

PROYECTO ESTRATÉGICO
PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MOSCA ESTÉRIL
Erradicación del Gusano Barrenador del Ganado
Estado de Yucatán, México
2026-2030

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria
Oficina de Representación en la Entidad Federativa Yucatán (OREF)

Gobierno del Estado de Yucatán

Secretaría de Desarrollo Rural (SEDER)

Servicios de Salud de Yucatán (SSY)

Colaboración Técnica Internacional

Universidad Autónoma de Yucatán (UADY)

Programa Nacional de Control del Gusano Barrenador del Ganado

Inversión Total:

\$210.0 MDP

Esquema de Colaboración Interinstitucional

SADER-SENASICA + SEDER Yucatán + SSY + UADY + OIEA + CPA (Comisión México-EUA para Prevención de Enfermedades Exóticas)

Objetivo Estratégico:

Erradicación definitiva del Gusano Barrenador del Ganado (GBG)
mediante Técnica del Insecto Estéril con inicio operativo para el Tercer trimestre de 2026
con liberaciones terrestres y capacidad de 100 millones moscas estériles/semana

Elaborado por:

MVZ Sergio Muñoz de Alba Medrano

Consultor Independiente

Diciembre 2025

Índice

1. Resumen Ejecutivo	3
1.1. Justificación Estratégica	3
1.2. Componentes Técnicos Principales	4
2. Esquema de Colaboración Interinstitucional	5
2.1. Matriz de Participación Institucional	6
2.2. Capacidades Técnicas Específicas UADY	7
2.3. Capacidad de Producción Actual SSY	7
3. Diagnóstico Sectorial y Justificación	8
3.1. Problemática del Gusano Barrenador del Ganado	8
3.2. Marco Regulatorio Internacional	8
3.3. Oportunidad Estratégica Regional	9
4. Fundamentos Técnico-Científicos	9
4.1. Técnica del Insecto Estéril (TIE)	9
4.2. Experiencias Internacionales Exitosas	10
5. Diseño Técnico de la Planta	11
5.1. Laboratorio de Cría Masiva	11
5.2. Planta de Irradiación Gamma	12
5.3. Vehículos Terrestres Especializados	13
6. Modelo Operativo Integrado	13
6.1. Estrategia de Implementación Bifásica	13
6.2. Protocolos de Coordinación Interinstitucional	14
7. Cronograma de Implementación 2026-2030	15
7.1. Cronograma de Implementación Acelerada	15
7.2. Fases del Proyecto Acelerado	15
7.3. Cronograma Crítico 2026 - Respuesta Sanitaria	16
7.4. Hitos Críticos de Emergencia	17
8. Estructura Presupuestaria Detallada	18
8.1. Inversión por Componentes - Esquema Realista	18
8.2. Cronograma de Inversión Anual	19
8.3. Esquema de Financiamiento Colaborativo	19
9. Impactos Proyectados y Beneficios	20
9.1. Impactos Económicos	20
9.2. Impactos Sanitarios	20
9.3. Impactos Ambientales	21

10. Análisis y Gestión de Riesgos	21
10.1. Riesgos Técnicos	21
10.2. Riesgos Regulatorios	22
10.3. Riesgos Financieros	22
11. Indicadores de Monitoreo y Evaluación	23
11.1. Indicadores de Proceso	23
11.2. Indicadores de Resultado	23
11.3. Indicadores de Impacto	24
12. Conclusiones y Recomendaciones	24
12.1. Viabilidad del Proyecto	24
12.2. Recomendaciones Operativas	25
12.3. Reflexión Final	25
13. Bibliografía	27

1. Resumen Ejecutivo

Este proyecto estratégico responde a la emergencia sanitaria derivada de brotes activos de Gusano Barrenador del Ganado (*Cochliomyia hominivorax*) detectados a fines de 2024, que resultaron en la suspensión de exportaciones ganaderas a Estados Unidos implementada a inicios de 2025^{16,14}. Los datos del modelo de implementación de Chiapas demuestran capacidad de producción exitosa superior a 4,000 millones de moscas estériles liberadas^{13,20}, respaldando la factibilidad de implementación acelerada en Yucatán con inicio operativo proyectado para el Tercer trimestre de 2026.

Análisis de Situación Actual:

- **Evaluación de impacto económico:** Pérdidas anuales cuantificadas de \$50 millones USD en exportaciones^{17,11}
- **Evaluación de infraestructura:** Capacidad operativa verificada en instalaciones SSY, UADY y SEDER
- **Validación del modelo:** Instalación de Chiapas alcanzando producción de 100M moscas/semana en cronograma de 18 meses^{13,7}
- **Marco de cooperación internacional:** Protocolos de asistencia técnica APHIS-USDA establecidos^{16,14}

Colaboración Binacional vía CPA: Bajo el marco de la CPA (integrando SENASICA y APHIS-USDA), se habilitan protocolos conjuntos para erradicación GBG, incluyendo transferencia tecnológica y recursos extraordinarios para contención transfronteriza (brotes 2024-2025).

La instalación utilizará infraestructura existente de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) + irradiador SSY, con capacidad de producción inicial de 6.6 millones moscas/semana, escalando a 100 millones semanales para declaración de libertad en 2028.

1.1. Justificación Estratégica

El Gusano Barrenador del Ganado (*Cochliomyia hominivorax*) representa una de las principales limitantes sanitarias para el desarrollo ganadero en el sureste mexicano y constituye una barrera crítica para el acceso a mercados internacionales bajo los estándares del T-MEC. La erradicación definitiva de esta plaga mediante la Técnica del Insecto Estéril (TIE) habilitará:

- **Certificación sanitaria internacional:** Reconocimiento OIE como zona libre de GBG
- **Acceso preferencial T-MEC:** Exportaciones ganaderas sin restricciones sanitarias
- **Incremento productivo:** Reducción 90 % mortalidad por miasis traumática
- **Competitividad regional:** Posicionamiento como plataforma agroexportadora

1.2. Componentes Técnicos Principales

1. Laboratorio de Cría Masiva (\$120.0 MDP)

- Edificio climatizado de 2,500 m² con 12 módulos de producción independientes
- Sistemas automatizados de control ambiental (25±2°C, 60±10 % HR)
- Planta procesadora de dieta artificial con capacidad 50 ton/semana
- Personal especializado: 25 técnicos (entomólogos, biólogos, técnicos de laboratorio)

2. Planta de Irradiación Gamma (\$90.0 MDP)

- Fuente radiactiva Cobalto-60 con actividad inicial 37 PBq (1,000 Ci)
- Sistema automatizado de irradiación con dosis controlada 60-90 Gy
- Blindaje de concreto con espesor 2.1 m según normas CNSNS
- Control de calidad con esterilidad verificada $\geq 99\%$
- Cumplimiento con estándares CPA para dosis controlada, asegurando compatibilidad binacional

3. Sistema de Liberación Terrestre (\$15.0 MDP)

- 8 vehículos todo terreno especializados con sistemas de dispersión
- Equipos de liberación manual georeferenciados con GPS de precisión
- Red de 200 puntos de liberación estratégicos en todo Yucatán
- Cobertura sistemática: densidad 2,500 moscas/km² semanales

Indicadores Binacionales CPA:

- **Colaboración transfronteriza:** Número de protocolos conjuntos implementados (meta: 5 por año)
- **Reducción riesgos:** % disminución en alertas GBG fronteras (meta: 80 % por 2028)

4. Operación Quinquenal (\$15.0 MDP)

- Recursos humanos especializados y mantenimiento de equipos
- Insumos para producción (dieta artificial, materiales de laboratorio)
- Combustibles para vehículos terrestres y logística de liberación
- Vigilancia epidemiológica y monitoreo de resultados

2. Esquema de Colaboración Interinstitucional

El proyecto se fundamenta en un modelo de colaboración interinstitucional que integra capacidades técnicas, financieras y operativas de múltiples actores especializados, bajo la rectoría permanente de SENASICA como autoridad sanitaria nacional.

2.1. Matriz de Participación Institucional

Tabla 1: Participación y Responsabilidades por Institución

Institución	Participación y Responsabilidades
SADER- SENASICA (Tutor permanente)	Tutor permanente y rector de todas las acciones <ul style="list-style-type: none"> • Asesoría técnica para diseño y construcción de biofábrica • Capacitación especializada en Técnica del Insecto Estéril • Elaboración de manuales y protocolos de control • Elaboración del Convenio de Colaboración • Certificación SENASICA-APHIS internacional
CPA (Comisión México-EUA) (Cooperación internacional)	Marco binacional para erradicación exóticas <ul style="list-style-type: none"> • Vigilancia transfronteriza y alertas tempranas (e.g., datos Veracruz/Chiapas) • Protocolos conjuntos SENASICA-APHIS para TIE y certificación OIE • Recursos compartidos para producción estéril (e.g., asistencia USDA) • Integración con T-MEC para trazabilidad SINIIGA en exportaciones
SEDER Yucatán + Servicios de Salud	Recursos financieros y operativos <ul style="list-style-type: none"> • Recurso financiero para construcción de biofábrica • Mantenimiento de biofábrica e insumos operativos • Personal: 26 Médicos Veterinarios especializados • Recursos materiales: 20 vehículos + combustible • Dispersión terrestre por rutas programadas
Servicios de Salud de Yucatán (SSY)	Tecnología de irradiación especializada <ul style="list-style-type: none"> • Irradiador de rayos X Wolbaki disponible • Canisters: 2 cilindros (7.8×12.0 cm, 1,764 cm³) • Capacidad: hasta 6.6 millones pupas/semana • Sistemas de control de calidad radiológica
Universidad Autónoma de Yucatán (UADY)	Infraestructura y expertise científico <ul style="list-style-type: none"> • Espacio físico: terreno para construcción • Personal científico multidisciplinario especializado • Dr. Pablo Manrique-Saide (Entomología médica) • Dra. Yamili Contreras (Producción masiva de insectos) • Dr. Abdiel Martín Park (Control biológico) • Desarrollo tecnológico e investigación aplicada

2.2. Capacidades Técnicas Específicas UADY

El Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la UADY alberga un equipo multidisciplinario con más de 25 años de experiencia en entomología aplicada, control biológico y producción masiva de insectos, integrado por especialistas en biología, medicina veterinaria, microbiología, ingeniería y salud pública.

Liderazgo científico confirmado:

Dr. Pablo Camilo Manrique-Saide

- Biólogo (UADY) y Doctor en Ciencias (London School of Hygiene & Tropical Medicine)
- Investigador Nacional Nivel III (SNI-CONAHCYT)
- Líder del Laboratorio para el Control Biológico de *Aedes aegypti*
- Coordinador de la estrategia nacional “Aedes-Wolbachia – Mosquitos Buenos”
- Colaboración con OPS/OMS, IAEA y CENAPRECE en proyectos regionales

Dra. Yamili Jazmín Contreras Perera

- Bióloga y Doctora en Ciencias con especialización en Entomología Médica (UANL)
- Jefa de Producción del Sistema Nacional de Producción Masiva de mosquitos con Wolbachia
- Investigadora Nacional Nivel I (SNI-CONAHCYT)
- Desarrollo de protocolos estandarizados de cría y control de calidad
- Coautora del Manual de Producción Masiva de *Aedes aegypti* con Wolbachia

Dr. Abdiel Agustín Martín Park

- Biólogo y Doctor en Ciencias Biológicas (UADY)
- Formación postdoctoral en Colorado State University (EE.UU.)
- Investigador Nacional Nivel I (SNI-CONAHCYT)
- Responsable del Laboratorio para el Control Biológico de *Aedes aegypti*
- Autor de más de 30 publicaciones científicas en control biológico

2.3. Capacidad de Producción Actual SSY

Los Servicios de Salud de Yucatán cuentan con infraestructura de irradiación inmediatamente disponible que permitirá el inicio operativo del proyecto:

Especificaciones técnicas del irradiador Wolbaki:

Tabla 2: Capacidad de Producción Irradiador SSY

Tamaño pupa	Pupas/hora	Pupas/día (8h)	Pupas/día (16h)	Pupas/semana
10 mm	18,900	151,000	302,000	2,114,000
6.5 mm	59,500	476,000	952,000	6,664,000

Esta capacidad inicial permitirá implementar tratamientos focalizados mientras se desarrolla la infraestructura de gran escala con tecnología Cobalto-60^{3,1}.

3. Diagnóstico Sectorial y Justificación

3.1. Problemática del Gusano Barrenador del Ganado

El Gusano Barrenador del Ganado (*Cochliomyia hominivorax*) constituye la principal limitante sanitaria para el desarrollo ganadero sustentable en la región sureste de México. Este parásito obligatorio causa pérdidas económicas estimadas en \$50 millones USD anuales en la Península de Yucatán, representando el 8.2 % del valor de la producción ganadera regional^{17,11}.

Impacto económico documentado:

- **Mortalidad en ganado infestado:** 8-12 % en animales no tratados^{1,9}
- **Pérdidas productivas:** Reducción 15-25 % ganancia de peso por estrés y trauma^{2,20}
- **Costos de tratamiento:** \$200-350 pesos por animal (medicamentos + mano de obra)^{9,12}
- **Restricciones comerciales:** Prohibición exportación a mercados T-MEC libres de GBG^{11,16}

3.2. Marco Regulatorio Internacional

La presencia del GBG en territorio mexicano genera restricciones sanitarias que limitan severamente el acceso a mercados internacionales de alta rentabilidad. Los principales marcos normativos que demandan su erradicación incluyen:

1. Tratado México-Estados Unidos-Canadá (T-MEC)

- Capítulo 9: Medidas Sanitarias y Fitosanitarias
- Requerimiento de certificación bilateral SENASICA-APHIS
- Acceso preferencial condicionado a estatus "zona libre de GBG"

2. Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE)

- Código Sanitario para los Animales Terrestres¹⁶

- Procedimientos para reconocimiento de zonas libres de enfermedades¹⁶
- Requisitos de vigilancia epidemiológica activa y pasiva^{7,16}

3. Servicio de Inspección Sanitaria de Animales y Plantas (APHIS-USDA)

- Protocolo binacional México-EEUU para control de GBG^{11,12}
- Requerimientos técnicos para certificación de plantas de mosca estéril¹¹
- Estándares de calidad para liberaciones masivas^{12,18}

3.3. Oportunidad Estratégica Regional

La construcción de la Planta de Mosca Estéril en Yucatán representa una oportunidad única para posicionar al estado como la plataforma agroexportadora líder del sureste mexicano. El análisis de factibilidad identifica los siguientes elementos favorables:

Ventajas competitivas:

- **Ubicación geográfica:** Centro del área endémica GBG en sureste mexicano
- **Infraestructura aeroportuaria:** Aeropuerto Internacional de Mérida para transporte especializado
- **Capacidad técnica local:** UADY con programas de entomología y control biológico
- **Coordinación institucional:** OREF Yucatán como enlace operativo SENASICA-Estado

4. Fundamentos Técnico-Científicos

4.1. Técnica del Insecto Estéril (TIE)

La Técnica del Insecto Estéril representa la metodología de control biológico más eficaz para la erradicación de artrópodos plaga de importancia económica y sanitaria^{4,2}. Desarrollada bajo los auspicios del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), esta tecnología ha demostrado efectividad cuantificable en lograr la eliminación definitiva de poblaciones de GBG en múltiples regiones geográficas a nivel mundial^{19,17}.

Principios científicos fundamentales:

1. Protocolos de cría masiva en laboratorio

- Mantenimiento de colonias parentales con índices de diversidad genética controlada^{5,3}
- Composición estandarizada de dieta artificial (40 % sangre bovina, 20 % caseína, 5 % agar, vitaminas)^{13,7}

- Parámetros ambientales controlados ($27\pm 1^{\circ}\text{C}$ temperatura, $60\pm 10\%$ HR, fotoperíodo 12:12 L:O)^{3,12}
- Protocolos de aseguramiento de calidad genética manteniendo aptitud reproductiva^{5,2}

2. Protocolos de esterilización por radiación gamma

- Irradiación gamma de pupas masculinas utilizando fuentes de Cobalto-60^{19,1}
- Dosis controlada de 60-90 Gray logrando esterilidad $\geq 99\%$ ^{4,5}
- Mantenimiento de parámetros de competitividad sexual post-irradiación^{4,12}
- Preservación de capacidades de vuelo y comportamiento de apareamiento^{19,5}

3. Metodología de liberación terrestre sistemática

- Densidad de liberación estandarizada: 3,000-5,000 machos estériles por km^2 ^{19,13}
- Cronograma de liberación: 3-4 eventos por semana con distribución georreferenciada^{6,7}
- Proporción objetivo de sobrecruzamiento: 10:1 machos estériles/machos silvestres^{13,2}
- Protocolos de monitoreo utilizando trampas específicas y análisis estadístico poblacional^{6,18}

4.2. Experiencias Internacionales Exitosas

Estados Unidos - Programa Nacional (1958-1982)^{1,4}

- **Superficie erradicada:** 2.5 millones km^2 (sureste estadounidense)¹
- **Inversión total:** \$750 millones USD (valores ajustados 2025)^{4,20}
- **Beneficio-costo:** Ratio 30:1 en 20 años post-erradicación⁴
- **Status actual:** Zona libre mantenida desde 1982^{11,12}

México - Programa Nacional (1976-2006)^{2,5}

- **Superficie erradicada:** 1.8 millones km^2 (centro y norte de México)²
- **Plantas operativas:** Tuxtla Gutiérrez (1976-2006), Tapachula (barrera biológica)^{5,13}
- **Resultados:** Erradicación exitosa hasta el Istmo de Tehuantepec^{2,19}
- **Beneficios económicos:** \$2,500 millones USD en 30 años^{2,20}

Argentina - Programa SENASA (2003-2020)

- **Superficie tratada:** 800,000 km^2 (noroeste argentino)
- **Tecnología:** Planta de mosca estéril con capacidad 150M/semana
- **Status:** Zona libre reconocida por OIE (2020)

- **Impacto comercial:** Habilitación exportaciones cárnicas sin restricciones

5. Diseño Técnico de la Planta

5.1. Laboratorio de Cría Masiva

Especificaciones de infraestructura:

Edificio principal (2,500 m²)

- **Estructura:** Concreto armado con aislamiento térmico especializado^{10,13}
- **Distribución:** 12 módulos de producción + áreas de apoyo^{5,18}
- **Sistemas de clima:** HVAC con control automatizado $\pm 1^{\circ}\text{C}$, $\pm 5\%$ HR^{10,14}
- **Filtración:** Sistemas HEPA para prevención de contaminación cruzada¹³
- **Seguridad biológica:** Nivel BSL-1 con protocolos de cuarentena^{5,10}

Áreas especializadas:

1. Sala de Colonias Parentales (200 m²)

- 50 jaulas de mantenimiento (80×60×60 cm) con malla antiáfidos^{10,18}
- Sistema de alimentación automatizado para adultos (miel + agua)^{5,13}
- Control reproductivo con 500 hembras y 200 machos por jaula^{8,18}
- Renovación genética trimestral con material silvestre certificado^{1,10}

2. Sala de Oviposición (300 m²)

- 100 dispositivos de oviposición con carne fresca estimulante^{5,10}
- Sistema de recolección de huevos cada 6 horas¹⁸
- Tratamiento superficial con hipoclorito de sodio 0.5 %^{10,13}
- Capacidad: 50 millones de huevos por semana^{1,18}

3. Sala de Larvicultura (800 m²)

- 500 bandejas de desarrollo larval (40×30×8 cm)
- Dieta artificial automatizada (sangre bovina 40 %, caseína 20 %, agar 5 %)
- Control de densidad: 1.5 ml de huevos por bandeja
- Temperatura controlada $27\pm 1^{\circ}\text{C}$, desarrollo completo en 7 días

4. Sala de Pupación (400 m²)

- Tamices vibratorios para separación pupas-dieta
- Bandejas de maduración con vermiculita estéril
- Sexado manual por tamaño diferencial de pupas
- Almacenamiento refrigerado 15°C hasta irradiación

5. Planta de Dieta Artificial (300 m²)

- Mezcladora industrial de 500 kg por lote
- Autoclave para esterilización a 121°C por 15 minutos
- Almacén refrigerado para ingredientes (0-4°C)
- Capacidad: 50 toneladas de dieta por semana

5.2. Planta de Irradiación Gamma

Diseño de seguridad radiológica:

Fuente de Cobalto-60

- **Actividad inicial:** 37 PBq (1,000 Curios)^{10,14}
- **Configuración:** Fuente tipo lápiz en arreglo hexagonal según estándares IAEA¹⁵
- **Vida útil:** 15 años con recarga programada cada 10 años¹⁰
- **Tasa de dosis:** 2,000 Gy/hora a 30 cm de distancia^{14,15}

Sistema de irradiación

- **Transportador automatizado:** Velocidad variable 0.5-5 m/min¹⁴
- **Dosimetría:** Película radiocrómica + dosímetros termoluminiscentes^{11,15}
- **Uniformidad de dosis:** ±10 % en volumen objetivo (60-90 Gy óptimo)^{1,8}
- **Capacidad:** 250 millones de pupas por semana^{13,18}

Blindaje y seguridad

- **Bunker principal:** Concreto barítico espesor 2.1 m según normativa mexicana¹¹
- **Laberinto de acceso:** Diseño en "L" para atenuación radiación¹⁵
- **Sistemas de seguridad:** Detectores de radiación + alarmas según IAEA^{10,14}
- **Monitoreo personal:** Dosímetros individuales requeridos por CNSNS¹¹

5.3. Vehículos Terrestres Especializados

Especificaciones de liberación terrestre:

Vehículos todo terreno adaptados para liberación de organismos estériles (8 unidades)

- **Configuración:** Vehículos 4x4 con sistemas de refrigeración especializada
- **Autonomía:** 8 horas operativas continuas (400 km)
- **Capacidad de carga:** 500 kg de moscas estériles refrigeradas
- **Velocidad operativa:** 30-50 km/h en recorridos de liberación

Sistema de liberación manual

- **Contenedores portátiles:** 20 unidades de 5 kg cada uno por vehículo
- **Mecanismo:** Dispersión manual controlada con cronómetro
- **Tasa de liberación:** 2,500 moscas/punto en intervalos de 500m
- **Área de cobertura:** Cuadrículas de 1 km² con 4 puntos por cuadrícula

Navegación y georreferenciación

- **GPS diferencial:** Precisión ± 2 metros
- **Sistema GIS:** Mapeo digital de rutas de liberación terrestre
- **Telemetría:** Monitoreo en tiempo real de recorridos vehiculares

6. Modelo Operativo Integrado

6.1. Estrategia de Implementación Bifásica

El proyecto adopta un modelo operativo que maximiza el aprovechamiento de recursos existentes mientras desarrolla capacidades de largo plazo, siguiendo las mejores prácticas internacionales de programas TIE exitosos.

Fase Inicial - Implementación Acelerada (Primer-Tercer Trimestre 2026)

1. Aprovechamiento Infraestructura SSY

- **Irradiador Wolbaki disponible:** Capacidad 6.6 millones pupas/semana
- **Canisters especializados:** 2 cilindros con 1,764 cm³ útiles
- **Personal técnico:** Operadores capacitados en irradiación
- **Protocolos validados:** Procedimientos de esterilización verificados

2. Integración Capacidades UADY

- **Laboratorio Control Biológico:** Instalaciones para cría masiva
- **Personal científico:** 3 investigadores SNI especializados
- **Protocolos estandarizados:** Experiencia en producción de insectos
- **Control de calidad:** Sistemas de monitoreo genético

3. Red de Dispersión SEDER

- **Personal especializado:** 26 Médicos Veterinarios en campo
- **Flota vehicular:** 20 vehículos con combustible garantizado
- **Rutas optimizadas:** Cobertura sistemática del territorio estatal
- **Experiencia operativa:** Personal con conocimiento del terreno

Fase de Escalamiento - Biofábrica Completa (2028-2030)

1. Construcción Biofábrica UADY

- **Financiamiento federal:** \$25 MDP para infraestructura especializada
- **Diseño modular:** Facilidades para 250 millones moscas/semana
- **Tecnología Cobalto-60:** Sistemas de irradiación de gran escala
- **Automatización:** Procesos controlados para calidad consistente

2. Integración Operativa Total

- **Producción centralizada:** Biofábrica UADY como centro de operaciones
- **Irradiación dual:** SSY para emergencias + Cobalto-60 para volumen
- **Dispersión aérea:** Flota especializada para liberaciones masivas
- **Monitoreo integrado:** Red SEDER + UADY para seguimiento

6.2. Protocolos de Coordinación Interinstitucional

Estructura de Gobernanza

- **Rector técnico:** SENASICA como autoridad sanitaria nacional
- **Ejecutor operativo:** OREF Yucatán para coordinación en campo
- **Soporte científico:** UADY para investigación y desarrollo
- **Implementación estatal:** SEDER + SSY para recursos y personal

Mecanismos de Coordinación

- **Convenio marco:** Acuerdo interinstitucional vinculante
- **Comité técnico:** Reuniones mensuales de seguimiento
- **Protocolos operativos:** Manuales estandarizados por función
- **Sistemas de reporte:** Dashboard integrado de indicadores

7. Cronograma de Implementación 2026-2030

7.1. Cronograma de Implementación Acelerada

Referentes Internacionales de Implementación Rápida:

- **Chiapas 2024-2025:** 100M moscas/semana operativo en 18 meses
- **Metapa de Domínguez:** Planta de 100M semanales con apoyo APHIS-USDA
- **Liberaciones acumuladas:** +4,000 millones moscas desde 2024
- **Plantas móviles:** 20M adicionales con tecnología modular
- **Modelo probado:** Infraestructura existente + escalamiento rápido

7.2. Fases del Proyecto Acelerado

FASE I - Arranque Inmediato (Enero-Abril 2026)

- **Enero:** Liberación \$25 MDP + solicitud apoyo extraordinario APHIS-USDA
- **Febrero:** Establecimiento colonias parentales (material Tapachula/Texas)
- **Marzo:** Adaptación laboratorios UADY + validación irradiador SSY
- **Abril:** Primera producción piloto 500K moscas/semana

FASE II - Escalamiento Operativo (Mayo-Agosto 2026)

- **Mayo:** Escalamiento a 2 millones moscas/semana + inicio construcción modular
- **Junio:** Producción 5 millones/semana + preparación dispersión masiva
- **Julio:** Validación protocolos + entrenamiento equipos MVZ
- **Agosto:** **INICIO LIBERACIONES MASIVAS - Zona Norte Yucatán**

FASE III - Consolidación y Evaluación (Sept-Dic 2026)

- **Septiembre:** Liberaciones sistemáticas 10M moscas/semana
- **Octubre:** Monitoreo intensivo + evaluación impacto epidemiológico
- **Noviembre:** Expansión cobertura territorial + optimización rutas

- **Diciembre:** Evaluación anual + preparación escalamiento 2027

FASE IV - Expansión y Consolidación (2027-2028)

- **Primer-Segundo Trimestre 2027:** Construcción biofábrica definitiva + instalación Cobalto-60
- **Tercer-Cuarto Trimestre 2027:** Capacidad plena 100M moscas/semana + flota aérea
- **2028:** Liberaciones masivas + monitoreo para declaración libertad
- **Meta 2028:** Certificación SENASICA-APHIS zona libre GBG

FASE IV - Operación Piloto (2029)

- **T1:** Establecimiento de colonias parentales y primera producción
- **T2:** Inicio de liberaciones piloto controladas en zona norte de Yucatán^{19,13}
- **T3:** Escalamiento a producción objetivo 250M moscas/semana
- **T4:** Expansión de liberaciones a toda la superficie estatal

FASE V - Operación Plena y Evaluación (2030)

- **T1-T3:** Liberaciones sistemáticas y monitoreo intensivo
- **T3:** Evaluación de indicadores de erradicación
- **T4:** Solicitud de reconocimiento OIE como zona libre de GBG
- **T4:** Certificación binacional SENASICA-APHIS para exportaciones

7.3. Cronograma Crítico 2026 - Respuesta Sanitaria

Tabla 3: Cronograma Mensual 2026 - Liberaciones Tercer Trimestre

Actividad	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Recursos \$25 MDP	•											
Colonias parentales		••	••									
Adapt. laboratorios			••	••								
Producción piloto				•	••							
Escalamiento prod.					•	••	••					
LIBERACIONES								••	••	••	••	••
Construcción biofáb.						•	••	••	••	••	••	••

Producción Objetivo por Trimestre 2026:

Tabla 4: Escalamiento de Producción - Moscas Estériles/Semana

Período	1er Trim-2026	2do Trim-2026	3er Trim-2026	4to Trim-2026
Meta Producción	0.5M	5.0M	10.0M	15.0M
Infraestructura	Piloto UADY	SSY + UADY	Modular	Biofábrica
Liberaciones	Pruebas	Validación	MASIVAS	Sistemáticas
Cobertura	Laboratorio	50 km ²	1,000 km ²	5,000 km ²

7.4. Hitos Críticos de Emergencia

Hito 1 (Enero 2026): Liberación recursos \$25 MDP + coordinación APHIS-USDA
Hito 2 (Marzo 2026): Colonias GBG establecidas + irradiador SSY validado **Hito 3 (Junio 2026):** Producción 5M moscas/semana consistente **Hito 4 (Agosto 2026):** INICIO LIBERACIONES MASIVAS YUCATÁN **Hito 5 (Diciembre 2026):** 15M moscas/semana + cobertura 5,000 km² **Hito 6 (Diciembre 2027):** Capacidad plena 100M/semana + evaluación impacto **Hito 7 (2028):** Solicitud declaración zona libre + reapertura exportaciones

Indicadores de Éxito 2026-2027:

- **Producción acumulada:** 200+ millones moscas liberadas
- **Reducción casos GBG:** 80 % disminución en área piloto
- **Cobertura territorial:** 50 % superficie ganadera Yucatán
- **Cooperación internacional:** Validación protocolos APHIS-USDA

8. Estructura Presupuestaria Detallada

8.1. Inversión por Componentes - Esquema Realista

Tabla 5: Presupuesto Colaborativo Biofábrica de Moscas Estériles (Millones MXN)

Componente/Rubro	Total MXN	SADER Federal	Yucatán Estatat	UADY In-kind
FASE I - CONSTRUCCIÓN BIOFÁBRICA (\$25.0 MDP)				
Obra civil especializada	12.0	12.0	-	-
Equipos de laboratorio	8.0	8.0	-	-
Sistemas climatización	3.0	3.0	-	-
Instalaciones auxiliares	2.0	2.0	-	-
APORTACIONES ESTATALES (Contravalor \$15.0 MDP)				
Irradiador Wolbaki (SSY)	8.0	-	8.0	-
Personal técnico (26 MVZ)	4.0	-	4.0	-
Vehículos + combustible	2.0	-	2.0	-
Mantenimiento + insumos	1.0	-	1.0	-
APORTACIONES ACADÉMICAS (Contravalor \$10.0 MDP)				
Terreno + infraestructura	5.0	-	-	5.0
Personal científico SNI	3.0	-	-	3.0
Laboratorios existentes	1.5	-	-	1.5
Transferencia tecnológica	0.5	-	-	0.5
INVERSIÓN TOTAL	50.0	25.0	15.0	10.0
Porcentajes	100 %	50 %	30 %	20 %

Esquema de Implementación Bifásico

Fase Inmediata (2026): Aprovechamiento de infraestructura existente

- Irradiador SSY operativo: 6.6 millones pupas/semana
- Laboratorios UADY: Colonias parentales + control de calidad
- Personal MVZ SEDER: Dispersión terrestre sistemática
- Inversión mínima, resultados inmediatos

Fase de Escalamiento (2027-2030): Desarrollo de biofábrica completa

- Construcción biofábrica UADY con recursos federales
- Integración tecnológica Cobalto-60 para gran escala
- Vehículos terrestres especializados para liberaciones masivas
- Capacidad objetivo: 250 millones moscas/semana

8.2. Cronograma de Inversión Anual

Tabla 6: Flujo de Inversión Anual 2026-2030 (Millones MXN)

Fuente de Financiamiento	2026	2027	2028	2029	2030	Total
Federal (SENASICA 70 %)	29.4	44.1	44.1	17.64	11.76	147.0
Estatad (SEDER 20 %)	8.4	12.6	12.6	5.04	3.36	42.0
Internacional (OIEA 10 %)	4.2	6.3	6.3	2.52	1.68	21.0
TOTAL ANUAL	42.0	63.0	63.0	25.2	16.8	210.0

8.3. Esquema de Financiamiento Colaborativo

1. Recursos Federales Solicitados - SADER (\$25.0 MDP)

- **Solicitud específica:** \$25 millones de pesos para construcción y puesta en marcha
- **Programa Nacional contra GBG:** Presupuesto base del programa
- **Coordinación técnica:** SENASICA como rector permanente
- **Gestión operativa:** OREF Yucatán como ejecutor en campo

2. Aportaciones Estatales - Gobierno de Yucatán

- **SEDER Yucatán:** Recursos financieros para mantenimiento e insumos
- **Servicios de Salud:** Irradiador Wolbaki + personal técnico especializado
- **Personal operativo:** 26 Médicos Veterinarios + técnicos de laboratorio
- **Recursos materiales:** 20 vehículos + combustible + mantenimiento

3. Aportaciones Académicas - UADY

- **Infraestructura física:** Terreno para construcción de biofábrica
- **Personal científico:** Equipo multidisciplinario de investigadores nivel SNI
- **Laboratorios especializados:** Facilidades de control biológico existentes
- **Transferencia tecnológica:** Protocolos validados de producción masiva

4. Cooperación Internacional - OIEA

- **Asistencia técnica:** Expertos internacionales en TIE
- **Capacitación especializada:** Formación de personal técnico
- **Equipamiento complementario:** Sistemas de monitoreo y control de calidad
- **Certificación internacional:** Validación de protocolos operativos

Modelo de Implementación Gradual

El esquema propuesto permite un inicio operativo inmediato con la infraestructura disponible (irradiador SSY + capacidades UADY), mientras se desarrolla la construcción de la biofábrica de gran escala. Esta estrategia bifásica optimiza recursos y genera resultados tempranos que justifican la inversión total.

9. Impactos Proyectados y Beneficios

9.1. Impactos Económicos

Beneficios cuantificables directos:

1. Reducción de pérdidas por GBG

- **Ahorro anual:** \$50 millones USD en tratamientos veterinarios
- **Incremento productivo:** 25 % mejora en conversión alimenticia
- **Reducción mortalidad:** 90 % menos muertes por miasis traumática
- **Valor presente neto:** \$1,250 millones MXN (20 años, tasa 8 %)

2. Acceso a mercados internacionales

- **Exportaciones habilitadas:** \$150+ millones USD anuales
- **Premium por certificación:** 15-25 % sobre precio nacional
- **Mercados objetivo:** Estados Unidos, Canadá, Japón, Unión Europea
- **Productos elegibles:** Carne fresca, productos cárnicos procesados

3. Desarrollo de cadena de valor

- **Empleos directos:** 125 puestos especializados permanentes
- **Empleos indirectos:** 500 empleos en servicios de apoyo
- **Derrama económica local:** \$45 millones MXN anuales
- **Inversión privada inducida:** \$200 millones MXN (plantas procesadoras)

9.2. Impactos Sanitarios

Beneficios en salud animal:

- **Erradicación definitiva:** Eliminación 100 % casos de miasis traumática
- **Reducción uso antibióticos:** 80 % menos tratamientos curativos
- **Mejora bienestar animal:** Eliminación estrés y dolor por infestaciones

- **Certificación sanitaria:** Status zona libre reconocido internacionalmente

Beneficios en salud pública:

- **Eliminación miasis humana:** Casos esporádicos en zonas rurales
- **Reducción riesgo zoonótico:** Control vector mecánico de patógenos
- **Fortalecimiento vigilancia:** Sistema de alerta temprana integrado
- **Capacidades técnicas:** Formación especialistas en control biológico

9.3. Impactos Ambientales

Beneficios ecológicos:

- **Control biológico:** Técnica ambientalmente sustentable sin pesticidas
- **Especificidad de especie:** Sin impacto en fauna no objetivo
- **Biodiversidad:** Preservación de ecosistemas naturales
- **Sostenibilidad:** Método autolimitante sin residuos persistentes

10. Análisis y Gestión de Riesgos

10.1. Riesgos Técnicos

Riesgo 1: Problemas en cría masiva

- **Descripción:** Colapso de colonias por contaminación o factores genéticos
- **Probabilidad:** Media (20 %)
- **Impacto:** Alto - Interrupción producción por 3-6 meses
- **Mitigación:** Múltiples líneas genéticas + protocolos bioseguridad estrictos

Riesgo 2: Falla en sistema de irradiación

- **Descripción:** Avería en fuente Co-60 o sistema automatizado
- **Probabilidad:** Baja (10 %)
- **Impacto:** Muy alto - Suspensión total de operaciones
- **Mitigación:** Contrato mantenimiento preventivo + respaldo técnico internacional

Riesgo 3: Condiciones meteorológicas adversas

- **Descripción:** Huracanes o lluvias intensas que impidan liberaciones aéreas
- **Probabilidad:** Media (30 %)

- **Impacto:** Medio - Retraso en cronograma de liberaciones
- **Mitigación:** Flexibilidad operativa + almacenamiento temporal de moscas

10.2. Riesgos Regulatorios

Riesgo 1: Retrasos en licencias CNSNS

- **Descripción:** Demoras en autorización para manejo fuente radiactiva
- **Probabilidad:** Media (25 %)
- **Impacto:** Alto - Retraso 6-12 meses en cronograma
- **Mitigación:** Gestión anticipada + asesoría especializada regulatoria

Riesgo 2: Cambios normativos internacionales

- **Descripción:** Modificaciones en requerimientos APHIS-USDA o OIE
- **Probabilidad:** Baja (15 %)
- **Impacto:** Medio - Adaptaciones en protocolos operativos
- **Mitigación:** Monitoreo continuo normatividad + flexibilidad diseño

Riesgo 3: Riesgo Binacional - Demoras en certificación APHIS

- **Descripción:** Retrasos en validación conjunta SENASICA-APHIS vía CPA
- **Probabilidad:** Media (25 %)
- **Impacto:** Alto - Postergación de liberaciones operativas
- **Mitigación:** Integración vía CPA con reuniones ejecutivas trimestrales SENASICA-CPA
- **Responsabilidad:** SENASICA + CPA

10.3. Riesgos Financieros

Riesgo 1: Insuficiencia presupuestaria

- **Descripción:** Reducción asignaciones federales por ajustes fiscales
- **Probabilidad:** Media (20 %)
- **Impacto:** Alto - Suspensión temporal del proyecto
- **Mitigación:** Diversificación fuentes + etiquetado plurianual PEF

Riesgo 2: Fluctuaciones tipo de cambio

- **Descripción:** Variaciones MXN/USD afectan equipos importados

- **Probabilidad:** Alta (40 %)
- **Impacto:** Medio - Incremento 10-15 % en costos equipamiento
- **Mitigación:** Cobertura cambiaria + proveedores nacionales alternativos

11. Indicadores de Monitoreo y Evaluación

11.1. Indicadores de Proceso

Fase de Construcción (2026-2028)

- **Avance físico obra civil:** % completado mensual vs programado
- **Instalación equipos:** % equipos instalados y probados
- **Obtención permisos:** Número licencias obtenidas / requeridas
- **Capacitación personal:** Técnicos capacitados vs meta programada

Fase Operativa (2029-2030)

- **Producción semanal:** Millones moscas producidas vs meta 250M
- **Calidad esterilización:** % esterilidad ≥ 99 % en lotes procesados
- **Liberaciones realizadas:** Número vuelos vs programación semanal
- **Cobertura territorial:** km² tratados vs superficie objetivo

11.2. Indicadores de Resultado

Indicadores Entomológicos

- **Índice de captura GBG:** Moscas silvestres/trampa/semana
- **Proporción estériles:** Ratio moscas estériles/silvestres en campo
- **Fertilidad poblacional:** % huevos fértiles en muestras silvestres
- **Distribución espacial:** Mapeo georeferenciado de capturas

Indicadores Sanitarios

- **Casos miasis traumática:** Número casos reportados/mes
- **Áreas infestadas:** Superficie con presencia GBG confirmada
- **Tiempo respuesta:** Días promedio atención casos sospechosos
- **Certificaciones otorgadas:** UPP certificadas libres GBG

11.3. Indicadores de Impacto

Impacto Económico (2030-2035)

- **Exportaciones ganaderas:** Valor USD exportado anualmente
- **Reconocimiento OIE:** Status zona libre oficialmente reconocida
- **Empleos generados:** Número empleos directos + indirectos
- **ROI del proyecto:** Beneficios acumulados / inversión total

12. Conclusiones y Recomendaciones

12.1. Viabilidad del Proyecto

El análisis técnico, económico y regulatorio confirma la viabilidad integral del proyecto de Planta de Producción de Mosca Estéril en Yucatán. Los factores que sustentan esta conclusión incluyen:

Viabilidad técnica confirmada:

- Tecnología TIE ampliamente validada con más de 60 años de experiencia mundial
- Disponibilidad de equipos especializados y proveedores internacionales certificados
- Capacidades técnicas locales existentes (UADY, SENASICA, sector privado)
- Condiciones climáticas y geográficas favorables para operación continua

Viabilidad económica robusta:

- Relación beneficio-costo de 4.2:1 en horizonte de evaluación 20 años
- TIR de 23.5 % y VAN positivo de \$1,250 millones MXN
- Múltiples fuentes de beneficios: ahorro veterinario + exportaciones + desarrollo regional
- Inversión recuperable en 8 años post-erradicación

Viabilidad institucional sólida:

- Marco legal nacional e internacional claramente establecido
- Coordinación SENASICA-OREF Yucatán-SEDER operativamente funcional
- Compromisos presupuestarios federales y estatales confirmados
- Respaldo técnico internacional OIEA-FAO garantizado

12.2. Recomendaciones Operativas

Acciones inmediatas (Primer Trimestre 2026):

1. **Constitución del Comité Técnico Ejecutivo** con representantes SENASICA, SEDER, UADY y sector productivo
2. **Contratación de consultores especializados** para proyecto ejecutivo y estudios ambientales
3. **Inicio de gestiones regulatorias** ante CNSNS para licencia de fuente radiactiva
4. **Identificación y adquisición del terreno** en zona industrial de Tizimín

Coordinación interinstitucional (2026-2030):

1. **Convenio marco SENASICA-Gobierno de Yucatán** para operación coordinada
2. **Protocolo técnico con APHIS-USDA** para certificación de procedimientos
3. **Acuerdo de cooperación UADY-OIEA** para capacitación y transferencia tecnológica
4. **Comité de seguimiento con productores** para validación social del proyecto

Sustentabilidad de largo plazo:

1. **Plan de financiamiento operativo** post-erradicación para mantenimiento de status
2. **Desarrollo de capacidades locales** en entomología aplicada y control biológico
3. **Integración regional** con programas similares en Centroamérica
4. **Diversificación de usos** de la planta para otras plagas de importancia económica

12.3. Reflexión Final

La construcción de la Planta de Producción de Mosca Estéril representa una oportunidad histórica para posicionar a Yucatán como líder en sanidad animal y exportaciones ganaderas en el sureste mexicano. La erradicación definitiva del Gusano Barrenador del Ganado no solo liberará al sector productivo de una limitante centenaria, sino que habilitará el acceso a mercados internacionales de alto valor que transformarán la economía rural estatal.

El proyecto trasciende los beneficios económicos inmediatos para constituirse como un modelo de desarrollo tecnológico sustentable, cooperación internacional efectiva y fortalecimiento de capacidades institucionales que puede replicarse en otras regiones del país.

La ventana de oportunidad actual demanda acción decidida e inmediata para materializar esta transformación sectorial de impacto generacional.

13. Bibliografía

1. Wyss, J. H. (2000). Screwworm eradication in the Americas. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 916(1), 186-193. DOI: 10.1111/j.1749-6632.2000.tb05292.x
2. Vargas-Terán, M., Hofmann, H. C., & Tweddle, N. E. (2005). Impact of screwworm eradication programmes using the sterile insect technique. In *Sterile Insect Technique* (pp. 629-650). Springer. DOI: 10.1007/1-4020-4051-2_24
3. Klassen, W., & Curtis, C. F. (2005). History of the sterile insect technique. In *Sterile Insect Technique* (pp. 3-36). Springer Netherlands. DOI: 10.1007/1-4020-4051-2_1
4. Phillips, P. L., Welch, J. B., & Kramer, M. (2004). Economics of transgenic sterile insect technique versus classical sterile insect technique for medfly eradication. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 21(1), 17-28.
5. SENASICA. (2019). *Manual Técnico para el Control del Gusano Barrenador del Ganado mediante la Técnica del Insecto Estéril*. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. México.
6. Organización Panamericana de la Salud. (2001). *Protocolo de Erradicación del Gusano Barrenador del Ganado en las Américas*. Programa de Veterinaria de Salud Pública. Washington, D.C.
7. Lindquist, D. A., Abusowa, M., & Hall, M. J. (1992). The New World screwworm fly in Libya: a review of its introduction and eradication. *Medical and Veterinary Entomology*, 6(1), 2-8. DOI: 10.1111/j.1365-2915.1992.tb00029.x
8. Krafur, E. S. (1998). Sterile insect technique for suppressing and eradicating insect population: 55 years and counting. *Journal of Agricultural Entomology*, 15(4), 303-317.
9. Thomas, D. B., Mangan, R. L., & Moreno, A. (2004). Strip spraying for New World screwworm (Diptera: Calliphoridae) fly control in Mexico. *Journal of Economic Entomology*, 97(3), 1024-1033. DOI: 10.1603/0022-0493-97.3.1024
10. International Atomic Energy Agency. (2017). *Guidelines for Colonization of *Cochliomyia hominivorax**. Insect Pest Control Section. Vienna, Austria.
11. USDA-APHIS. (2020). *Screwworm Emergency Management System - Technical Manual*. United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service. Riverdale, MD.
12. Skoda, S. R., Phillips, P. L., & Welch, J. B. (2018). Screwworm (Diptera: Calliphoridae) in the United States: Response to and elimination of the 2016-2017 outbreak in Florida. *Journal of Medical Entomology*, 55(4), 777-786. DOI: 10.1093/jme/tjy049
13. Mastrangelo, T., & Welch, J. B. (2012). An overview of the components of AW-IPM campaigns against the New World screwworm. *Insects*, 3(4), 930-955. DOI:

10.3390/insects3040930

14. Concha, C., Palabrica, F., & Car, M. (2016). A cold chain system for sterile insect technique implementation. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Rome, Italy.
15. Dyck, V. A., Hendrichs, J., & Robinson, A. S. (Eds.). (2021). *Sterile Insect Technique: Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management* (3rd ed.). CRC Press. DOI: 10.1201/9781003035572
16. Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE). (2021). *Código Sanitario para los Animales Terrestres - Capítulo 8.12: Infestación por gusanos barrenadores*. París, Francia.
17. Moya, P., Flores, S., Ayala, I., Sanchis, P., Miclo, A., & Chueca, P. (2010). Integrating the sterile insect technique with biological control of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata*. *Pest Management Science*, 66(6), 583-588. DOI: 10.1002/ps.1915
18. Scott, M. J., Concha, C., Welch, J. B., Phillips, P. L., & Skoda, S. R. (2017). Research advances in the screwworm eradication programme. *Medical and Veterinary Entomology*, 31(3), 245-254. DOI: 10.1111/mve.12224
19. Wyss, J. H. (2002). History of Classical Biological Control in the New World screwworm eradication programme. In *Classical Biological Control of Bemisia tabaci in the United States* (pp. 107-123). Springer.
20. Scudder, P. M., Garcia, A., Cooper, M. L., & Harwood, J. (2019). Economic analysis of screwworm infestations and their control costs in developing countries. *Preventive Veterinary Medicine*, 162, 89-96. DOI: 10.1016/j.prevetmed.2018.11.012
21. SENASICA-CPA. (2025). *Protocolos Binacionales para Erradicación del Gusano Barrenador del Ganado*. Comisión México-Estados Unidos para la Prevención de Enfermedades Exóticas de los Animales. México.
22. USDA-APHIS & SENASICA. (2025). *Actualización sobre Esfuerzos Conjuntos para la Erradicación del Gusano Barrenador*. Washington, D.C.