis. En: *Manual de técnicas Moleculares*. Editores Amelia Cornejo Romero, Alejandra Serrato Díaz, Beatriz Rendón Aguilar, Martha Graciela Rocha Munive. SEMARNAT, INECC y UAM-I, México, pp 203-229.

Contacto para consultas técnicas sobre la demanda:

Ing. Sergio Tapia Medina

Director General de Productividad y Desarrollo Tecnológico, SAGARPA

Correo Electrónico: sergio.tapia@sagarpa.gob.mx

M.C. Quetzalcoatl Uribe Ortega

Director de Insumos para la Producción, SAGARPA

Correo Electrónico: quetzalcoatl.uribe@sagarpa.gob.mx