

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



Convocatoria 2017

ANEXO B. DEMANDAS ESPECÍFICAS DEL SECTOR 2017-4

En atención a la problemática nacional en la que 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, Acuicultura, Agrobiotecnología y recursos Fitogenéticos”.

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

- **Demanda 1.** Aumento de la productividad, competitividad y sustentabilidad de la cadena de carne y leche de cabras en sistemas extensivos del norte de México (Tema Estratégico).
- **Demanda 2.** Desarrollo de tecnologías metabolómicas y su impulso en el sector agrícola de México (Tema Estratégico).
- **Demanda 3.** Innovaciones tecnológicas para la conservación y reproducción de peces marinos con énfasis en Totoaba (*Totoaba macdonaldi*) (Tema Estratégico).
- **Demanda 4.** Desarrollo tecnológico e innovación para el manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) en México (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. Aumento de la productividad, competitividad y sustentabilidad de la cadena de carne y leche de cabras en sistemas extensivos del norte de México.

I. Beneficiarios del Proyecto

Centros de Investigación (CI), Instituciones de Educación Superior (IES) que se dediquen a la innovación, investigación y transferencia de tecnología, cadena productiva caprina, caprinocultores.

II. Antecedentes

Debido a lo errático de las cosechas en las zonas áridas y semiáridas de México, y como resultado de la agricultura de temporal practicada por la mayoría de los campesinos en el norte de México, el productor tiende a diversificar sus actividades en el medio rural. Una de las labores más importantes que complementan la actividad agrícola del campesino y que le aseguran alimento de alta calidad, es la explotación de las cabras. El costo accesible de estos animales y la adaptabilidad de esta especie a las zonas desérticas de México, ha propiciado la explotación de este ganado en toda la gama de ecosistemas característicos de las zonas áridas del país. La región norte de México está comprendida dentro de los desiertos Chihuahuense y Sonorense, esta zona, a nivel nacional, es una de las áreas con la densidad más alta de caprinos (SIAP, 2016).

En este tipo de ecosistema, la población de caprinos en México, es de aproximadamente 6 millones, los cuales producen aproximadamente 100 millones de litros de leche anualmente, lo que corresponde al 95% de la producción total anual de este producto en el país. Asimismo, la carne de cabra que deriva de esta área geográfica es de aproximadamente 24,000 toneladas anualmente, lo que constituye el 48% de la producción nacional. A pesar de la importancia que las zonas áridas y semiáridas de México representa para la industria caprina, se tiene un desconocimiento total sobre la forma de utilizar racionalmente los recursos forrajeros de los tipos de vegetación comprendidos en esta zona. Salvo escasos y fragmentarios datos sobre la dieta de las cabras en matorrales micrófilos de esta región, no se dispone de información sobre el impacto del pastoreo de las cabras

sobre la dinámica de la vegetación y suelo del desierto Chihuahuense. Tampoco se conoce cuál es la capacidad de sustentabilidad de los diferentes sitios de estas eco-regiones cuando las cabras son los herbívoros predominantes.

La alimentación de este ganado en la región del norte de México se basa en el uso de la vegetación de agostadero típica del desierto mencionado, aunado a los esquilmos que se generan del distrito de riego enclavado en la región, con esquemas de producción cabrito-leche articulados a canales de comercialización e industrialización. Dicho esquema productivo se basa en el uso de animales encastados con una alta proporción de razas lecheras (Alpina, Saanen, Toggenburg y Nubia) con un énfasis productivo lechero, pero que en paralelo, presentan un complejo esquema de reproducción estacional, lo cual limita la posibilidad de ofertar productos caprinos a lo largo del año, generando déficits en ciertas épocas y sobreoferta en otras, con la consecuente variabilidad en el ingreso económico hacia el caprinocultor.

Los índices de productividad en la industria caprina bajo condiciones extensivas en las zonas áridas y semiáridas de México es otro rubro escasamente documentado. Una característica de las explotaciones extensivas de caprinos en el norte de México es el mediano o alto número de cabras por hatos, lo cual, al considerar los diferentes hatos de una misma comunidad rural, en muchas ocasiones se tienen densidades de caprinos por encima de la capacidad del agostadero (Mellado *et al.*, 2003). La situación anterior conduce a niveles de producción de leche y carne muy bajos, debido a que el forraje disponible sólo es suficiente para el mantenimiento de la biomasa existente de caprinos, quedando muy poco para ganancia de peso, producción de leche y reproducción de los animales (Mellado *et al.*, 2006a, 2006b). Es común entonces, en los hatos manejados extensivamente, que la mitad de los animales permanezcan improductivos durante un año (Mellado *et al.*, 2005), con lo cual se incrementa la presión de pastoreo en detrimento de la productividad del hatos y la estabilidad de la vegetación (Mellado, 2016).

Con la caracterización de la productividad de las cabras en las comunidades rurales de estas zonas, se estaría en condiciones de formular programas de manejo de este ganado que permitan romper el esquema tradicional de producción caprina, para lograr una sustancial mejoría en la eficiencia productiva de estos animales y la rentabilidad de la industria caprina extensiva en el norte del país. Lo anterior implica que los sistemas deberán implementar una serie de prácticas sanitarias,

reproductivas, nutricionales, de mejoramiento genético y manejo general de las cabras, para potenciar la producción de carne y leche en condiciones extensivas.

III. Problemática

A pesar de que existe información sobre el efecto de ciertas plantas en los caprinos, es necesario realizar más estudios que permitan desarrollar planes de utilización de los recursos forrajeros del agostadero, la selección, el consumo y los nutrientes que estas plantas le proporcionan a las cabras y sobre todo determinar cuales componentes bioactivos están presentes en ellas así como las consecuencias del consumo de altos niveles de metabolitos secundarios o de los extractos de las plantas, en las características productivas y reproductivas de las cabras.

Con la introducción de ganado caprino europeo puro especializado en la producción de leche en las zonas áridas de México, se han tenido más fracasos que éxitos. Lo anterior se debe a que este ganado fue desarrollado para operar en sistemas de altos insumos, situación que no se tiene en la mayoría de las explotaciones en las zonas desérticas (Silanikove, 1985). Además, la inadaptabilidad de las cabras lecheras europeas al pastoreo en agostadero se refleja en una limitada productividad y una alta mortalidad de estos animales en los ecosistemas desérticos. Por lo anterior, al comparar en las zonas áridas la productividad de los animales nativos o Granadinos (adaptados) con las cabras lecheras puras (sin adaptación), no es raro encontrar bajo severa sequía, una menor productividad de éstas últimas.

En relación a la reproducción, algunos mamíferos presentan un periodo de estacionalidad en su actividad reproductiva, con el propósito de seleccionar la época del año más favorable para sus partos, en donde el clima y la disponibilidad de alimento sean las más adecuadas para la sobrevivencia de las crías (Bronson, 1985; Bronson y Heideman, 1994). En este sentido, la producción caprina se enfrenta al periodo de anestro estacional que presentan los diferentes tipos razas, lo que retrasa la implementación de programas de mejoramiento genético y limita el acceso a mercados más favorables. Por ello, dicha estacionalidad reproductiva se convierte en una estacionalidad productiva, lo cual representa un problema de comercialización para los productores que por lo general están inmersos en un mercado que exige producto durante todo el año, el cual

incrementa su demanda durante la estación que corresponde a la menor producción de éstas especies (Álvarez y Ducoing, 2006).

Otro tema de importancia del sistema productivo caprino en la región norte de país, relativo a la sanidad, es la incidencia de ectoparásitos. Las cabras pueden ser parasitadas por diversos artrópodos incluyendo ácaros, garrapatas, piojos y pulgas; estos ectoparásitos son capaces de provocar problemas de salud, incluidos daños mecánicos a la piel por irritación, pérdida de peso, anemia, reducción en la producción de leche y rendimiento de la canal, e inclusive la muerte en animales severamente infestados, con consecuencias socioeconómicas importantes (Seyoum *et al.*, 2015). Se sabe que las infestaciones por piojos ocasionan disminución en los parámetros productivos y reproductivos de las cabras (Mellado, 2008), esto debido a efectos asociados a la presencia de los piojos, tales como anemia y abortos (Tongjura *et al.*, 2012). Además, los animales domésticos pueden actuar como hospederos intermediarios o amplificadores de patógenos con potencial zoonótico, aumentando el riesgo en la emergencia de enfermedades ligadas a la actividad pecuaria (Jones *et al.*, 2013).

Por otro lado, una de las enfermedades más importantes que afecta mundialmente la industria lechera es la mastitis; pues ocasiona pérdidas económicas muy fuertes a todos los productores de leche en el mundo (Fernández *et al.*, 2012). En la actualidad la mastitis caprina es considerada un grave problema ya que afecta de manera considerable los ingresos de los productores (Berry, E., 2006). Este problema consiste en un proceso inflamatorio de la glándula mamaria y sus conductos secretores, lo cual afecta considerablemente la producción de leche y la calidad de la misma (Menzies y Ramanoon, 2001). El uso indiscriminado y prolongado de productos de origen sintético en el tratamiento de mastitis caprina puede resultar en una multirresistencia a antibióticos por parte de los microorganismos, lo cual conduce a incrementar las dosis de antimicrobianos, provocando así el aumento de residuos químicos en la leche, representando un riesgo potencial al consumidor (Silva *et al.*, 2012).

Así mismo, tomando en cuenta la variabilidad productiva y reproductiva de las actividades económicas pecuarias, el sector ganadero será un importante contribuyente a los problemas ambientales a cada nivel (regional y global) incluyendo degradación del suelo, cambio climático, pérdidas de biodiversidad contaminación del aire, escasez y contaminación del agua (SCOPE, 2010).

El cambio climático, provocado por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y en especial del CO₂, es uno de los principales problemas globales de nuestro tiempo y existen evidencias considerables de que la mayor parte del calentamiento global ha sido causado por las actividades humanas o antropogénicas (Schneider, 2010). La medición de la sustentabilidad de la huella de carbono permite definir mejores objetivos, políticas de reducción de emisiones más efectivas e iniciativas para reducir costos mejor dirigidas, todo ello por consecuencia de un mejor conocimiento de los puntos críticos para la reducción de emisiones, que pueden o no ser de responsabilidad directa de la actividad analizada (Hermansen y Kristensen, 2011).

IV. Logros y avances

Manejo de agostadero

La mayoría de las cabras son explotadas extensivamente, sin embargo, en muchas ocasiones se tienen densidades de caprinos por encima de la capacidad de sustentación del agostadero, del tal forma que el animal tiene que seleccionar de los alimentos disponibles, una ración la cual le permita satisfacer sus necesidades de mantenimiento y producción de leche (Mellado *et al.*, 2003) y al mismo tiempo impedir la ingestión de sustancias tóxicas (Villalba *et al.*, 2008). Se han realizado estudios en un matorral desértico del norte de México donde las cabras muestran preferencia por las plantas leñosas cuando éstas existen en abundancia, aunque contengan espinas o abundantes aleloquímicos (Mellado *et al.*, 2011, 2012). Sin embargo, se desconoce la forma de utilizar racionalmente los recursos forrajeros de los diferentes tipos de vegetación, así como la falta de información sobre el impacto del pastoreo de las cabras en este tipo de matorral parvifolio inerme.

Debido a que la producción animal está alineada a la función reproductiva, es importante cuantificar cómo ésta puede ser modulada por aspectos ambientales, principalmente los nutricionales (Meza-Herrera *et al.*, 2004; Juárez-Reyes *et al.*, 2004; Meza-Herrera *et al.*, 2006; Urrutia-Morales *et al.*, 2009; Meza-Herrera y Tena-Semper, 2012; Meza-Herrera *et al.*, 2014). Existe información puntual enfocada a tratar de comprender la modulación de la función del eje hipotalámico-hipofisiario-gonadal mediante el uso de una manipulación nutricional suplementaria (Meza-Herrera *et al.*, 2007 y 2008), así como una suplementación focalizada que afecta el patrón de liberación de ciertas

hormonas metabólicas y su efecto en la función reproductiva (Guerra-García *et al.*, 2009; Gómez-Vázquez *et al.*, 2008), el desarrollo embrionario y placentario (Meza-Herrera *et al.* 2010 y 2015).

Reproducción-Genética

Recientemente, se ha reportado que una inyección de progesterona (P4) más la aplicación de gonadotropina coriónica humana (hCG), induce y sincroniza el estro y la ovulación en las cabras durante el anestro estacional tardío (Alvarado-Espino *et al.*, 2016). Protocolos con tratamientos utilizando hCG se ha empleado con un intervalo de 24 h entre la aplicación de la P4 y la gonadotropina coriónica equina (eCG) o hCG, por lo que otros intervalos necesitan ser evaluados (Contreras-Villarreal *et al.*, 2015; Alvarado-Espino *et al.*, 2016). Sin embargo, algunos factores como las relaciones sociales, podrían modificar la respuesta sexual de las hembras caprinas a estos tratamientos (Zúñiga *et al.*, 2017).

En otro sentido, mientras que el uso de marcadores moleculares y genes mayores en el mejoramiento animal es una práctica cotidiana en economías industrializadas, esquemas más tradicionales de mejoramiento genético se basan en la caracterización productiva y estimación de parámetros genéticos de las características de importancia económica (Montaldo y Meza-Herrera, 1998). Diversos estudios han evaluado los efectos ambientales y genéticos que afectan la sobrevivencia perinatal (Pérez-Razo *et al.*, 1998), la longevidad productiva (Pérez-Razo *et al.*, 2004), la expresión circanual de proteínas de choque calórico-HSP70 (Meza-Herrera *et al.*, 2006), fluctuaciones de cortisol sérico, metabólicos sanguíneos, peso vivo, condición corporal y el largo de cubierta de pelo (Meza-Herrera *et al.*, 2007) en los principales genotipos caprinos de importancia económica en México. Otros estudios han cuantificado como el peso al nacer es modificado por la época de empadre de la madre (Meza-Herrera *et al.*, 2012). En virtud de ello, la evaluación del comportamiento productivo de diversos genotipos en esquemas de producción leche-cabrito (Escareño *et al.*, 2013) y la cuantificación de los efectos ambientales en características de crecimiento como los son el peso al nacer, peso al mes, peso al destete y el tamaño de camada (Meza-Herrera *et al.*, 2014) son elementos centrales en la definición de un uso óptimo de los diversos genotipos en esquemas de selección-cruzamiento. Asimismo, el mejoramiento genético participativo es una herramienta metodológica basada en la acción conjunta de caprinocultores e investigadores en procesos de selección y mejora genética, basados en la definición conjunta de

objetivos y criterios de selección de animales bajo esquemas de producción específicos, generalmente marginales (Escareño-Sánchez, 2010).

Sanidad

Castillo-Martínez *et al.* (2016) y Nava-Reyna *et al.* (2016), reportan la presencia de distintos géneros de garrapatas en varias especies animales de la región, dado que este tipo de artrópodos tiene potencial de parasitismo sobre el ser humano, resalta la necesidad de realizar estudios para determinar la carga de patógenos con potencial zoonótico (Ortega-Morales *et al.*, 2015). Por otra parte, la identificación de los artrópodos vectores mediante técnicas moleculares es de ayuda para determinar si existen diferencias genéticas entre las especies de ectoparásitos, así como determinar su capacidad vectorial para padecimientos que puedan afectar el rendimiento de los animales de producción y la salud humana (Garza-Hernández *et al.*, 2015).

V. Propósito de la demanda

Establecer tecnología adecuada a los hatos de caprinos del norte de México y cambiar radicalmente el sistema de manejo en condiciones extensivas, de tal forma que los niveles de producción de carne y leche se incrementen sustancialmente, y por consiguiente, los ingresos de los caprinocultores.

VI. Objetivos

6.1 Objetivo General

Desarrollar un programa de manejo integral de hatos caprinos en agostadero, que incluya técnicas innovadoras y efectivas de explotación en zonas áridas y semiáridas del norte de México.

6.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar los índices de productividad (producción de carne y leche) de los hatos de cabras manejados extensivamente en las zonas áridas y semiáridas del norte de México.

2. Caracterizar el impacto del pastoreo de las cabras sobre la dinámica de la vegetación, hidrología y suelo en el matorral parvifolio inerme.
3. Caracterizar la composición botánica y selectividad de la dieta de las cabras a través del año en el matorral parvifolio inerme.
4. Desarrollar un modelo de control de *Solanum eleagnifolium* y *Salsola iberica* mediante el pastoreo de cabras que pueda ser empleado como un método alternativo a los herbicidas.
5. Comparar el costo económico de la huella de carbono e hídrica con los beneficios económicos en la producción caprina de zonas áridas y semiáridas del norte de México.
6. Determinar el impacto ambiental de la producción caprina de zonas áridas y semiáridas del norte de México y proponer medidas de mitigación.
7. Determinar como la época del año (anestro, transición, época reproductiva) y tratamientos con hCG influyen en la respuesta estral en las cabras.
8. Determinar si existen diferencias morfológicas entre los distintos rangos sociales, como también, en el peso de los cabritos y en la producción láctea.
9. Determinar como el rango social afecta la respuesta sexual de las cabras anovulatorias, la fertilidad al parto, la cantidad y calidad del calostro y leche; y como el rango social en la cabra influye sobre el peso de las crías al parto y destete.
10. Evaluar la respuesta reproductiva en hembras caprinas empadradas con machos cabríos con condición corporal normal y baja tratados con testosterona a diferentes proporciones hembra-macho.
11. Contribuir al conocimiento de la taxonomía, biología y ecología de los ectoparásitos hematófagos en cabras de zonas áridas y semiáridas del norte de México.
12. Implementar esquemas de mejoramiento genético leche-carne, mediante la acción participativa de los productores en cabras con un alto nivel de encaste a razas lecheras bajo condiciones de pastoreo en residuos de cosechas y pastizales marginales.
13. Comparar las variables de crecimiento y sobrevivencia de cabritos en agostadero provenientes de machos cabríos Saanen, Alpino, Mestizos, Boer, Nubio, La Mancha y Kiko.
14. Determinar si el consumo de algunas plantas arbustivas nativas de matorrales de zonas áridas y semiáridas del norte de México afectan el crecimiento y las características seminales de machos caprinos mestizos.

15. Comparar el efecto de diluyentes sobre el estado físico del semen evaluando la concentración espermática, fragmentación de ADN espermático, porcentaje de motilidad masal, la motilidad progresiva y la viabilidad espermática post-descongelación.
16. Evaluar los efectos de suplementación sobre la reactivación de la función ovárica en cabras con un alto nivel de encaste a razas lecheras en anestro bajo condiciones de pastoreo en pastizales marginales y expuestas al efecto macho.
17. Evaluar el desempeño reproductivo en el reposo sexual de machos cabríos mestizos tratados con testosterona y sometidos a una complementación alimenticia.
18. Evaluar los efectos de la suplementación alimenticia antes y después del parto en cabras producidas en agostadero para medir y comparar los parámetros productivos de la madre (producción y calidad de leche) y de la cría (peso al nacimiento, ganancia de peso).
19. Evaluar el efecto antimicrobiano de biocompuestos derivados de plantas los agostaderos áridos del norte de México sobre los principales patógenos bacterianos de mastitis caprina, así como también el posible efecto asociativo entre biocompuestos de diferentes plantas de zonas áridas y semi áridas del norte de México.

VII. Justificación

El objetivo 2 del Plan Nacional de Desarrollo (PND; 2013-2018) (DOF, 2013) establece elevar el rendimiento de los productores y empresas del país mediante la evaluación, promoción y adopción de nuevas tecnologías. Además, 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), se definen como estrategias prioritarias e integrales 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, justo e incluyente, que garantice la seguridad alimentaria del país y contribuya al desarrollo rural integral. Este programa establece como objetivo 1, “Impulsar la productividad en el sector agroalimentario mediante inversión en capital físico, humano y tecnológico que garantice la seguridad agroalimentaria”, menciona asimismo “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)”.

Existe información escasa y fragmentaria sobre el manejo reproductivo, genético, sanitario y alimenticio de las cabras en agostadero. El manejo de este ganado sigue siendo muy primitivo (excepto por las razas lecheras introducidas a México en el siglo pasado, la explotación de las cabras no difiere mucho de cómo se explotaba este ganado durante la colonia), por lo que es muy urgente la incorporación de mejores prácticas de manejo en los hatos de caprinos en condiciones extensivas.

El desarrollo de investigaciones y estudios dirigidos a las diversas áreas de oportunidad, generarían conocimientos que complementarían en forma importante la información técnica ya disponible, para que de esta forma se disponga de recursos técnicos baratos y de fácil aplicación que, al implementarse a los hatos de cabras en pastoreo, generen un cambio radical en la producción de carne y leche de las cabras en ecosistemas desérticos del norte de México.

Lo anterior mejoraría en forma importante los ingresos de los caprinocultores, se haría un uso más eficiente de los recursos forrajeros del agostadero, con lo que se preservaría la biodiversidad y la salud de los ecosistemas del norte de México donde existen grandes núcleos de ganado caprino.

La implementación de las tecnologías desarrolladas redundaría también en una mejor nutrición del campesinado que vive en comunidades con hatos de cabras, pues habría una mayor producción de carne y leche que eventualmente se comercializaría entre los miembros de la comunidad donde se exploten estos animales.

VIII. Productos a entregar

1. Paquete tecnológico sobre el manejo integrado cabra-agostadero-producción en razas puras y mestizas para incrementar el uso de recursos aprovechables (residuos de cosecha de temporal) que a la vez desarrolle un modelo de control de *Solanum eleagnifolium* y *Salsola iberica*.

2. Documento de resultados que contenga la descripción de las principales especies vegetales consumidos por las cabras en zonas áridas y semiáridas del norte de México, que además detalle el valor nutricional y metabolitos secundarios.
3. Documento de resultados y manual de protocolo que contenga la metodología empleada para el cálculo de la huella de carbono y huella hídrica en cabras lecheras de zonas áridas y semiáridas del norte de México con al menos una propuesta para su mitigación.
4. Documento de resultados y manual de protocolo que contenga la metodología empleada para la inducción y sincronización del estro que contemple el análisis del anestro, transición estacional, época reproductiva y tratamientos hormonales.
5. Realizar un informe de resultados sobre la respuesta reproductiva en hembras caprinas empadradas con machos cabríos con condición corporal normal y baja tratados con testosterona determinando la proporción óptima para incrementar la respuesta reproductiva de las cabras que contrarreste la estacionalidad presente en zonas áridas y semiáridas del norte de México.
6. Un documento en el que se determine cuáles diferencias morfológicas existen entre los distintos rangos sociales del hato, su influencia en la respuesta sexual de las cabras anovulatorias, la fertilidad al parto; la cantidad, calidad del calostro y leche y peso de los cabritos.
7. Documento actualizado donde se encuentren los principales ectoparásitos hematófagos; que incluya taxonomía, biología, ecología y las afecciones que pueden traer consigo con respecto a la producción caprina.
8. Paquete tecnológico sobre el manejo integrado de esquemas de mejoramiento genético leche-carne con enfoque participativo.
9. Un documento que describa el comportamiento de las variables de crecimiento y sobrevivencia de los cabritos en agostadero provenientes de machos cabríos Saanen, Alpino, Mestizos, Boer, Nubio, La Mancha y Kiko.
10. Paquete tecnológico sobre la criopreservación de semen para la mejora genética y control reproductivo del sistema caprino en zonas áridas y semiáridas del norte de México y de al menos tres diluyentes efectivos que mantengan una alta calidad del semen post-descongelación, que determinen la concentración espermática, fragmentación de ADN espermático, porcentaje de motilidad masal, la motilidad progresiva y la viabilidad.

11. Documento que contenga resultados del consumo de plantas arbustivas que afectan el crecimiento y la calidad seminal, que evalúen la concentración espermática, fragmentación de ADN espermático, porcentaje de motilidad masal, la motilidad progresiva y la viabilidad.
12. Paquete tecnológico sobre el manejo integrado de cabras en agostadero, que interrelacione sus fases reproductivas con señales socio sexuales y al menos 2 suplementos alimenticios donde se midan y comparen los parámetros productivos de la madre (producción y calidad de leche) y de la cría (peso al nacimiento, ganancia de peso).
13. Paquete tecnológico sobre el manejo integrado del desempeño reproductivo de machos cabríos mestizos tratados con testosterona y sometidos a una complementación alimenticia.
14. Informe técnico donde describa las propiedades antioxidantes y anti bacterianas de los extractos de al menos cuatro plantas pertenecientes a la región del desierto Chihuahuense frente a algunos patógenos bacterianos de la mastitis caprina.
15. Producto biotecnológico para controlar los principales patógenos bacterianos de mastitis que afectan la productividad lechera, así como un documento que muestre el avance del registro de propiedad intelectual.
16. Realizar al menos tres cursos/talleres de capacitación y transferencia de tecnología de cada uno de los entregables establecidos. Dirigidos a productores, técnicos, personal de agencias estatales vinculadas a las innovaciones disponibles y las generadas en el proyecto, asimismo deberán estar presentes representantes del Fondo Sectorial.
17. 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

Alvarado-Espino AS, Meza-Herrera CA, Carrillo E, González-Álvarez VH, Guillen-Muñoz JM, Ángel-García O. 2016. Reproductive outcomes of Alpine goats primed with progesterone and treated with human chorionic gonadotropin during the anestrus-to-estrus transition season. Anim Reprod Sci. 2016;167:133–8.

- Álvarez L., Ducoing A.E. 2006. Aspectos Reproductivos en el ganado caprino. UNAM, México. 26 pp.
- Berry, E. 2006. Update on caprine mastitis. *Goat Veterinary Society Journal* 22, 40–42.
- Bronson, F.H. 1985. Mammalian reproduction: An ecological perspective. *Biol. Reprod.* 32: 1-26.
- Bronson, F. H. and Heideman, P. D. 1994. Seasonal regulation of reproduction in mammals. In *The Physiology of Reproduction* (E. Knobil, and J. D. Neill, Eds.), pp. 541–583.
- Castillo-Martínez, A., S.M. Cueto-Medina, R. Méndez-López, R. Pérez-Muñoz, S. Hernández-Rodríguez and A.I. Ortega-Morales. 2016. Garrapatas (Acari: Ixodidae, Argasidae) de la Comarca Lagunera en Durango, México. *Entomología Mexicana*. 3: 26-32.
- Contreras-Villarreal V, Meza-Herrera CA, Rivas-Muñoz R, Angel-García O, Luna-Orozco JR, Carrillo E. 2015. Reproductive performance of seasonally anovular mixed-bred dairy goats induced to ovulate with a combination of progesterone and eCG or estradiol. *Animal Science Journal*; doi: 10.1111/asj.12493.
- Escareño-Sanchez, L.M. 2010. Design and implementation of a community-based goat breeding program for smallholders in the north of México. Doctoral Dissertation. BOKU-University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Department of Sustainable Agricultural Systems, Vienna, Austria. 100 p.
- Escareño, L., M. Wurzinger, L. Iñiguez, J. Soelkner, H. Salinas, C.A. Meza-Herrera. 2013. Dairy goat production systems in dry areas: status-quo, perspectives and challenges. *Tropical Animal Health and Production*. 45(1):17-34. DOI: 10.1007/s11250-012-0246-6.
- Fernández O, Trujillo J., Peña J., Cerquera J. y Granga Y. Mastitis bovina: Generalidades y métodos de diagnóstico. *RedVet*. 2012. 13 (11).
- Gómez-Vázquez, H.G., C.A. Rosales-Nieto, R. Bañuelos-Valenzuela, J. Urrutia-Morales, M.O. Díaz-Gomez, J.M. Silva-Ramos and C.A. Meza-Herrera. 2008. Body condition

score positively influence plasma leptin concentrations in criollo goats. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 7(10):1237-1240.

Garza-Hernández, J.A., L.M. Hernández-Triana, A.I. Ortega-Morales, E.J. De Luna-Santillana and M.A. Rodríguez-Pérez. 2015. Collection data of black flies, mosquitoes, and sand flies of México for further DNA barcode study. *Genome*. 58(5).

Guerra-García, M., C.A. Meza-Herrera, M.T. Sanchez-Torres-Esqueda, J. Gallegos-Sanchez, G. Torres-Hernandez and A. Pro-Martinez. 2009. IGF-1 and ovarian activity of goats in divergent body condition and supplemented with non-degradable ruminal protein. *Agrociencia*. 43(3): 241-247.

Hermansen, J. E., Kristensen, T. (2011). Management options to reduce the carbon footprint of livestock products University of Aarhus, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Agroecology and Environment, Research Centre Foulum, PO Box 50, DK-8830 Tjele, Denmark.

Jones, B. A., D. Grace, R. Kock, S. Alonso, J. Rushton, M. Y. Said, D. McKeever, F. Mutua, J. Young, J. McDermott y D. U. Pfeiffer. 2013. Zoonosis emergence linked to agricultural intensification and environmental change. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 110(21): 8399-8404.

Juárez-Reyes, A.S., M.A. Cerrillo-Soto, C.A. Meza-Herrera, and G. Neváres-Carrasco. 2004. Diet composition intake, plasma metabolites and reproductive hormones during pregnancy in goats under semi-arid grazing conditions. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. 142(6):697-704.

Mellado, M., Valdez, R. Lara, L.M., López, R. 2003. Stocking rate effects on goats: A research observation. *J. Range Manage*. 56:167-173.

Mellado, M., Olvera, A., Quero, A. y Mendoza, G. 2005. Diet of prairie dogs, goats, and sheep on a desert rangeland. *Range. Ecol. Manage*. 58:373-379.

Mellado, M., L. Olivares, H. Díaz, J.A. Villarreal. 2006a. Placental traits in pen-fed goats and goats kept on rangeland. *J. Appl. Anim. Res*. 29: 133-136.

- Mellado, M., Valdéz, R., García, J.E., López, R., Rodríguez, A. 2006b. Factors affecting the reproductive performance of goats under intensive conditions in a hot arid environment. *Small Rumin. Res.* 63:110-118.
- Mellado, M. 2008 Técnicas para el manejo reproductivo de las cabras en agostadero. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 9: 47-63.
- Mellado, M., Aguilar, C.N., Arévalo, J.R., Rodríguez, A., García, J.E. Mellado, J., 2011. Selection for nutrients by pregnant goats on a microphyll desert scrub. *Animal*, 5, 972-979.
- Mellado M, Rodríguez A, Lozano EA, Dueñez J, Aguilar CN and Arévalo JR 2012. The food habits of goats on rangelands with different amounts of fourwing saltbush (*Atriplex canescens*) cover. *Journal of Arid Environments* 84, 91-96.
- Mellado, M. 2016. Dietary selection by goats and the implications for range management in the Chihuahuan Desert: a review. *The Rangeland Journal.* 38:331–341.
- Menzies, P. I., Ramanoon, S. Z. 2001. Mastitis of sheep and goats. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 172, 333–358.
- Meza-Herrera, C. A., J. M. Sánchez S., J. G. Chávez-Perches, H. Salinas, and M. Mellado. 2004. Protein supplementation, body condition and ovarian activity in goats. Preovulatory serum profile of insulin. *South African Journal of Animal Science.* 34(Suppl. 1):223-226.
- Meza-Herrera, C.A., L. Martínez, C. Aréchiga, R. Bañuelos, R.M. Rincon, J. Urrutia, H. Salinas and M. Mellado. 2006. Circannual identification and quantification of the constitutive heat shock proteins (HSP-70) in goats. *Journal of Applied Animal Research.* 29(1):9-12.
- Meza-Herrera, C.A., T. Ross, D. Hawkins and D. Hallford. 2006. Interactions between metabolic status, pre-breeding protein supplementation, uterine pH, and embryonic mortality in ewes: Preliminary observations. *Tropical Animal Health and Production.* 38(5):407-413.

- Meza-Herrera, C.A., T. Ross, D. Hallford, D. Hawkins, and A. González-Bulnes. 2007. Effects of body condition and protein supplementation on LH secretion and luteal function in sheep. *Reproduction in Domestic Animals*. 42(5):461-465.
- Meza-Herrera, C.A., J.A. Bocanegra V., R. Bañuelos, C.F. Aréchiga, R.M. Rincón, M.A. Ochoa-Cordero, A.S. Juárez-Reyes, M.A. Cerrillo-Soto, and H. Salinas. 2007. Circannual fluctuations in serum cortisol and glucose concentrations and hair coat growth in goats. *Journal of Applied Animal Research*. 31(1):79-82.
- Meza-Herrera, C.A., D. M. Hallford, J.A. Ortiz, R.A. Cuevas, J.M. Sanchez, H. Salinas, M. Mellado and A. Gonzalez-Bulnes. 2008. Body condition and protein supplementation positively affect periovulatory ovarian activity by non-LH mediated pathways in goats. *Animal Reproduction Science*. 106:412-420.
- Meza-Herrera, C.A., T. Ross, D. Hallford, D. Hawkins, and A. Gonzalez-Bulnes. 2010. High periconceptional protein intake modifies uterine and embryonic relationships increasing early pregnancy losses and embryo growth retardation in sheep. *Reproduction in Domestic Animals*. 45(4):723-728.
- Meza-Herrera, C.A., G. Calderón-Leyva, M.J. Soto-Sánchez, J. Abad-Zavaleta, J.M. Serradilla, A. García-Martínez, R. Rodríguez-Martínez, F.G. Veliz, U. Macías-Cruz, H. Salinas-González. 2012. The expression of birth weight is modulated by the breeding season in a goat model. *Annals of Animal Science*. 12(2):237-245.
- Meza-Herrera, C.A., Tena-Sempere, M. 2012. Interface between nutrition and reproduction: the very basis of production. In: *Animal Reproduction in Livestock*. [eds. S. Astiz, A. Gonzalez-Bulnes], in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, under the auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK, [<http://www.eolss.net>].
- Meza-Herrera CA. 2014. How to improve productive efficiency in goats?. The interaction targeted supplementation & reproductive outcomes. Main Conference. 2014- China Sheep and Goat Production and Academic Conference. Chinese Sheep and Goat Association & the International Goat Association, Liaocheng City, Shandong Province, 20-23, August, 2014. People's Republic of China.

- Meza-Herrera, C.A., J.M. Serradilla, M. E. Muñoz-Mejías, F. Baena-Manzano, A. Menendez-Buxadera. 2014. Effect of breed and some environmental factors on body weights till weaning and litter size in five goat breeds in Mexico. *Small Ruminant Research*. 121(2-3):215-219.
- Meza-Herrera, C.A., A. Vicente-Pérez, Y. Osorio-Marín, B. S. Girón-Gómez, E. Beltrán-Calderón, L. Avendaño-Reyes. A. Correa-Calderón, U. Macías-Cruz. 2015. Heat stress, divergent nutrition level and late pregnancy in hair sheep: Effects upon cotyledon development and litter weight at birth. *Tropical Animal Health and Production*. 47(5):819-824.
- Montaldo, H. H., and C. A. Meza-Herrera. 1998. Use of molecular markers and major genes in the genetic improvement of livestock. *Electronic Journal of Biotechnology*. ISSN: 0717-3458. Vol. 1 (2). <http://www.ejb.org/content/vol1/issue2/>
- Montaldo, H. H., and C. A. Meza-Herrera 1999. Genetic goat resources in Mexico: Bio-economical efficiency of local and specialized genotypes. *Wool Technology & Sheep Breeding*. 47(3):184-198.
- Nava-Reyna, E., A. Castillo-Martínez, V.H. González-Álvarez, R. Méndez-López, S.M. Cueto-Medina and A.I. Ortega-Morales. 2016. Incidencia de la garrapata café del perro en zonas rurales de la Comarca Lagunera de Coahuila, México. *Entomología Mexicana*. 3: 759-764.
- Ortega-Morales, A.I., A. Castillo-Martínez, S.M. Cueto-Medina, F.J. Sánchez-Ramos, M.T. Valdés-Perezgasga, F. Azuara-Yarzabal, S. Santoyo-Solórzano and J.M. Ortega-Arenas. 2015. First molecular detection of *Rickettsia* sp. in ticks from Rocky Mountain Spotted Fever of northeastern México. *Revista Biomédica*. Supl. 1.
- Pérez-Razo, M. A., F. Sánchez G.F., and C. A. Meza-Herrera. 1998. Factors affecting kid survival in five goat breeds. *Canadian Journal of Animal Science*. 78:407-411.
- Pérez-Razo, M. A., F. Sánchez, G. Torres-Hernández, C. Becerril-Pérez, J. Gallegos-Sánchez, F. González-Cosío, and C. A. Meza-Herrera. 2004. Risk factors associated with dairy goats stayability. *Livestock Production Science*. 89(2-3):139-146.

Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE). (2010). *Livestock in a Changing Landscape: Drivers, Consequences, and Responses*. Volume 1. [Steinfeld, H., Mooney, H. A., Schneider, F. and Neville, L. E. (Eds.)]. Published by Island Press 2010.

Schneider, F. (2010). Drivers of change in global agriculture and livestock Systems. In *Livestock in a changing landscape: drivers, consequences, and responses*. Vol 1. Edited by Steinfeld, H., Mooney, H. A., Schneider, F. and Neville, L. E. Published By Island Press 2010.

Seyoum, Z., T. Tadesse y A. Adissu. 2015. Ectoparasites prevalence in small ruminants in and around Sekela, Ahmara regional State, Northwest Ethiopia. *J. Vet. Med.* 2015: 1-6.

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Caprino – Población ganadera 2015. Consulta en línea: Mayo de 2017. <http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/165999/caprino.pdf>

Silanikove, N. 1985. Effect of dehydration on feed intake and dry matter digestibility in desert black bedouin and non-desert Swiss saanen goats fed on lucerne hay. *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Physiology*, 803, 449–452.

Silva, C.S.R., Villaça, C.L.P.B., Peixoto, R. de M., Mota, R.A., Ribeiro, M. de F., da Costa, M.M. 2012. Antibacterial effect of Brazilian brown propolis in different solvents against staphylococcus spp. isolated from caprine mastitis. *Ciencia Animal Brasileira* 13, 247–251.

Tongjura, J. D. C., G. A. Amuga, R. J. Ombugadu, Y. Azamu y H. B. Mafuiya. 2012. Ectoparasites infesting livestock in three local government areas (LGAs) of Nasarawa State Nigeria. *Sci. World J.* 7: 15-17.

Urrutia-Morales, J., C.A. Meza-Herrera, F.J. Escobar-Medina, H.G. Gamez-Vazquez, B.M. Ramirez-Andrade, M.O. Díaz-Gómez, and A. González-Bulnes. 2009. Relative roles of photoperiodic and nutritional cues in modulating ovarian activity in goats. *Reproductive Biology*. 9(3):283-294.

Villalba, J.J., Provenza, F.D. Hall, J.O. 2008. Learned appetites for calcium, phosphorus, and sodium in sheep. J. Anim. Sci. 86:738-747.

Zúñiga, S., Meza, C., Otal, J., Carrillo, E., Ángel, O., Arellano, G., Gaytán, L., Véliz, F. Effect of social status upon estrus activity in anovulatory goats treated with intramuscular progesterone plus equine chorionic gonadotropin. 2017. European Society for Domestic Animal Reproduction.

Contacto para consultas 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

Ing. César Adrián Espinosa Mancinas

Secretario Ejecutivo, Sistema Nacional de Investigación y Transferencia Tecnológica para el
Desarrollo Rural Sustentable

Correo Electrónico: cesar.espinosa@snitt.org.mx

Demanda 2. Desarrollo de tecnologías metabolómicas y su impulso en el sector agrícola de México.

I. Beneficiarios del proyecto

Productores agrícolas, comunidad científica, comercializadores, agroindustriales y los consumidores de productos de cultivos básicos-estratégicos de México (maíz, sorgo, trigo y chile) y plantas mexicanas medicinales-alimenticias.

II. Antecedentes

La metabolómica consiste en identificar y cuantificar los metabolitos contenidos en un sistema biológico (Dunn *et al.*, 2005; Verpoorte *et al.*, 2007; Cevallos-Cevallos *et al.*, 2009). El rango de pesos moleculares de estos metabolitos comprende entre los 30 y los 3,000 Dalton (Da) (German *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2011); al conjunto total de metabolitos presentes en una célula, órgano u organismo se le denomina metaboloma (Wishart, 2008; McNiven *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2011). Los compuestos químicos que forman parte del metaboloma son los péptidos, aminoácidos, ácidos nucleicos, carbohidratos, ácidos orgánicos, vitaminas, polifenoles, alcaloides, minerales o cualquier compuesto químico que sea usado, digerido o sintetizado por una célula u organismo (Wishart, 2008).

Los metabolitos son importantes para determinar el comportamiento del individuo. Son los productos finales de los procesos regulatorios celulares, y los niveles de estos pueden considerarse como la respuesta de los sistemas biológicos a cambios ambientales o genéticos; por lo anterior, se considera a la metabolómica como el enlace entre el genotipo y el fenotipo (Fiehn, 2002).

Algunos aspectos determinantes del estudio metabolómico son los análisis cualitativos y cuantitativos de los metabolitos celulares. A partir de esto, se puede conocer el estado bioquímico

de un organismo, lo cual se puede utilizar para monitorear y evaluar la función de los genes, además de las respuestas del organismo a las condiciones en las que se desarrolle (Fiehn *et al.*, 2000). Para tal fin, se utilizan técnicas analíticas especializadas en la separación e identificación de metabolitos. Tales técnicas deben ser de alta resolución, precisas y muy sensibles, además de poder analizar una gran variedad de compuestos de diferente naturaleza y origen químico. Existen diversas tecnologías analíticas que se pueden utilizar dependiendo de la naturaleza química de los compuestos, entre ellas la resonancia magnética nuclear (RMN), la cromatografía de gases y de líquidos acopladas a espectrometría de masas (CG-EM y CL-EM) y electroforesis capilar acoplada a espectrometría de masas (EC-EM) (Wishart, 2008), entre otras.

El proceso del análisis metabolómico puede ser desde muy simple hasta muy complejo dependiendo de lo que se analice y las condiciones en las que se lleve a cabo. Generalmente, el análisis consiste de una secuencia de pasos que incluyen procesos de separación, de extracción, de derivatización, de detección y de tratamiento de datos. El paso del tratamiento e interpretación de datos resulta determinante para el análisis metabolómico. Para esto se han combinado diversos programas informáticos y técnicas estadísticas, sobre todo los métodos multivariantes, dentro de los cuales podemos mencionar el análisis de datos estadísticos multivariantes (ADM), análisis de componente principales (ACP) y análisis discriminantes (AD) (Cevallos-Cevallos *et al.*, 2009). Lo anterior se puede resumir en 5 pasos básicos:

1. Adquisición de una base de datos.
2. Generación de una base de datos referencial.
3. Aislamiento e identificación de metabolitos.
4. Normalización y cuantificación.
5. Interpretación bioquímica.

La metabolómica ha llegado a posicionarse como una herramienta muy importante en diversas áreas de investigación, por ejemplo en el estudio de enfermedades humanas, nutrición, descubrimiento de drogas, fisiología vegetal (Cevallos-Cevallos *et al.*, 2009), agricultura, quimiotaxonomía (Wishart, 2008), industria farmacéutica, medioambiente e industria de alimentos (Wishart, 2008; Cevallos-Cevallos *et al.*, 2009).

Los objetivos del uso de las herramientas metabolómicas en la agricultura consisten en conocer la bioquímica y funciones de las especies involucradas para aplicar ese conocimiento a la seguridad alimentaria y ambiental; en general se pueden mejorar aspectos de nutrición, salud, dietas y mejoramiento genético de plantas basado en su composición química (Dixon *et al.*, 2006). Es importante resaltar el papel actual de la agricultura en la alimentación humana, principalmente por la escasez y competencia de recursos, el incremento de la población mundial y los efectos del cambio climático.

Específicamente en agricultura, existen diversas aplicaciones muy importantes, entre las que podemos mencionar las siguientes: la identificación de respuestas químicas a la sequía y la escasez de agua en diferentes variedades de plantas; evaluación del contenido de nutrientes de cultivos en diferentes tipos de suelos y expuestos a diferentes regímenes de fertilizantes y la caracterización de la calidad de productos en función de su manejo y la variedad del cultivo, quimiotaxonomía, mejoramiento genético, entre otros. En los años recientes, la metabolómica emergió como una herramienta útil en las ciencias biológicas debido a que uno de sus principales objetivos, es identificar cambios sutiles en los perfiles metabólicos entre sistemas biológicos en diferentes estados fisiológicos o patológicos (McNiven *et al.*, 2011). El metaboloma puede entenderse como el producto final de la expresión genética con un posible impacto en el fenotipo de una célula, tejido u organismo, de ahí que la cuantificación de los metabolitos proporciona un amplio panorama del estatus bioquímico, que puede ser utilizado para vigilar y establecer la función de un gen (Fiehn, 2002).

El número de metabolitos depende del sistema biológico estudiado. Para el reino vegetal se considera que éste puede estar conformado por alrededor de 200,000 metabolitos (García *et al.*, 2012). Dependiendo del campo de estudio, la metabolómica hace uso de diferentes estrategias: 1) “Target Metabolomics” (análisis del blanco-objetivo), en el que se monitorea solo un conjunto de metabolitos (o un metabolito en particular), los análisis son bien establecidos y robustos, y además se basa en conocimiento previos ya establecidos; 2) “Untargeted Metabolomics” (análisis no orientado), que se basa en el descubrimiento, se monitorean cambios en el metaboloma completo (lo que sea detectable), se enfoca en la identificación de diferencias entre dos o más clases y en determinar el origen de la diferenciación de clases; 3) “Metabolic profiling” (perfiles metabólicos), se centra en el análisis cuantitativo de un conjunto de metabolitos predefinidos, que

pertenecen a una clase de compuestos de una determinada ruta biosintética o de un grupo relacionado de metabolitos; 4) “Footprinting” (huella externa), análisis de (exo) metabolitos secretados/excretados por un organismo; si el organismo está creciendo en cultivo se puede incluir el análisis de condiciones ambientales y de sustancias de crecimiento; y 4) “Fingerprinting” (huella dactilar), análisis de metabolitos intracelulares con importancia bioquímica; es un análisis global para clasificar la muestra de acuerdo a su origen o estatus (caso/control, saludable/enfermo) (Fiehn, 2002). Las estrategias presentadas se aplican generalmente al distinguir las diferencias en las concentraciones de metabolitos después de las modificaciones genéticas o de cambios en el entorno de la célula, que tienen una influencia directa sobre estos niveles.

Es sabido que una sola técnica analítica es insuficiente para proveer la completa visualización del metaboloma (Hall *et al.*, 2002), por lo que es necesario realizar estudios por separado utilizando diversas técnicas o través de sistemas acoplados. La RMN tiene diversas aplicaciones en metabolómica, por ejemplo en control de calidad, en quimiotaxonomía (clasificación y caracterización), análisis de plantas genéticamente modificadas y en estudios de interacción entre organismos y el medio ambiente, además del estudio de enfermedades en humanos. En la actualidad el estudio del metaboloma basado en RMN es aceptado como una herramienta analítica eficiente para el estudio de sistemas biológicos (Kim *et al.*, 2011). La principal ventaja es que puede detectar una amplia variedad de compuestos químicos de diferente naturaleza, además de que la cuantificación es fácil; es una técnica altamente reproducible y la identificación de metabolitos es sencilla (Verpoorte *et al.*, 2008). Además, es un método rápido y simple, pero a la vez es poco sensible, además de que en la preparación de los extractos el daño hacia éstos es mínimo (Sumner *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2010).

Las principales técnicas analíticas que se emplean en metabolómica están basadas en resonancia magnética nuclear (NMR) y espectrometría de masas (MS). Esta última, se ha establecido en los últimos años como una herramienta esencial en el análisis de metabolitos, requiere de la preparación de los componentes metabólicos, ya sea mediante cromatografía de gases (GC) o cromatografía de líquidos (LC, HPLC).

La electroforesis capilar (CE) acoplada a masas (MS) se presenta como una alternativa prometedora, al igual que la Espectroscopía Infrarroja Transformada de Fourier (FTIR). También se han utilizado ensayos enzimáticos en la determinación de metabolitos (Zhang *et al.*, 2012).

Los análisis de metabolómica pueden ser una herramienta útil en el descubrimiento de sustancias bioactivas que se produzcan en la planta como resultado de la interacción con herbívoros, plagas, enfermedades u otra condición de estrés biótico o abiótico. Combinada con los resultados de los análisis de microarreglos de DNA, la metabolómica, ha ayudado a revelar nuevas vías de producción de metabolismo secundario, además de proporcionar nueva información sobre la vía de regulación de factores de transcripción y control de almacenamiento vacuolar de los metabolitos secundarios (Jansen *et al.*, 2009).

Asimismo, la metabolómica es una herramienta de frontera en el análisis multivariado que permite caracterizar la presencia de metabolitos importantes en diferentes matrices biológicas, que puede emplearse en el control de calidad nutricional, organoléptico y medicinal de productos a base de plantas.

III. Problemática

La identificación del metaboloma de las plantas cultivadas es un gran reto debido a las repercusiones del ambiente en el metabolismo, incluso en cultivos en invernadero donde las condiciones medioambientales son controladas (Dunn *et al.*, 2005).

La investigación de los metabolomas se ha dificultado por su enorme complejidad y dinamismo. Una técnica analítica ideal debería aplicarse directamente sobre las muestras, sin la necesidad de pretratamiento, además, debería ser reproducible, robusta, sensible y precisa (Lu *et al.*, 2008); no obstante, no hay una técnica que proporcione todas estas características.

La metabolómica en México es una técnica reciente y poco utilizada. Los investigadores que trabajan con esta técnica generalmente no la vinculan con la agricultura, y es una excelente herramienta para mejorar la productividad y las prácticas de manejo agrícola. Sin embargo, una fuerte limitante son los costos de los perfiles metabólicos y el análisis de la información es complejo, por lo cual es necesario generar tecnologías con costos más accesibles que permitan la

medición de muchos más metabolitos por muestra, así como el análisis simultáneo de muchas más muestras por corrida.

Por su amplio espectro de posibilidades de aplicación tanto en ciencia básica como aplicada, particularmente en la agricultura para el manejo y la producción de cultivos y por su escaso desarrollo actual en México, deben impulsarse las aplicaciones metabolómicas en el mejoramiento genético y el manejo de cultivos para potenciar un acelerado incremento del rendimiento y de la calidad, al tiempo de que se impulsa y fortalece la infraestructura científica y la formación de recursos humanos calificados en la materia.

Es importante conocer la actualidad de este campo de estudio en México e impulsarlo a partir de las bases que existen. Debido a lo anterior es realmente importante conocer los Centros de Investigación e Instituciones de Educación Superior que estén realizando trabajos al respecto y, sobre todo, conocer sus fortalezas en cuanto a recursos humanos e infraestructura, para poder integrar esfuerzos y poder lograr resultados que impacten de manera importante en México en el campo de la Metabolómica.

IV. Logros y avances

Al momento, se han desarrollado nuevas técnicas y estrategias de análisis masivo, que permiten la identificación de genes, proteínas y metabolitos en un momento o condición determinada. A la fecha se conocen la secuencias genómicas de más de 300 seres vivos, desde bacterias a mamíferos incluyendo hongos y plantas (García *et al.*, 2012). Es importante conocer la parte de la expresión de los genes mencionados, lo cual básicamente consiste en la obtención de los metabolitos. En agricultura, el contenido metabólico se relaciona directamente con los procesos de desarrollo y diferenciación, maduración de frutos, resistencia a factores ambientales, ataque de patógenos, y otros.

Las investigaciones actuales de la metabolómica en plantas pueden ayudar al mejoramiento de los cultivos para que los alimentos tengan mayor biodisponibilidad y proporción de compuestos

benéficos para la salud. Como ejemplo el análisis metabolómico del exudado de raíces de *Arabidopsis* identificó 125 metabolitos secundarios, los cuales difirieron entre las especies silvestres y domesticadas (Bhalla *et al.*, 2005).

Los proteomas de algunos cereales de importancia agronómica como cebada, maíz, arroz; así como el de *Arabidopsis thaliana*, la planta modelo por excelencia ya están disponibles; así como un gran número de estudios de metabolitos secundarios. La interpretación integral de los datos generados permitirá identificar las moléculas responsables de los diferentes procesos y eventualmente conocer el comportamiento molecular de los organismos bajo una condición definida. La correlación de estos resultados traerá por consecuencia la selección de condiciones para una mejor adaptación de los organismos (en este caso las plantas), para su sobrevivencia y utilidad. Los recursos analíticos y computacionales ya son lo suficientemente potentes y de amplio acceso como para permitir las investigaciones de la totalidad de los metabolitos celulares. Con las últimas mejoras en la espectrometría de masas (MS), por ejemplo, ahora es posible muestrear desde cientos a miles de picos de iones únicos e incluso extrapolar las concentraciones intracelulares nativas; todo, desde una pequeña cantidad de material inicial (Bennett *et al.*, 2009; Tautenhahn *et al.*, 2012) e incluso es posible el análisis de células individuales (Nemes *et al.*, 2013).

Debido a estas innovaciones recientes, la metabolómica se está convirtiendo rápidamente en una disciplina de rutina en diversas áreas de la investigación biológica, incluyendo biomarcadores de enfermedades y establecimiento de objetivos farmacológicos, farmacodinámica de drogas y la ingeniería metabólica (Chakraborty *et al.*, 2013; Vanholme *et al.*, 2012).

La capacidad para monitorear las transformaciones metabólicas de diversas fuentes biológicas en combinación con herramientas de expresión genética y de proteínas recombinantes, ha permitido que la metabolómica prospere en el contexto del descubrimiento de las enzimas específicas para diferentes situaciones funcionales (Prosser *et al.*, 2014).

Ya se dispone de una base de datos con información para facilitar los experimentos en metabolómica llamada “*Metabolite and Tandem MS database*” (METLIN). Es un repositorio de información de acceso público sobre metabolitos así como datos de espectrometría de masas. Contiene más de 64,000 estructuras y además representa un sistema de gestión de datos diseñado

para asistir en un amplio rango de investigaciones en metabolitos y su identificación. En su sitio web (<http://metlin.scripps.edu/index.php>) está disponible una lista de los metabolitos conocidos y su masa, fórmula química y estructura. La lista se amplía continuamente según se va investigando y descubriendo más información de los metabolitos; por lo que su uso supone un ahorro de tiempo importante a los grupos de investigación. También existe otra plataforma de base de datos metabolómicos obtenida con Resonancia Magnética Nuclear; la identificación de metabolitos a través de los módulos AMIX 3.8 en combinación con la base de datos espectral BBIREFCODE 2.0.0 (Bruker BioSpin: <https://www.bruker.com/products/mr/nmr/nmr-software/software/bbiorefcod/overview.html>).

De los principales cultivos que han sido objeto de estudio metabolómico a nivel mundial están el maíz, aguacate, jitomate y papa, cuyos temas han sido variados: desarrollo y crecimiento, maduración de frutos, ingeniería metabólica, transgénicos, modificación de rutas metabólicas, interacción planta-patógeno, diversidad fitoquímica, quimiotaxonomía, entre otros (Ibarra-Estrada *et al.*, 2016).

En México, aún son escasos los grupos de investigación en metabolómica vegetal, por lo que su identificación y acercamiento en forma de redes de trabajo es una meta muy importante a seguir e impulsar.

V. Propósito de la demanda

Desarrollo de aplicaciones metabolómicas innovadoras de apoyo a un mejor manejo agronómico y al mejoramiento genético asistido de cultivos básicos-estratégicos y plantas medicinales-alimenticias de México.

VI. Objetivos

6.1 Objetivo general

Impulsar el desarrollo de la metabolómica agrícola en México, a través de la generación de tecnologías e innovaciones para aplicarse en aspectos de manejo agronómico, mejoramiento genético y obtención de productos con valor agregado de cultivos básicos-estratégicos y plantas medicinales-alimenticias.

6.2 Objetivos específicos

1. Desarrollar metodologías y/o tecnologías necesarias para identificar y usar biomarcadores y perfiles metabolómicos, de detección y predicción, para:
 - a) Mejor manejo agronómico (nutricional; y antiestrés abiótico: uso de marcadores/indicadores e inductores de resistencia a sequía y heladas) de cultivos básicos-estratégicos de México (maíz, sorgo, trigo, chile, entre otros).
 - b) Establecer las bases para el mejoramiento genético asistido (o su caso la realización de mejoramiento genético) de maíz (obtención de variedades altamente nutritivas y resistentes a estreses bióticos y abióticos), sorgo (resistencia a enfermedades), sorgo dulce (alta concentración de azúcares, resistencia y/o tolerancias a plagas y enfermedades), trigo (resistente a royas y tolerantes a sequías y heladas), chile (resistencia a sequía, manejo nutricional, metabolitos de interés alimenticio y en salud), y otros; utilizando técnicas analíticas, de preferencia acopladas, para mayor sensibilidad, resolución y mejores resultados.
2. Establecer metodologías metabolómicas de análisis para la identificación de especies mexicanas endémicas de plantas medicinales-alimenticias con potencial agronómico sintetizadoras de compuestos con propiedades nutritivas y funcionales.
3. Desarrollar y validar metodologías y/o técnicas metabolómicas de alta capacidad de procesamiento en número de muestras y con costos accesibles para el sector científico y productivo de México.
4. Diseñar y aplicar un modelo de transferencia de tecnología, capacitación y asistencia técnica, vinculado a las innovaciones tecnológicas metabolómicas disponibles y generadas en el

proyecto para incrementar la productividad y rentabilidad sustentable de cultivos básicos-estratégicos y plantas medicinales-alimenticias.

5. Realizar un diagnóstico integral sobre los desarrollos tecnológicos metabolómicos aplicables a los cultivos básicos-estratégicos y plantas medicinales-alimenticias de México, así como impulsar la interacción y trabajo en equipo entre grupos de investigación para potencializar la metabolómica en México.
6. Promover la formación de recursos humanos altamente capacitados en el área de metabolómica agrícola y medicinal, a través de eventos científicos y cursos de capacitación que cuenten con la participación de especialistas reconocidos a nivel nacional e internacional, así como fomentar la formación de redes de trabajo al interior y exterior del país.
7. Proyectar el uso potencial de la Metabolómica sobre diversas cadenas de valor o cultivos para establecer nuevas áreas de oportunidad en el sector agroalimentario mexicano.

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 Plan Sectorial (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 (SNITT), como parte de sus funciones estratégicas, realizó un taller de vinculación con expertos en el tema de metabolómica y afines en la materia, para conocer la

situación actual y perspectivas de aplicación de esta área del conocimiento en el sector agropecuario. Así mismo, se 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.

Algunas de las perspectivas y aplicaciones planteadas en el taller, respecto a la ciencia y técnica de la metabolómica son: mejoramiento genético, agronomía, control de calidad, certificación con base en producto final, plantas medicinales y aromáticas, entre las más importantes. La metabolómica en México es una herramienta reciente y poco utilizada. Los investigadores que trabajan con ella generalmente no la vinculan con la agricultura o actividades pecuarias, y es un excelente medio de apoyo para mejorar la productividad agropecuaria y buenas prácticas agrícolas. Sin embargo una fuerte limitante son los elevados costos de los perfiles metabólicos y el análisis de la información es complejo, por lo cual es necesario generar tecnologías con costos más accesibles que permitan la medición de muchos más metabolitos por muestra.

El acelerado crecimiento demográfico en el mundo y en México obliga a una mayor producción de alimentos agrícolas y pecuarios. La expansión de la demanda de alimentos tiene impactos tecnológicos y estructurales significativos en el sector agropecuario. La producción animal y vegetal en países en desarrollo como México necesita ser aumentada, principalmente para satisfacer la demanda del consumidor, utilizando eficazmente todos los recursos que hasta la fecha resultan escasos. Por ello, se considera que la aplicación de nuevas tecnologías moleculares, cómo la metabolómicas ayudarán a lograr un incremento en la producción y en la calidad de los productos, dotando de mayor capacidad competitiva a las explotaciones, las que proporcionarán respuestas rápidas y eficaces a la crisis alimentaria.

De igual forma, la metabolómica es una herramienta novedosa que permite una mejor medición de las interacciones genotipo-ambiente (los efectos de la sequía, diferentes tipos de estrés biótico y abiótico, la dieta, los pesticidas, de los herbicidas y de la temperatura sobre la fisiología y función), con lo que se puede contribuir a afrontar de mejor manera los retos presentes y venideros del cambio climático. Por ello, el uso de la metabolómica como herramienta en el

mejoramiento genético agrícola, y el manejo eficiente de los cultivos para aumentar la productividad, calidad y tolerancia a factores de estrés, es esencial para contribuir a la soberanía alimentaria en México.

VIII. Productos a entregar

1. Documento con los resultados del desarrollo de las metodologías o tecnologías necesarias para identificar y usar biomarcadores y perfiles metabolómicos para un mejor manejo agronómico y mejoramiento genético (o establecimiento de las bases) de cultivos básicos-estratégicos, con evidencia de trámite de propiedad intelectual.
2. Documento con las metodologías de análisis metabolómicos para la identificación de especies endémicas de plantas medicinales-alimenticias con potencial agronómico sintetizadoras de compuestos con propiedades funcionales, así como los resultados de selección de las mismas para promover el cultivo agronómico de plantas élite destinadas a la obtención de productos con valor agregado en términos nutraceuticos, con evidencia de trámite de propiedad intelectual.
3. Documento con los resultados de la(s) metodología(s) metabolómica(s) validadas de alta capacidad de procesamiento en número de muestras a costos más accesibles, con evidencia de trámite de propiedad intelectual.
4. Documento en el que se incluya el diseño y aplicación de un modelo de transferencia de tecnología, capacitación y asistencia técnica, vinculado a las innovaciones tecnológicas disponibles y generadas en el proyecto para incrementar la productividad y rentabilidad de los cultivos básicos-estratégicos y plantas medicinales-alimenticias incluidos en la propuesta, dirigido al sector productivo de México (agrónomos, técnicos y productores), con evidencia de trámite de propiedad intelectual.
5. Documento que incluya un diagnóstico integral sobre la infraestructura y desarrollos tecnológicos con los que cuenta México en cuestiones de metabolómica agrícola (al inicio y al final del proyecto) (laboratorios, catálogo de equipos, grupos de investigación, instituciones, formación de recursos humanos, técnicas metabolómicas disponibles, comparativo de precios nacionales e internacionales de análisis, etc.).

- Evidencias de cursos de capacitación para científicos, técnicos de laboratorio, estudiantes (formación de recursos humanos altamente capacitados) en las áreas de metabolómica agrícola y medicinal, así como la formación de redes de trabajo interinstitucionales e interdisciplinarias al interior y exterior de México, que promuevan y fomenten la metabolómica.

IX. Literatura citada

- Bhalla, R., K. Narasimhan, and S. Swarup. 2005. Metabolomics and its role in understanding cellular responses in plants. *Plant Cell Reports* 24: 562-571.
- Bennett B. D., E.H. Kimball, M. Gao, R. Osterhout, S.J. van Dien, J. D. Rabinowitz. 2009. Absolute metabolite concentrations and implied enzyme active site occupancy in *Escherichia coli*. *Nature Chemical Biology* 5:593-599.
- Cevallos-Cevallos, J. M., J. I. Reyes-De-Corcuera, E. Etxeberria, M. D. Danyluk, and G. E. Rodrick. 2009. Metabolomic analysis in food science: a review. *Trends in Food Science & Technology* 20:557-566.
- Chakraborty, S., T. Gruber, C. E. Barry, H. I. Boshoff, and K. Y. Rhee. 2013. Paraaminosalicylic acid acts as an alternative substrate of folate metabolism in *Mycobacterium tuberculosis*. *Science* 339: 88-91.
- Dixon, R. A., D.R. Gang, A. J. Charlton, O. Fiehn, H.A. Kuiper, T. L. Reynolds, R.S. Tjeerdema, E.H. Jeffery, J.B. German, W.P. Ridley, and J.N. Seiber. 2006. Applications of metabolomics in agriculture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54:8984-8994.
- Dunn, W. B., N. Bailey, and H.E. Johnson. 2005. Measuring the metabolome: current analytical technologies. *Analyst* 130:606-25.

- Fiehn, O., J. Kopka, P. Dormann, T. Altmann, R. N. Trethewey, y L. Willmitzer. 2000. Metabolite profiling for plant functional genomics. *Nature Biotechnology* 18:1157-1161.
- Fiehn, O. 2002. Metabolomics - the link between genotypes and phenotypes. *Plant Molecular Biology* 48: 155-171.
- García, M.L., H.J. Alonso, P.I. Torres, G.R. Guevara, and H.A. Cruz. 2012. Participación de las ciencias analíticas modernas (Genómica, Proteómica, Metabolómica) en el estudio de las plantas. *Ciencia@UAQ* 5:1-11.
- German, J. B., B. D. Hammock, and S. M. Watkins. 2005. Metabolomics: building on a century of biochemistry to guide human health. *Metabolomics* 1:3-9.
- Hall, R., M. Beale, O. Fiehn, N. Hardy, L. Sumner, and R. Bino. 2002. Plant metabolomics as the missing link in functional genomics strategies. *Plant Cell* 14: 1437-1440.
- Ibarra-Estrada, E., R. M. Soto-Hernández, and M. Palma-Tenango. 2016. Metabolomics as a tool in agriculture - Fundamentals and Applications, Dr Jeevan Prasain (Ed.), InTech, pp:149-168. DOI: 10.5772/66485. Available from: <https://www.intechopen.com/books/metabolomics-fundamentals-and-applications/metabolomics-as-a-tool-in-agriculture>
- Jansen, J. J., J. W. Allwood, E. Marsden-Edward, W.H. van de Putten, R. Goodacre, and N.M. van Dam. 2009. Metabolomic analysis of the interaction between plants and herbivores. *Metabolomics* 5: 150-161.
- Kim, H. K., Y. H. Choi, y R. Verpoorte. 2010. NMR-based metabolomic analysis of plants. *Nature Protocols* 5: 536-549.
- Kim, H. K., Y. H. Choi, y R. Verpoorte. 2011. NMR-bases metabolomics: where do we stand, where do we go? *Trends in Biotechnology*. 29: 267-275.
- Lu, W., B.D Bennett, and J.D. Rabinowitz. 2008. Analytical strategies for LC-MS-based targeted metabolomics. *Journal of Chromatography B* 871: 236-242.

- McNiven, E.M.S., J.B. Geramn, and C.M. Slupsky. 2011. Analytical metabolomics: nutritional opportunities for personalized health. *Journal of Nutritional Biochemistry* 22: 995-1002.
- Nemes, P., S.S. Rubakhin, J.T. Aerts, J.V. Sweedler. 2013. Qualitative and quantitative metabolomic investigation of single neurons by capillary electrophoresis electrospray ionization mass spectrometry. *Nature Protocols* 8:783-799.
- Prosser, G. A., G. Larrouy-Maumus, and L.P.S. Carvalho. 2014. Metabolomic strategies for the identification of new enzyme functions and metabolic pathways. *Embo Reports* 15: 657-669.
- Sumner, L. W., P. Mendes, and R. A. Dixon. 2003. Plant metabolomics: large-scale phytochemistry in the functional genomics era. *Phytochemistry* 62: 817-836.
- Tautenhahn, R., K. Cho, W. Uritboonthai, Z. Zhu, G.J. Patti, and G. Siuzdak. 2012. An accelerated workflow for untargeted metabolomics using the METLIN database. *Nature Biotechnology* 30: 826-828.
- Vanholme, R., V. Storme, B. Vanholme, L. Sundin, J.H. Christensen, G. Goeminne, C. Halpin, A. Rohde, K. Morreel, and W. Boerjan. 2012. A systems biology view of responses to lignin biosynthesis perturbations in *Arabidopsis*. *The Plant Cell* 24: 3506-3529.
- Verpoorte, R., Y. H. Choi, and H. K. Kim. 2007. NMR-based metabolomics at work in phytochemistry. *Phytochemistry Reviews* 6: 3-14.
- Verpoorte, R., Y. H. Choi, N. R. Mustafa, and H. K. Kim. 2008. Metabolomics: back to basics. *Phytochemistry Reviews* 7:525-537.
- Wishart, D. S. 2008. Metabolomics: applications to food science and nutrition research. *Trends in Food Science & Technology* 19:482-493.
- Zhang, A., H. Sun, P. Wang, Y. Han, and X. Wang. 2012. Modern analytical techniques in metabolomics analysis. *Analyst* 137:293-300.

Contacto para consultas 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

Ing. César Adrián Espinosa Mancinas

Secretario Ejecutivo, Sistema Nacional de Investigación y Transferencia Tecnológica para el

Desarrollo Rural Sustentable

Correo Electrónico: cesar.espinosa@snitt.org.mx

Demanda 3. Innovaciones tecnológicas para la conservación y reproducción de peces marinos con énfasis en Totoaba (*Totoaba macdonaldi*).

I. Beneficiarios

Sectores productivos acuícola y pesquero, comercializadores, Centros de Investigación (CI), Institutos de Educación Superior (IES) y empresas de la región noroeste del país (Baja California, Baja California Sur, Sinaloa y Sonora) interesadas en el cultivo de totoaba (*Totoaba macdonaldi*).

II. Antecedentes

La totoaba es una especie emblemática del noroeste mexicano considerado como la primera especie marina incluida en las listas de especies en peligro de extinción, actualmente bajo el régimen de la NOM-059-ECOL-SEMARNAT-2010. Representó un importante recurso pesquero a inicios y mediados del siglo XX (Berdegú, 1955; Arvizu and Chávez, 1972). Sus capturas llegaron a un máximo de 2,000 t a mediados de los 40's, sin embargo, la interacción de diversos factores como sobrepesca, degradación de hábitat y pesca incidental por parte de los barcos camaroneros, derivaron en el colapso de la población ya que sus capturas iniciaron un claro declive hasta capturar sólo 54 t en 1975 (Cisneros-Mata *et al.*, 1995).

En ese mismo año, fue declarada una veda permanente por el gobierno mexicano. Al siguiente año, en 1976 fue enlistada en el apéndice I por parte de Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), y en 1979 fue enlistada en el Acta de Especies Amenazadas de Estados Unidos (ESA) (Barrera-Guevara, 1990). Estudios recientes muestran que ha permanecido estable y/o con signos de recuperación (Valenzuela-Quiñonez *et al.*, 2011; Valenzuela-Quiñonez *et al.*, 2014; Valenzuela-Quiñonez *et al.* 2015; Valenzuela-Quiñonez *et al.* 2016), pero aún se encuentra enlistada en una alta categoría de amenaza. Esto ha limitado su potencial aprovechamiento como recurso pesquero, sin embargo, una opción viable de utilizarla como detonante de desarrollo social y económico es mediante su cultivo.

En los últimos años se han realizado diferentes investigaciones sobre su ciclo de vida, así como para la generación de conocimiento sobre su reproducción, esto con el propósito de llevar a cabo actividades de conservación, repoblación y aprovechamiento sustentable de la especie. Entre los mayores logros están el mantenimiento de adultos y su reproducción en cautiverio, así como también su manejo acuícola que ha permitido la producción controlada de juveniles (True, 2012 IAES, 2015).

La acuicultura de totoaba representa un gran potencial por sus características biológicas de fácil acondicionamiento a cultivo, elevada tasa de crecimiento, alta tasa de conversión alimenticia, y resistencia a parásitos. Por su calidad nutricional y sabor suave, algunos de sus subproductos son considerados dentro de los tesoros de la comida asiática lo cual favorece un mercado no sólo nacional sino internacional.

Su cultivo se lleva a cabo mediante Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA); gracias a ello se cuentan con avances tecnológicos para su reproducción en cautiverio, principalmente con fines de repoblamiento. Actualmente, sólo hay tres UMAs que funcionan como centros de reproducción de totoaba: UABC, CREMES y Heart Ocean Farms ubicados en Baja California, Sonora y Baja California Sur, respectivamente. Así mismo, sólo existen 2 UMAs de engorda de totoaba, por lo que se está transitando hacia su producción comercial, esto crea la necesidad de mejorar las tecnologías productivas existentes de cara a una nueva realidad. Hace falta integrar al sector académico y empresarial para la recuperación de esta especie en el medio silvestre. La importancia de implementar programas sanitarios, nutricionales, reproductivos y genéticos, nos garantiza una mayor factibilidad de producción de semilla de manera sistemática.

Es por ello que se requiere acceder a la validación de técnicas y modelos de producción acuícola que promuevan las actividades productivas con especies de peces de alto valor comercial. El desarrollo de las biotecnologías para la maricultura de estas especies, resulta fundamental para concretar actividades productivas que propicien la diversificación acuícola, el desarrollo regional que contribuya a mitigar el problema económico y social en las zonas rurales marginadas.

Urge detonar cultivos alternos para el sector acuícola y empresarial a fin de superar el rezago de la actividad y evitar así, la exclusiva dependencia de un monocultivo, como es el caso de la acuicultura

del camarón, que en los últimos años ha presentado problemas de virus y bacterias, con grandes pérdidas económicas para el sector.

III. Problemática

Actualmente la totoaba se encuentra sujeta al régimen de especie en peligro de extinción bajo la NOM-059-ECOL-SEMARNAT-2010. La especie está siendo estudiada desde varios enfoques, incluyendo el genético, tanto para conservar la especie, como para su posible explotación sustentable a través de su cultivo.

La pesquería de totoaba comenzó alrededor de 1920, incrementándose significativamente hasta 1942, reportando casi 2,300 toneladas. Esta fue disminuyendo sistemáticamente hasta 1958 con sólo 280 toneladas, aunque la captura mínima se registró en 1975 con 59 toneladas (True, 2012). Esta situación aunada al cambio de su hábitat por la construcción en Estados Unidos de América de las presas Hoover en 1930 y Gleen Canyon en 1950, disminuyó alarmantemente su población, por lo que se convirtió por decreto en una especie protegida (de Anda-Montañez, *et al.*, 2013). Para la protección de esta especie la legislación mexicana impuso veda permanente a partir de 1974. Así mismo, para evitar su venta a nivel internacional, se incluyó en la Convención Internacional del Tráfico de Especies Silvestres de flora y fauna en peligro (CITES) como especie en peligro de extinción en 1976 (True, 2012); por lo que el aprovechamiento sustentable de esta especie a través del cultivo intensivo representa una gran área de oportunidad y crecimiento económico, generando fuentes de alimento, empleos permanentes y divisas para el país.

Por lo tanto, es necesaria la validación de la tecnología para la reproducción y engorda de la totoaba. No se tiene un control del proceso reproductivo, ya que aún está muy relacionado a su ciclo natural. Se carece de dieta específica para la especie y para cada una de sus etapas. No se cuenta con un protocolo de buenas prácticas y monitoreo que permita conocer las posibles enfermedades a las cuales estará expuesta la especie. Es necesario implementar un seguimiento genético tanto de los organismos que se liberan como los que se encuentran en el cultivo.

Es importante destacar que la investigación para la acuicultura, no sólo es fundamental para concretar una actividad productiva que impulse la diversificación acuícola, que propicie el desarrollo

regional y contribuya a mitigar el problema económico y social en las zonas rurales marginadas; sino que a su vez, esta investigación ayuda a solucionar el problema de la pesca tradicional, como lo es la sobreexplotación de las especies, disminuyendo la presión pesquera sobre las poblaciones naturales.

IV. Logros y avances

Actualmente se logra la reproducción con apoyo hormonal, después de lograr la maduración a través del control de parámetros medio ambientales, sin embargo, aún no es posible el control fuera de su temporada reproductiva. Se presenta buena supervivencia en el cultivo larvario, aunque se tiene un significativo grado de deformidades y se lleva a cabo exitosamente el proceso de engorda, a pesar de ello, se carecen de dietas adecuadas para cada etapa y se carece de una dieta específica para la especie. Se han llevado a cabo estudios sobre el pool genético de la especie en el medio natural, pero no se ha dado seguimiento a los organismos liberados y su impacto en la población. Se debe llevar un control genético de la producción para evitar la endogamia en los centros de cultivo.

Los avances en reproducción y engorda son muy halagadores para desarrollar y detonar la industria de cultivos de peces marinos, por lo que es fundamental la producción intensiva y de excelente calidad de crías de totoaba. Cabe destacar las bondades de la especie, tales como: rápido crecimiento, alto valor comercial, alta sobrevivencia y manejo de la especie.

V. Propósito de la demanda

Aplicación de desarrollos tecnológicos, mediante la conservación y reproducción de totoaba que a su vez ayude a incentivar la industria de la maricultura en la zona noroeste de México.

VI. Objetivos

6.1 Objetivo general

Generar tecnologías de producción del cultivo de totoaba y aplicar desarrollos tecnológicos para su conservación y aprovechamiento sustentable.

6.3 Objetivos específicos

1. Diseñar y construir un centro de reproducción donde se pueda llevar a cabo la reproducción controlada de varios lotes reproductores, tanto en su temporada reproductiva como fuera de ésta.
2. Desarrollo de un plan para la puesta en marcha y demostración del funcionamiento del centro de reproducción de peces marinos con énfasis en totoaba.
3. Validar la metodología de maduración y desove, tanto para su ciclo normal como fuera de su temporada reproductiva.
4. Validar la metodología para el cultivo larvario e incrementar la supervivencia y disminuir deformidades.
5. Configurar una dieta para la maduración de reproductores, así como para cada una de sus etapas, desde el destete, preengorda y engorda.
6. Desarrollar un plan de manejo genético para el mantenimiento y monitoreo de la variabilidad genética considerando los centros de producción y el seguimiento a los organismos liberados.
7. Desarrollar un manual de buenas prácticas, que incluyan la profilaxis, monitoreo y tratamientos posibles contra parásitos y enfermedades.
8. Desarrollar un plan sanitario, que plantee el seguimiento al crecimiento de los cultivos y poder detectar cualquier posible problema sanitario, que determine las posibles transferencias de semilla y reproductores, así como distancia entre centro de engorda.

VII. Justificación

Se entiende que, al ser una especie considerada en peligro de extinción, se requieren los proyectos encaminados hacia el cultivo controlado de la especie, por lo que se justifica la validación de la tecnificación de esta especie. La nutrición de reproductores es importante para la producción de juveniles con alta supervivencia, así para mitigar los patógenos bajo condiciones controladas a través de un monitoreo de buenas prácticas, así como para el monitoreo de la variabilidad genética en cultivo.

Para generar los resultados, se debe contar con un plan de transferencia tanto para la producción de juveniles como para la producción en jaulas a nivel comercial. Además, se debe impulsar la investigación y el desarrollo tecnológico, utilizando herramientas, infraestructura y conocimiento, para eficientar y garantizar la inocuidad de los productos en la industria acuícola, la cadena de suministro, la trazabilidad y apropiación del valor en la comercialización.

VIII. Productos a entregar

1. Un centro de reproducción que incluya su diseño, construcción y equipamiento para ciclo repetitivo de producción de totoaba, su aprovechamiento y manejo sustentable.
2. Un documento que contenga un protocolo de validación de la metodología referente a la maduración y desove, tanto para su ciclo normal como fuera de su temporada reproductiva, con evidencia de trámite para registro de protección intelectual.
3. Un documento que contenga una metodología para el cultivo larvario que plantee incrementar la supervivencia y disminuir deformidades del cultivo de totoaba, con evidencia de trámite para registro de protección intelectual.
4. Manual técnico sobre el manejo genético para el mantenimiento y monitoreo de la variabilidad genética considerando los centros de producción y el seguimiento a los organismos liberados, con evidencia de trámite para registro de protección intelectual.
5. Un manual técnico de buenas prácticas que incluyan la profilaxis, monitoreo y tratamientos posibles contra parásitos y enfermedades, con evidencia de trámite para registro de protección intelectual.
6. Un manual técnico referente a un plan sanitario, que garantice el crecimiento de los cultivos y que pueda detectar cualquier posible problema sanitario, además, que

determine las posibles transferencias de semilla y reproductores, así como distancia entre centro de engorda, con evidencia de trámite para registro de protección intelectual.

7. Un documento que contenga un plan para la transferencia, implementación de tecnología e innovaciones generadas en el centro de reproducción para el desarrollo de la acuicultura a nivel comercial.
8. Un documento que contenga un programa de capacitación a productores e inversionistas sobre técnicas y tecnologías disponibles para el desarrollo de la maricultura a nivel comercial, generando, además, evidencia de realización de al menos tres talleres de capacitación.
9. Un documento que contenga evidencias audiovisuales que haga referencia a cursos-talleres de capacitación y manuales operativos diversos sobre maduración-reproducción, producción de alevines, nutrición, diagnóstico de enfermedades, parásitos, monitoreo sanitario, buenas prácticas, entrecruzamientos y repoblamiento de peces en cautiverio.

IX. Literatura Citada

Arvizu J, Chávez H. 1972 Sinopsis sobre la biología de la totoaba *Cynoscion macdonaldi* Gilbert, 1891. FAO fisheries synopsis. 108:1-27.

Barrera-Guevara, JC. 1990, The conservation of *Totoaba macdonaldi* (Gilbert), (Pisces: Sciaenidae), in the Gulf of California, México. Journal of Fish Biology. 37(Supplement SA):201-202.

Berdegúe, AJ. 1955, La pesquería de Totoaba (*Cynoscion macdonaldi*) en San Felipe, Baja California. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. 16(1-4):45-78.

Cisneros-Mata, MA, Montemayor-López, G, Román-Rodríguez, MJ. 1995 Life history and conservation of *Totoaba macdonaldi*. Conservation Biology. 9(4):806-814.

IAES, Infografía de la totoaba. (Fecha de consulta 3 de septiembre de 2015) Disponible en <http://www.iaes.gob.mx/index.php?pag=infografia-de-la-totoaba>.

De Anda-Montañez, J. A., García de León, F. J., Zenteno-Savín, T., Balart-Paez, E., Méndez-Rodríguez, L. C., Bocanegra-Castillo, N., Martínez-Aguilar, S., Campos-Dávila, L., Román Rodríguez, M. J., Valenzuela-Quiñonez, F., Rodríguez-Jaramillo, M. E., Meza-Chávez, M. E., Ramírez-Rosas, J. J., Saldaña-Hernández, I. J., Olguín-Monroy, N. O. y M. E. Martínez-Delgado. 2013. Estado de salud y estatus de conservación de la(s) población(es) de totoaba (*Totoaba macdonaldi*) en el Golfo de California: una especie en peligro de extinción. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. La Paz, Baja California Sur. Informe Final, SNIB-CONABIO. Proyecto No. HK050, México, D.F.

True, D., 2012, Desarrollo de la biotecnia de cultivo de *Totoaba macdonaldi*. Tesis de Doctorado para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de: Doctor en Ciencias en Oceanografía Costera. Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, Baja California.

Valenzuela-Quiñonez, F, Arreguín-Sánchez, F, Salas-Márquez, S, F.J. G-DL, Garza, JC, Román-Rodríguez MJ, De-Anda-Montañez, JA. 2015 Critically Endangered totoaba *Totoaba macdonaldi*: signs of recovery and potential threats after a population collapse. *Endangered Species Research*, 29(1):1-11.

Valenzuela-Quiñonez, F, De-Anda-Montañez, JA, Gilbert-Horvath, E, Garza, JC, García-De León, FJ. 2016, Panmixia in a Critically Endangered Fish: The Totoaba (*Totoaba macdonaldi*) in the Gulf of California. *Journal of Heredity*. 107(6):496-503.

Valenzuela-Quiñonez F, García-De León FJ, De-Anda-Montañez J, Balart EF. 2011 La totoaba del Golfo de California ¿Una especie en peligro de extinción? *Interciencia*. 36(9):664-671.

Valenzuela-Quiñonez F, Garza JC, De-Anda-Montañez JA, García-De León FJ. 2014 Inferring past demographic changes in a critically endangered marine fish after fishery collapse. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*. 71(1):1619-1628.

Valenzuela-Quiñónez, Fausto, García-de-León, Francisco Javier, de Anda-Montañez, Juan Antonio, Balart-Páez, Eduardo Francisco. La totoaba del Golfo de California ¿una especie en peligro de extinción? *Interciencia* [en línea] 2011, 36 (septiembre): [Fecha de consulta: 3 de septiembre de 2015] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33921204005>> ISSN 0378-1844.

Contacto para consultas 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

Ing. César Adrián Espinosa Mancinas

Secretario Ejecutivo, Sistema Nacional de Investigación y Transferencia Tecnológica para el
Desarrollo Rural Sustentable

Correo Electrónico: cesar.espinosa@snitt.org.mx

Demanda 4. Desarrollo tecnológico e innovación para el manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) en México.

I. Beneficiarios

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

II. Antecedentes

En México, el plátano ocupa el segundo lugar en importancia económica de los frutales; se cultivan alrededor de 77,548 hectáreas que producen más de 2.2 t/ha, con rendimiento promedio de 29.17 t/ha de las cuales el 95 % se destina al consumo nacional y el 5 % restante a la exportación, así como lo reporta el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en 2015.

Los plátanos son afectados por diversas plagas y enfermedades que dañan su rendimiento y calidad del fruto; por ejemplo, algunas de ellas son: el picudo negro, trips, ácaros, sigatoka negra, nematodo barrenador, Mal de Panamá, moko bacteriano, pudrición del corno y mancha café por *Cordana*, de las más importantes a nivel nacional.

De acuerdo a la Norma Internacional para medidas Fitosanitarias (NIMF) No. 8 *Fusarium oxysporum* f.sp. *ubense* raza 4 tropical se cataloga como una plaga ausente en México; Sin embargo, se ha reportado la presencia de las razas 1 y 2 de este hongo en México. (CONACYT, 2009).

La enfermedad de Mal de Panamá es causada por *Fusarium sp.*, es considerada una de las enfermedades más destructivas del plátano a nivel mundial (Ploetz y Pegg, 1997).

Durante varias décadas, el Mal de Panamá (*Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense*) ha sido la enfermedad más severa de las musáceas. Por ejemplo, la destrucción del cultivar “Gros Michel” por la raza 1 en la década de los 50’s y 60’s es el mejor ejemplo de la severidad de este patógeno, y en su

momento la única solución al problema fue reemplazar a “Gros Michel” por cultivares resistentes del subgrupo Cavendish. Sin embargo, la aparición de la nueva raza tropical 4 del Mal de Panamá (RT4) que ataca severamente a los “Cavendish”, así como a la mayoría de las musáceas comestibles, y que actualmente se está diseminando rápidamente en Asia Pacífico, África y Australia, por lo cual representa una amenaza para la industria platanera de América Latina y el Caribe. El riesgo de entrada a México de RT4 es inminente y su impacto será devastador para los sistemas de producción de plátano, tanto para pequeños como grandes productores.

Se reportó la presencia del ácaro rojo de las palmas (ARP) en el 2009 en México, el cual es considerado como una plaga de importancia cuarentenaria. Esta plaga ocasiona daños en plantas de cocotero, palma de aceite, palmas ornamentales y plátano, principalmente. Dada la situación, en el 2010 se implementó la campaña contra el ácaro rojo de la palma, con el objetivo de mitigar su impacto en los cultivos agrícolas. En México existen más de 294,000 ha establecidas con plátano, coco, palma de aceite y dátil como principales cultivos hospedantes de *Raoiella indica* en más de 15 entidades federativas. Con una producción de 4.9 millones de toneladas anuales y un valor de la producción de \$ 8,095 millones de pesos (SIAP, 2015). Siendo los cultivos de plátano y coco los que podrían ser los más afectados por *R. indica*.

III. Problemática

El cultivo de plátano es severamente afectado por plagas y enfermedades y una de las más destructivas es el Mal de Panamá, causada por *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*.

Fusarium oxysporum f. sp. *cubense* (Foc) se divide en cuatro razas de acuerdo a su patogenicidad sobre cultivares de banano (Gloenewald *et al.*, 2006).

Existen cuatro razas, la raza 1 es patogénica en cultivares de los subgrupos AAB ‘Silk’, ‘Manzano’ y ‘Pome’ y al AAA ‘Gros Michel’. Mientras que la raza 2 es patogénica al ABB ‘Bluggoe’ y ‘Pera’ y a otros plátanos para cocción muy cercanos a éste. Por otra parte, la raza 3 se ha reportado en Honduras, en Costa Rica y en Australia en especies de Heliconia y muestra muy poco o ningún efecto

sobre cultivares de plátano. Finalmente, la raza tropical 4 (RT4) ataca a los clones del subgrupo 'Cavendish' y a todos los cultivares susceptibles a las razas 1 y 2.

La raza 4 Tropical, es considerada una forma altamente virulenta del hongo y ha provocado pérdidas millonarias en la industria bananera del sureste asiático. En Sumatra se reporta que ha causado pérdidas de 11 millones de dólares (Pérez-Vicente *et al.*, 2014).

Hasta el momento, esta raza no ha sido reportada en América, pero se presume que la entrada y establecimiento de Foc R4T al continente americano, ocasionaría una gran afectación en la producción de plátano y banano de exportación, además de cuantiosas pérdidas económicas y un fuerte impacto social (OIRSA, 2009).

La dispersión de este patógeno representa una amenaza muy seria, puesto que más del 80 % de los bananos y plátanos producidos en el mundo son susceptibles (FAO, 2009), lo cual pondría en riesgo la seguridad alimentaria de millones de personas en el mundo, incluyendo México.

En la actualidad, las razas 1 y 2 se encuentran presente en todas las regiones plataneras del mundo. En México, es particularmente importante en aquellas entidades productoras de plátano manzano (AAB), como es el caso del estado de Nayarit y en segunda instancia el estado de Colima. El plátano manzano es altamente susceptible a las razas del hongo. En cambio, los plátanos del grupo Cavendish y Gros Michel son resistentes a la mayoría de razas, con excepción de la raza 4. América Latina y el Caribe se encuentran libres de la presencia de la raza tropical 4. Hoy en día, no existen medidas de control químico tan efectivas; y la generación de plantas resistentes a la enfermedad, es limitada.

A nivel nacional la introducción, establecimiento y dispersión de Foc R4T, podría ocasionar grandes pérdidas económicas ya que el cultivo de plátano es el principal hospedante y tiene una amplia distribución, además de ser uno de los sistemas producto más redituable.

En el caso del ácaro rojo de la palma, éste fue inicialmente descrito en 1924 en India, afectando plantaciones de cocotero. Desde entonces se ha dispersado a través de los trópicos y causando severos daños sobre su hospedero primario (el cocotero). La reproducción de *R. indica* es por

partenogénesis y se desarrollan grandes colonias sobre el envés de la hoja. Esta plaga puede fácilmente ser dispersada por el movimiento de plantas colonizadas o partes de ellas, así como también a través del viento a plantaciones cercanas. Una de las vías más importantes de dispersión, es el movimiento de personas que entran en contacto con palmeras ornamentales infestadas y que después se desplazan a zonas libres de esta plaga. Observaciones preliminares realizadas en Puerto Rico y República Dominicana sugieren que varias infestaciones de musáceas ocurren principalmente cuando éstas se localizan cerca de plantaciones de cocotero (J.C. Rodríguez, observación personal) o se producen como cultivo intercalado.

IV. Logros y avances

Actualmente las zonas productoras de plátano en América Latina y el Caribe, incluyendo México se encuentran libres de la RT4 del Mal de Panamá, lo que posibilita ampliar el mercado de exportación y lo que resulta en un impacto positivo a nivel socioeconómico.

Los principales estados productores son Chiapas, Tabasco, Veracruz, Colima, Michoacán, Jalisco, Oaxaca, Guerrero, Nayarit, entre otros. En 2015 se tuvo una superficie de 77,548 ha y una producción de 2.2 millones de toneladas con un valor de producción de \$ 6.30 mil millones de pesos.

A nivel nacional los cultivares más importantes son del subgrupo “Cavendish”: “Enano Gigante”, clon “francés” y “Valery”. Actualmente, la fruta de plátano mexicano se comercializa en varios mercados internacionales, entre los que destacan Estados Unidos, Bélgica, Alemania, Japón, Inglaterra y Francia.

En 2010, el 91.6 % de la producción de plátano se destinó al mercado interno y el 8.4 % al mercado de exportación, mostrando que este cultivo tiene alto potencial para su comercio en el mercado internacional, el cual aún no han sido plenamente explotado. Lo anterior, tomando en cuenta que México registra un elevado rendimiento en la producción. Aprovechar esta ventaja se vuelve relevante, en virtud de que las exportaciones de México al mundo, en un entorno económico mundial adverso, han mostrado un crecimiento muy dinámico, con una tasa de crecimiento promedio mensual de 6.6 %.

Aunque en México no se ha detectado a nivel molecular, es importante conocer el comportamiento genético de este patógeno para su prevención, esto porque si existiera un brote en las zonas productoras de México podría ocasionar problemas graves en plantaciones, pues la mayoría de las variedades de plátano cultivados en México, son susceptibles a esta enfermedad.

Gracias a las campañas fitosanitarias se mantiene la categoría de zonas libres de la RT4 de Mal de Panamá, sin embargo para el caso del ácaro rojo de la palma en 2016 el Gobierno Federal implementó una campaña que permite realizar acciones fitosanitarias en los estados de Quintana Roo, Yucatán, Tabasco, Campeche, Oaxaca, Chiapas, Veracruz, Jalisco, Guerrero, Sinaloa, Michoacán y Colima, con el objetivo de mitigar los daños de *R. indica* en zonas agrícolas, particularmente en huertos comerciales de cocotero, plátano y palma de aceite.

V. Propósito de la demanda

Contribuir con el manejo integrado de plagas y enfermedades del cultivo de plátano.

VI. Objetivos

6.1 Objetivo general

Determinar y desarrollar métodos alternativos para el control de hongos patógenos del suelo y para el ácaro rojo en musáceas de importancia agrícola.

6.2 Objetivos particulares

1. Determinar la diversidad genética y filogenia de *F. oxysporum* f.sp. *cubense* (raza 1, raza 2) de las diferentes regiones productoras de México.
2. Evaluar diferentes técnicas para el diagnóstico molecular del Mal de Panamá raza tropical
- 4.

3. Colecta y reconocimiento de posibles depredadores nativos del ácaro rojo (*R. indica*) en las regiones productoras.
4. Evaluar extractos vegetales y agentes simbiotes (hongos, bacterias, micorrizas, etc.) para el control del Mal de Panamá.
5. Determinar la eficiencia de desinfectantes orgánicos para la eliminación de inóculos de patógenos en el suelo.
6. Elaborar un folleto técnico del impacto económico que causa el ácaro rojo en musáceas.

VII. Justificación

El Mal de Panamá, es considerado como una de las enfermedades más destructivas del plátano a escala mundial. El patógeno se originó probablemente en el Sureste de Asia; sin embargo, el primer reporte fue en Australia en 1874. De 1940 a 1960, la enfermedad destruyó más de 40,000 ha del cultivar Gros Michel o Roatán en América Central y América del Sur a tal grado que ocasionó la declinación progresiva de las plantaciones de este cultivar, lo cual condujo a la adopción de cultivares resistentes del subgrupo “Cavendish” AAA, como es el caso del clon Enano Gigante.

Las razas 1, 2 y 4 de *Foc*, se distinguen unas de otras en función de su virulencia para un grupo definido de cultivares de banano bajo condiciones de campo. La raza 1 ataca a los cultivares “Gros Michel”, “Manzano”, “Lady Finger” y “Latundan”, mientras que la raza 2 afecta los plátanos “Bluggoe” o “Pera” y la raza 4 ataca todos los cultivares susceptibles a las razas 1 y 2 de *Foc*, así como los bananos “Cavendish”. Aunque los factores predisponentes tales como las bajas temperaturas, se asocian con el daño causado por la raza 4 de *Foc* en el subtrópico. Estos factores no están involucrados en el marchitamiento por *Fusarium* de los bananos “Cavendish” en los trópicos.

El ácaro rojo de las palmas es de importancia cuarentenaria para México, afecta a la palma de coco, al plátano, palmas de ornato, entre otras especies. Desde su llegada a nuestro país en 2009 reportado en Islas Mujeres, se ha diseminado a varios estados. De esta plaga poco se conoce de su biología, hospederos y su impacto económico en musáceas de importancia agrícola. En México

actualmente el combate de ácaro rojo de las palmas se realiza a través de la aplicación periódica de acaricidas y eliminación del material vegetativo infestado (SENASICA Ficha Técnica No. 14).

En varias especies hortícolas, la desinfección del suelo es indispensable, normalmente hecha mediante aplicaciones de productos de alta peligrosidad. Sin embargo, es necesario encontrar alternativas que sean eficientes y amigables con el medio y además altamente eficientes en el control de plagas y enfermedades de interés. El uso de productos orgánicos vislumbra ser una alternativa, entre algunos que se han evaluado están: el peróxido de hidrógeno que es un agente oxidante con alta reactividad que se utiliza ampliamente como un desinfectante (Chapman, 1998). El ácido peracético es un desinfectante efectivo con un amplio espectro de actividad antimicrobiana. La desinfección de suelos con productos como el peróxido de hidrógeno y el ácido peracético permitirían disminuir la contaminación ambiental de suelos, no obstante, se ha observado que han eliminado únicamente con eficiencia hongos como *Phytophthora* y *Botrytis*. Además, se ha comprobado que el peróxido de hidrógeno tiene bajo impacto ecológico en sistemas hidropónicos (Vineset al., 2003) y que puede sustituir al cloro como alternativa de desinfección, para mejorar la calidad microbiológica de los arándanos (*Vaccinium* sp.) (Crowe et al., 2007).

El manejo integrado de plagas y enfermedades consiste en utilizar todos los métodos posibles de control (control biológico, control cultural, control químico, etc.) hacia los patógenos de manera adecuada para mantener la población de éstos a niveles inferiores a aquellos en los que causarían daño económico.

Además, es importante que para poder establecer un plan de manejo integrado se requiere hacer: un diagnóstico de la plaga, entorno y grado de tecnología del cultivo, factores ambientales que favorecen la población, monitoreo de la plaga, evaluar insectos controladores biológicos y microorganismos entomopatógenos.

Recientemente, SENASICA (2016) propuso un manejo integrado para *F. oxysporum* raza tropical 4, el cual implica: detección temprana del patógeno, prevención de la diseminación, implementación de sistemas de cultivo, uso de cultivos de banano resistentes como GTCV 119, y la integración de control biológico mediante el uso de *Trichoderma harzianum* e inoculación de cepas endófitas no

patogénicas. Sin embargo, esta es una propuesta de carácter preventivo, que puede mejorarse con la integración de más conocimiento acerca de esta enfermedad y lograr un control eficaz.

A nivel mundial se están realizando varios estudios enfocados en identificar adecuados enemigos naturales para el uso en programas de control de plagas. Investigaciones sobre enemigos asociados con el ácaro rojo, reportan 28 especies de artrópodos depredadores incluyendo ácaros e insectos en asociación con *R. indica* en Asia, África y los Neotrópicos; y hongos patogénicos asociados con *R. indica* en el Caribe se han reportado. *Amblyseius largoensis* (presente en todas las áreas geográficas), *A. caudatus* Berlese, *A. channabasavanni* Gupta son considerados como enemigos naturales de acaro rojo (*R. indica*) (Carrillo et. Al, 2012).

El ácaro depredador *A. largoensis* (Muma) se ha encontrado asociado con *R. indica* en Florida. En evaluaciones de *A. largoensis* como opción de control de ácaro rojo en diferentes estados de desarrollo, se ha reportado que *A. largoensis* consume preferentemente huevos que cualquier otro estado de *R. indica*. *A. largoensis* muestra una respuesta funcional de tipo II que muestra un aumento en el número de presas comidas con un aumento en la densidad de la población presa (Carrillo y Peña, 2012).

En México, se han realizado estudios específicos para identificar enemigos naturales; uno realizado en áreas de Quintana Roo presentó una especie nativa de coccinélida, *Chilocorus cacti*, como un depredador natural potencial de *R. indica*. Sin embargo, es necesario generar más investigación, con el fin de evaluar las posibilidades de eficacia y cría de enemigos naturales nativos (Machkour-M´rabet et al., 2015).

Con base en lo anterior, es necesario continuar con el desarrollo de investigaciones que permiten incrementar las alternativas de control de las plagas y enfermedades de mayor importancia en el cultivo de plátano. En *F. oxysporum cubense* (raza 1, raza 2 y raza tropical 4) se requiere mejorar la comprensión de la patogenicidad, desarrollar y evaluar la eficacia de nuevos productos que eliminen los propágulos del patógeno en herramientas, maquinaria, suelo y planta. En ácaro rojo (*R. indica*) es de suma importancia, conocer el impacto económico de esta plaga y la búsqueda de enemigos naturales nativos como una alternativa al control químico; es importante evaluar la presencia de entomopatógenos nativos, antes de introducir microorganismos comerciales o aislamientos de

otros lugares a fin de no afectar a los sistemas de regulación naturales (Peña *et al.*, 2006). Se busca tener las alternativas de control más adecuadas y de bajo impacto ecológico, para elaborar un plan de manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de plátano.

VIII. Productos a entregar

1. Al menos un extracto vegetal o agente biológico que funja como desinfectante para el control de *F. oxysporum* f. sp. *cubense* en suelos e implementos agrícolas para las regiones productoras de plátano en México, con evidencia de trámite de propiedad intelectual.
2. Un documento con resultados referente a la diversidad genética y filogenia de *F. oxysporum* f. sp. *cubense* (raza 1, raza 2) de las diferentes regiones productoras de México con evidencia de trámite de registro de propiedad intelectual.
3. Un documento que contenga los resultados de la evaluación de diferentes técnicas para el diagnóstico molecular del Mal de Panamá raza tropical 4, en México, con evidencia de trámite de registro de propiedad intelectual.
4. Un documento con resultados que contenga una colecta y reconocimiento de posibles depredadores nativos del ácaro rojo (*R. indica*) en las regiones productoras de plátano en México, con evidencia de trámite de registro de propiedad intelectual.
5. Un manual técnico del impacto económico que causa el ácaro rojo (*R. indica*) en musáceas en México.
6. Un documento que contenga un informe sobre distribución actual de las principales razas de *F. oxysporum* f. sp. *cubense* (1, 2) de las diferentes regiones productoras de México.
7. Realizar al menos tres cursos de capacitación y transferencia de tecnología a productores, técnicos y personas a fines, vinculada a las innovaciones tecnológicas disponibles y generadas en el proyecto.
8. 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

- Battle Viera, A. y Pérez-Vicente, L. 2009. Variabilidad genética de las poblaciones de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* en bananos y plátanos de Cuba. *Fitosanidad* 13: 169-186.
- Bogale, M., Wingfield, B., Dwingfield, M.J. y Steenkamp, E.T. 2005. Simple sequence repeats markers for species in the *Fusarium oxysporum* complex. *Mol. Eco. Note* 5: 622-624.
- Booth, C. 1977. *Fusarium*. Lab guide to the identification of the major species. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey. 12 p.
- Carrillo, D., Frank, J. H., Rodriguez, J. C. V., Peña, J. E. 2012. A review of the natural enemies of the red palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). *Experimental and Applied acarology*. 57(3): 347-360.
- Carrillo, D., Peña, J. E. 2012. Prey-stage preferences and functional and numerical responses of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) to *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). *Exp. Appl. Acarol.* 57(3): 361-372.
- CONACYT. 2009. Producción bananera en México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) Consultado en línea el 3 de Marzo de 2011 en: <http://www.conacyt.mx/comunicacion/revista/232/Articulos/SigatokaNegra/Sigatoka3.html>.
- Cuervo-Usán, Y., Tornos-Mauri, P., Hernández-Domínguez, J. C., Orihuela-Calvo, D., Domínguez, Hernández, M. E., Moreno-Martínez, E. 2014. Eficacia de peróxidos en la desinfección de suelos aptos para el cultivo de fresa en el mediterráneo. *Rev. Fitotec. Méx.* 37(4): 393-398.
- Dita, M.A., Waalwijk, C., Buddenhagen, I.W., Souza, M.T. y Kema, G.H.J. 2010. A molecular diagnosis for tropical race 4 of the banana *Fusarium* wilt pathogen.

- Gloenewald, S., Van Den Berg, N., Marasas, W. F., and Viljoen, A. 2006. The application of high throughput AFLPs in assessing genetic diversity in *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. *Mycological research*, 110, 297-305. *Plant Pathol* 59: 348-357.
- Leslie J.F. y Summerell B.A., 2006. *The Fusarium laboratory manual*. Blackwell Publishing Professional, Ames, IA, USA.
- Machkour-M´rabet, S., Ferral-Piña, J., Henaut, Y. 2015. *Chilocorus cacti* (Coleoptera: Coccinellidae) a potential natural enemy for the red palm mite in México. *Acta Zoologica Mexicana* (n.s) 31(3): 512-517.
- Mendoça, RS, Navia, D, Flechtmann, CH. 2005. *Raoiella indica* Hirst (prostigmata: tenuipalpidae), o ácaro vermelho das palmeiras uma ameaça para as Américas. *Embrapa recursos genéticos e Biotecnología*.
- OIRSA. 2009. Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria (OIRSA). América Latina discute programa para la protección del cultivo del banano y plátano. *Mirador Agrosanitario*. No. 3. Septiembre 2009. San Salvador, El Salvador. 12 pág.
- O'Donnell K., Kistler H.C., Cigelink E. y Ploetz R.C. 1998. Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: Concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies. *PNAS* 95: 2044-2049.
- Orozco-Santos, M., García-Mariscal, K. y Vázquez-Jiménez, J.L. 2009. Estado actual del mal de Panamá en musáceas en México. Reunión de grupos de interés sobre los riesgos de la raza tropical 4 de *Fusarium*, BBTV y otras plagas de musáceas, para la región del OIRSA, América Latina y el Caribe. San Salvador, El Salvador 29 al 31 julio de 2009.
- Otero-Colina, G., Gonzalez-Gomez, R., Martínez-Bolaños, L., Otero-Prevost, L. G., López-Buenfil, J. A., Escobedo-Graciamedrano R.M. 2015. Infestation of *Raoiella indica* Hirst (Trombidiformes: Tenuipalpidae) on host plants of high socio-economic importance for tropical America. *Neotrop Entomol* 45: 300-309.
- Perez-Vicente, L. Batlle Viera A., Chacón Benazet J. y Montenegro Moracén V. 2009. Reacción de clones naturales e híbridos de la FHIA de bananos y plátanos a las

poblaciones de cuba de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense*, agente causal de la marchitez por fusarium o mal de panamá. Fitosanidad 13: 237-242.

Pérez- Vicente, L., M. A. Dita., Martínez- de la Parte, E. 2014. Technical Manual Prevention and diagnostic of Fusarium Wilt (Panama disease) of banana caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Tropical Race 4 (TR4). Food and Agriculture Organization of The United Nations (FAO). Prepared for the Regional Workshop on the Diagnosis of Fusarium Wilt (Panama disease) caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* Tropical Race 4: Mitigating the Threat and Preventing its Spread in the Caribbean.

Peña, J. E., Mannion, C. M., Howard, F. W., Hoy, M. A. 2006. *Raoiella indica* (Prostigmata: Tenuipalpidae): The Red Palm Mite: A Potential Invasive Pest of Palms and Bananas and Other Tropical Crops of Florida and Other Tropical Crops of Florida. IFAS Extension. ENY-837. University of Florida. 8 pags.

Ploetz, R.C. 1990. Population biology of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense*. In Fusarium wilt of banana. R. C. Ploetz (eds.). APS Press. Minnesota. USA. pp. 63-76.

Ploetz, R. C. and Pegg, K. G. 1997. Fusarium wilt of banana and Wallace's line: Was the disease originally restricted to his IndoMalayan region?. Australasian Plant Path. 24: 38-43.

Ploetz, R.C. y Pegg, K. 2000. Fusarium wilt. En: Jones, DR. ed. Diseases of Banana, Abaca and Enset. CABI Publishing, Wallingford, UK. 143-159.

Sun E.J., Su H.J y Ko, W.H. 1978 Identification of *Fusarium oxysporum* f.sp. *ubense* race 4 from soil or host tissue by cultural characters. Phytopathology 68: 1672-1673.

Verle Rodrigues, J.C. and Irish M.B. 2012. Effect of coconut palm proximities and *Musa* spp. germplasm resistance to colonization by *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). Exp Appl Acarol 57:309–316

Visser, M., Gordon, T., Fourie, G. y Viljoen A. 2010. Characterization of South African isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* from Cavendish bananas. South Afr S Sci 106: 1-6.

Contacto para consultas 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

Ing. César Adrián Espinosa Mancinas

Secretario Ejecutivo, Sistema Nacional de Investigación y Transferencia Tecnológica para el

Desarrollo Rural Sustentable

Correo Electrónico: cesar.espinosa@snitt.org.mx