

Macroproyecto Estratégico Integrado:

Renacimiento Ganadero Maya

Integración de Seis Componentes Estratégicos:

- Sistemas Silvopastoriles Intensivos
- Repoblamiento Ganadero Estratégico
- Centro de Mejoramiento Genético (Tizimín)
 - Desarrollo Lechero Tropical
- Planta de Mosca Estéril (Erradicación GBG)
- Certificación Sanitaria TBC + Seguimiento Digital

Yucatán 2026-2030

Mérida, Yucatán, 27 de noviembre de 2025

MVZ SERGIO MUÑOZ DE ALBA MEDRANO

Prestador de Servicios Independiente

Oficina Estatal de Representación en la Entidad Federativa Yucatán (OREF Yucatán)

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER)

Contenido

Índice

BORRADOR

1. Resumen Ejecutivo

El Desafío Crítico: La ganadería yucateca enfrenta una crisis sin precedentes. Los datos del barrido sanitario de tuberculosis bovina y registros del SINIDA revelan un declive alarmante en la población de semovientes. Esto confirma la contracción severa de la actividad ganadera estatal.

Con 605,536 cabezas bovinas oficiales en sistemas extensivos degradados, el sector presenta productividades 60 % menores al potencial regional. Las emisiones de GEI aumentan y la vulnerabilidad climática es extrema. El sector lechero muestra una reducción del 35.7 % en la última década.

Los datos preliminares del CNOG-SINIIGA (pendientes de confirmación oficial) sugieren una contracción adicional del inventario ganadero. Esto hace imperativo el repoblamiento estratégico para la recuperación sectorial.

La Oportunidad: El Macroproyecto Estratégico Integrado “Renacimiento Ganadero Maya 2026-2030” representa una inversión transformacional de **\$926.5 millones de pesos** que puede posicionar a Yucatán como el estado líder en ganadería climáticamente inteligente de México, generando beneficios económicos, ambientales y sociales sin precedentes.

La Visión Integrada: Esta no es simplemente una colección de proyectos independientes, sino una visión integrada que reconoce las interconexiones entre la mejora genética, los sistemas de producción sustentables y el desarrollo económico de nuestros productores. Cada elemento ha sido construido sobre evidencia científica sólida, datos oficiales SIAP 2014-2023, y mejores prácticas zootécnicas internacionales adaptadas a nuestro contexto tropical.

El Impacto Transformacional: 1,075 Unidades de Producción Pecuaria beneficiadas, incremento del 75 % en productividad ganadera, captura de 765,000 toneladas CO₂ equivalente, y generación de **\$150+ millones USD anuales en exportaciones** hacia 2030.

El Macroproyecto Integral: Este documento presenta la integración completa de seis componentes estratégicos que constituyen un ecosistema tecnológico integral para la transformación ganadera de Yucatán:

- **Componente 1: Sistemas Silvopastoriles Intensivos** — Reconversión de 6,000 hectáreas con tecnología de pastoreo racional
- **Componente 2: Repoblamiento Ganadero** — Introducción de 12,000 vaquillas F1 certificadas
- **Componente 3: Centro de Mejoramiento Genético** — Refundación y certificación OIE/ISO-17025 del Centro de Tizimín
- **Componente 4: Desarrollo Lechero Tropical** — Mejoramiento genético e infraestructura especializada

- **Componente 5: Planta de Mosca Estéril** — Laboratorio de cría masiva (250M moscas/semana) para erradicación GBG
- **Componente 6: Certificación Sanitaria TBC + Seguimiento Digital** — Protocolo T-MEC + plataforma CESO-APHIS

Cuadro 1: Desglose Integral del Macroproyecto: \$926.5 Millones MXN

Componente Estratégico	Monto (MDP)	%	UPP Beneficiadas	Meta Física
1. Sistemas Silvopastoriles	\$132.6	15.2 %	120	6,000 hectáreas
<i>Reconversión SSPi (\$12,100/ha)</i>	<i>\$72.6</i>			<i>Paquete técnico optimizado</i>
<i>Infraestructura ganadera</i>	<i>\$60.0</i>			<i>Equipamiento especializado</i>
2. Repoblamiento Ganadero	\$150.1	17.2 %	1,075	12,000 vaquillas F1
3. Centro Mejoramiento Genético	\$150.0	17.2 %	1,075	120K dosis/año
4. Desarrollo Lechero Tropical	\$89.5	10.3 %	75	+40 % producción
<i>Infraestructura lechera</i>	<i>\$65.0</i>			<i>Salas de ordeño tecnificadas</i>
<i>Genética F1 lechera</i>	<i>\$24.5</i>			<i>Material genético adaptado</i>
5. Planta de Mosca Estéril	\$300.0	34.4 %	1,075	250M moscas/semana
<i>Laboratorio cría masiva</i>	<i>\$120.0</i>			<i>Capacidad productiva</i>
<i>Planta irradiación Co-60</i>	<i>\$90.0</i>			<i>Esterilización machos</i>
<i>Flota aérea + operación</i>	<i>\$90.0</i>			<i>Liberaciones sistemáticas</i>
6. Certificación TBC + Digital	\$51.5	5.9 %	1,075	T-MEC + CESO-APHIS
<i>Protocolo TBC (T-MEC)</i>	<i>\$34.7</i>			<i>Certificación binacional</i>
<i>Plataforma digital CESO</i>	<i>\$16.8</i>			<i>Seguimiento APHIS</i>
SUBTOTAL INVERSIONES	\$873.7	94.3 %	1,075	Multi-componente
<i>Gastos Operativos (5 años)</i>	<i>\$52.8</i>	<i>5.7 %</i>	–	<i>Equipo técnico FOFAY</i>
GRAN TOTAL	\$926.5	100 %	1,075	Período 2026-2030

Esquema de Financiamiento Tripartito:

- **Federación (60 %):** \$555.9 MDP vía PEC-SADER y programas concurrentes
- **Estado de Yucatán (30 %):** \$277.9 MDP mediante FOFAY y recursos estatales
- **Productores (10 %):** \$92.7 MDP en contraparte y servicios

2. Antecedentes y Justificación del Proyecto

2.1. Situación Actual de la Ganadería Yucateca

Diagnóstico basado en datos oficiales múltiples fuentes:

- **Inventario ganadero SIAP 2023:** 605,536 cabezas bovinas (99.4 % carne, 0.6 % leche)⁴
- **Declive poblacional documentado:** Datos del barrido sanitario TBC y SINIDA confirman contracción significativa del hato estatal
- **Confirmación pendiente CNOG-SINIIGA:** Análisis oficial del padrón, movilizaciones e identificación individual en proceso de validación
- **Productividad limitada:** 1.2 UA/ha vs 2.8-3.0 UA/ha potencial con SSPi^{5,6}
- **Sector lechero en crisis:** Reducción 35.7 % en última década (5,220 → 3,356 cabezas)⁴

- **Sistemas extensivos degradados:** 85 % pastizales con sobrepastoreo
- **Vulnerabilidad climática:** Sequías recurrentes y huracanes afectan 60 % superficie ganadera

Urgencia del repoblamiento: Los datos oficiales del SIAP, barrido sanitario TBC, registros SINIDA y análisis preliminares CNOG-SINIIGA muestran una contracción del inventario ganadero. Esta situación requiere intervención inmediata mediante repoblamiento estratégico. El objetivo es evitar el colapso sectorial y garantizar la seguridad alimentaria estatal.

Oportunidad estratégica: El T-MEC, los programas federales de mitigación climática y el Plan Estatal Renacimiento Maya crean una ventana de oportunidad única. Esto permite transformar la ganadería yucateca hacia sistemas sostenibles y competitivos internacionalmente.

2.2. Alineación con Políticas Públicas y Presupuesto Federal

Marco normativo y presupuestal 2026:

- **T-MEC:** Certificación sanitaria binacional para acceso a mercados de EE.UU. y Canadá
- **Estrategia Nacional de Mitigación:** Reducción 30 % emisiones GEI sector agropecuario
- **Plan Renacimiento Maya:** Directriz 4.1.1 - Modernización del sector primario
- **PEF 2026 - Ramo 20 SADER:** \$109,456 MDP presupuesto total (+5.2 % real vs 2025)
- **Recursos etiquetados ganadería sustentable:** ~\$18,500 MDP (18 % del ramo SADER)

Programas federales específicos de concurrencia:

- **S304 - Fomento Agropecuario:** \$12,000 MDP (~\$4,500 MDP para ganadería)
- **Bienestar Pequeños y Medianos Ganaderos:** \$6,500 MDP vía Convenios de Coordinación
- **Crédito Ganadero a la Palabra:** \$2,000 MDP integrado en S304
- **SINIIGA/SINIDA:** Recursos específicos para trazabilidad y combate al abigeato
- **Plan Binacional TB:** Fortalecimiento México-EE.UU. contra tuberculosis bovina (T-MEC)

2.3. Marco Presupuestal Federal 2026 - Ganadería Sustentable

Cuadro 2: Programas Federales PEF 2026 con Concurrencia Estatal

Programa Federal	Presupuesto 2026 (MDP)	% Ganadería Sustentable	Mecanismo Concurrencia
S304 - Fomento Agropecuario	12,000	~37.5 %	Convenios Concertación
Bienestar Pequeños/Medanos Ganaderos	6,500	100 %	Convenios Coordinación
Crédito Ganadero a la Palabra	2,000	100 %	Ventanillas estatales
TOTAL ETIQUETADO	~18,500	—	PECDRS Anexo 11

Características de la concurrencia federal 2026:

- **Sujeto a convenios específicos** con las 32 entidades federativas
- **Aportación estatal promedio 25 %** (condiciona transferencia federal)
- **Inclusión SINIIGA/SINIDA:** Recursos para trazabilidad y combate al abigeato
- **Vinculación T-MEC:** Plan Binacional México-EE.UU. contra tuberculosis bovina
- **Ventanillas únicas estatales** y agentes técnicos especializados

2.4. Focalización Territorial Basada en Análisis de Pareto

Fundamento científico: El Análisis de Pareto de la Concentración Ganadera por Organizaciones Regionales (Padrón Ganadero Nacional 2025) demuestra que **11 municipios (10.4 % del total de 106) concentran el 80.3 % de la actividad ganadera estatal⁹**, validando la aplicación del Principio de Pareto (regla 80/20) en la ganadería yucateca y fundamentando una estrategia de intervención altamente eficiente.

Distribución por organizaciones ganaderas oficiales:

- **UGROY - Unión Ganadera Regional del Oriente (7 municipios Pareto):** 65.5 % concentración estatal
 - Núcleo crítico: Tizimín (35.2 %), Panabá (12.9 %), Buctzotz (5.3 %) = 53.4 % actividad estatal
 - Superficie Pareto: 606,709 hectáreas
 - Característica: Epicentro absoluto de la ganadería yucateca
- **UGRY - Unión Ganadera Regional de Yucatán Centro (4 municipios Pareto):** 14.8 % concentración estatal

- Núcleo complementario: Tekax (6.2 %), Tzucacab (3.5 %), Peto (2.8 %), Ixamal (2.5 %)
- Superficie Pareto: 204,004 hectáreas
- Característica: Diversificación complementaria, especialización lechera

Asignación presupuestaria basada en concentración Pareto:

Cuadro 3: Regionalización de Inversiones del Macroproyecto (\$926.5 MDP)

Región Ganadera	Concentración Real	Asignación Eficiente	Monto (MDP)	Estrategia Principal
UGROY (Oriente)	65.5 %	65 %	\$529.7	SSPi + Planta Mosca + Centro Genético
UGRY (Centro)	14.8 %	15 %	\$122.2	Lechería Tropical + Diversificación
Reserva Estratégica	19.7 % (Nivel 2)	20 %	\$163.0	Municipios Nivel 2 + Programas Transversales
TOTAL	100 %	100 %	\$926.5	Focalización Pareto

Eficiencia de la focalización Pareto: 80 % de recursos concentrados en 10 % de municipios maximiza impacto por peso invertido, mientras que el 20 % restante atiende municipios complementarios (niveles 12-20 del ranking Pareto) y programas transversales de capacitación y asistencia técnica.

Infraestructura estratégica centralizada: Tizimín, como epicentro operativo (35.2 % de concentración ganadera), albergará:

- Planta de Mosca Estéril (\$300 MDP)
- Centro de Mejoramiento Genético refundado (\$150.0 MDP)

Esta centralización optimiza costos logísticos y maximiza la cobertura de servicios especializados hacia la región UGROY.

3. Inversiones Principales y Metas Físicas

3.1. Cuadro Ejecutivo de Inversiones Estratégicas

INVERSIÓN TOTAL: \$926.5 millones de pesos (2026-2030)

- **Inversiones productivas:** \$762.1 millones (93.5 %)
- **Gastos de operación:** \$52.8 millones (6.5 %)

METAS FÍSICAS QUINQUENALES:

- **1,075 Unidades de Producción Pecuaria** beneficiadas directamente
- **120 UPP con Sistemas Silvopastoriles** (6,000 hectáreas = 50 ha/UPP)

- **880 UPP atendidas** vía Centro Genético Tizimín (120,000 dosis/año)
- **75 UPP de desarrollo lechero** tropical especializado
- **+400,000 cabezas bovinas** de incremento del hato estatal proyectado

Cuadro 4: Inversiones Principales por Componente Estratégico

Componente de Inversión	Monto (MDP)	%	UPP	Superficie/Capacidad
1. Sistemas Silvopastoriles	\$132.6	15.2 %	120	6,000 hectáreas
Reconversión SSPi (\$12,100/ha)	\$72.6			Paquete técnico optimizado
Infraestructura ganadera	\$60.0			Equipamiento especializado
2. Repoblamiento Ganadero	\$150.1	17.2 %	1,075	12,000 vaquillas F1
Vaquillas + infraestructura	\$150.1			Genética + servicios integrales
3. Centro Mejoramiento Genético	\$150.0	17.2 %	1,075	120K dosis/año
Refundación Centro Tizimín	\$150.0			Certificación OIE/ISO
4. Desarrollo Lechero	\$89.5	10.3 %	75	+40 % producción
Infraestructura lechera	\$65.0			Salas de ordeño tecnificadas
Genética F1 lechera especializada	\$24.5			Material genético adaptado
5. Planta de Mosca Estéril	\$300.0	34.4 %	1,075	Erradicación GBG
Laboratorio cría masiva	\$120.0			250M moscas/semana
Planta irradiación Co-60	\$90.0			Esterilización machos
Flota aérea + operación	\$90.0			Liberaciones sistemáticas
6. Certificación TBC + Digital	\$51.5	5.9 %	1,075	T-MEC + CESO-APHIS
Protocolo TBC (T-MEC)	\$34.7			Certificación binacional
Plataforma digital CESO	\$16.8			Seguimiento APHIS
TOTAL INVERSIONES PRODUCTIVAS	\$873.7	100 %	1,075	Multi-componente
<i>Gastos Operativos (5 años)</i>	<i>\$52.8</i>	<i>5.7 %</i>	<i>–</i>	<i>Equipo técnico</i>
GRAN TOTAL MACROPROYECTO	\$926.5	–	1,075	2026-2030

3.2. Paquete Tecnológico Silvopastoril (\$12,100 MXN/hectárea)

Cuadro 5: Desglose del Paquete Tecnológico SSPi

Componente Técnico	Unidad	Costo Unit.	Costo/ha
Establecimiento de Pastos Mejorados			
Semilla <i>Cynodon nlemfuensis</i>	3 kg	\$250/kg	\$750
Semilla <i>Brachiaria brizantha</i>	2 kg	\$280/kg	\$560
Preparación y siembra	4 jornales	\$180/jornal	\$720
Componente Forrajero Intensivo (Fundación Produce Michoacán)			
Semilla <i>Leucaena leucocephala</i>	6.0 kg	\$800/kg	\$4,800
Inoculante Rhizobium + micorrizas	1 dosis	\$1,500/ha	\$1,500
Plantas nativas (<i>Brosimum</i> , <i>Inga</i>)	50 plantas	\$15/planta	\$750
Plantación arbórea	8 jornales	\$180/jornal	\$1,440
Infraestructura de Pastoreo Racional			
Cercos eléctricos	1,500 m	\$45/m	\$6,750
Bebederos móviles	2 unidades	\$1,800/unidad	\$3,600
Sistema de agua	150 m tubería	\$35/m	\$5,250
Insumos Biológicos y Capacitación			
Biofertilizantes	1 ton	\$1,200/ton	\$1,200
Inoculantes microorganismos	5 dosis	\$60/dosis	\$300
Capacitación técnica ECA	1 productor	\$2,500	\$2,500
TOTAL PAQUETE TECNOLÓGICO			\$12,100

Justificación técnica del paquete: El costo de \$12,100/ha representa una inversión técnicamente sólida con 6.0 kg/ha de semilla *Leucaena leucocephala*, proporcionando margen de seguridad operativa para verificación en campo. Permite densidades efectivas de 45,000-55,000 plantas/ha con fijación de nitrógeno de 250-550 kg/ha/año^{7,8}, infraestructura de pastoreo racional, establecimiento de especies forrajeras de alta calidad, componente arbóreo funcional, e insumos biológicos que garantizan la sostenibilidad del sistema.

Ver Anexo II: Memoria de Cálculo - Justificación Técnica Paquete Tecnológico SSPi

3.3. Impacto Económico y Ambiental de los Sistemas Silvo-pastoriles

Cuadro 6: Beneficios Cuantificables de la Reconversión SSPi (6,000 hectáreas)

Indicador de Impacto	Sistema Tradicional	Sistema SSPi	Incremento
PRODUCTIVIDAD GANADERA			
Capacidad de carga (UA/ha)	1.2	2.8	+133 %
Producción carne (kg/ha/año)	120	280	+133 %
Producción leche (L/ha/año)	480	1,120	+133 %
SERVICIOS ECOSISTÉMICOS			
Captura CO ₂ (ton/ha/5 años)	2.5	127.5	+5,000 %
Infiltración hídrica (%)	15	65	+333 %
Biodiversidad (especies/ha)	8-12	45-60	+400 %
RENTABILIDAD ECONÓMICA			
Ingreso neto (MXN/ha/año)	\$3,600	\$8,400	+133 %
TIR a 10 años (%)	8-12 %	22-28 %	+150 %
Payback inversión (años)	–	3.2	–
TOTAL CAPTURA CARBONO MACROPROYECTO			765,000 ton CO₂eq

Valor económico de servicios ambientales: La captura de 765,000 toneladas de CO₂ equivalente representa un valor potencial de \$15.3-38.25 millones USD en mercados internacionales de carbono (\$20-50 USD/ton CO₂eq), generando ingresos adicionales que pueden amortizar hasta el 25 % de la inversión inicial del macroproyecto.

3.4. Fundamentos Zootécnicos y Científicos

Base científica del proyecto:

- **Inventario oficial SIAP:** 605,536 cabezas de ganado bovino documentadas (2023)⁴
- **Colaboración UADY-TNC:** 5+ años investigación SSPi en condiciones tropicales¹⁴
- **Parámetros zootécnicos validados:** Supervivencia 90 %, fertilidad 80 % (Brasil, Colombia)^{10,13}
- **Validación INIFAP:** Protocolos genética bovina y sanidad animal¹⁷
- **Metodología EMBRAPA:** Transferencia tecnológica Brasil-México¹⁰
- **Estándares APHIS-USDA:** Certificación sanitaria binacional^{11,15}

Calibración de metas realista: La meta de 6,000 hectáreas SSPi (1,200 ha/año) está basada en análisis de 20 años de proyectos similares en Chiapas (promedio 1,078 ha/año)⁶, siendo 11 % más ambiciosa que el promedio histórico y equivalente al proyecto IKI-MICC más exitoso documentado.

3.5. Esquema de Financiamiento Tripartito

Inversión total: \$926.5 millones de pesos (2026-2030)

Distribución de financiamiento federal PEF 2026:

- **Federal (60 % = \$488.9 MDP):** Programa Especial Concurrente para el Desarrollo Rural Sustentable (PECDRS)
 - **S304 - Componente ganadero:** \$350.0 MDP (72 % del federal)
 - **Bienestar Ganaderos:** \$100.0 MDP (20 % del federal)
 - **Crédito a la Palabra:** \$38.9 MDP (8 % del federal)
- **Estatad (30 %):** \$244.5 millones vía Convenios de Concertación y FOFAE
- **Productores (10 %):** \$81.5 millones en especie, mano de obra y mantenimiento

Mecanismo FOFAE: Los \$52.8 millones para gastos operativos se canalizarán vía Fideicomiso “Fondo de Fomento Agropecuario de Yucatán”, siguiendo la metodología exitosa de “Alianza para el Campo” con optimización del equipo técnico (6 profesionales) generando \$8.75 millones de ahorro vs el presupuesto original.

Justificación del esquema 60-30-10: Refleja la importancia estratégica nacional del proyecto, el compromiso estatal con desarrollo rural, y la capacidad de participación de pequeños productores sin comprometer su viabilidad económica. Este esquema está alineado con los mecanismos de concurrencia del PEF 2026, donde los programas federales de ganadería sustentable (~\$18.500 MDP) requieren aportación estatal promedio del 25 % bajo el Programa Especial Concurrente para el Desarrollo Rural Sustentable (PECDRS).

Modelo de corresponsabilidad financiera “pari passu”:

- **Federal (60 %):** \$277.26 millones vía Programa Especial Concurrente (PEC)
- **Estatad (30 %):** \$138.63 millones con blindaje presupuestal Ley de Egresos 2026-2030
- **Productores (10 %):** \$46.21 millones mediante aportaciones organizadas

Total inversión productiva: \$723.7 millones + \$52.8 millones gastos de operación = **\$776.5 millones**

4. Metas Físicas y Resultados Esperados

Visión 2030: Establecer a Yucatán como el primer estado de México con certificación sanitaria binacional completa (TBC libre + GBG libre) mediante un macroproyecto estratégico de \$926.5 millones que integra seis componentes tecnológicos de vanguardia: 6,000 hectáreas de sistemas silvopastoriles intensivos con densidades científicamente validadas de *Leucaena leucocephala* (40,000-53,000 plantas/ha), repoblamiento bovino

con 12,000 vaquillas genéticamente superiores distribuidas en 1,075 UPP transformadas, incremento del 40 % en la producción láctea mediante 75 módulos tecnificados, construcción de la primera planta de mosca estéril del sureste (250 millones/semana) para erradicación definitiva del gusano barrenador, y protocolo digital APHIS-USDA que habilite exportaciones de \$150 millones USD anuales bajo estándares T-MEC. El proyecto aspira a posicionar a Yucatán como la plataforma agroexportadora del sureste mexicano, capturando 750,000 toneladas CO₂eq mediante silvopastoreo intensivo, incrementando 280 % la productividad forrajera, y consolidando un inventario bovino de 850,000 cabezas con trazabilidad individual y certificación OIE para acceso a mercados internacionales premium.

4.1. Componente 1: Sistemas Silvopastoriles Intensivos: Reconversión Territorial Estratégica

Inversión central del macroproyecto: \$171.0 millones de pesos (37 % del presupuesto total) destinados a la reconversión de sistemas ganaderos tradicionales hacia sistemas silvopastoriles intensivos de alta productividad.

Meta de reconversión territorial: 6,000 hectáreas distribuidas en 120 Unidades de Producción Pecuaria (UPP) mediante sistemas silvopastoriles intensivos con pastoreo racional adaptativo.

Cronograma de establecimiento escalonado:

- **2026:** 1,200 ha + infraestructura básica (30 UPP piloto)
- **2027:** 1,200 ha adicionales + maduración *Leucaena* cohorte 2026 (30 UPP)
- **2028-2030:** 1,200 ha anuales hasta completar 6,000 ha (120 UPP totales)

Parámetros técnicos de los SSPi (validados Fundación Produce Michoacán):

- **Componente leguminoso intensivo:** *Leucaena leucocephala* var. Cunningham (40,000-53,000 plantas/ha)^{7,8}
- **Arreglo espacial:** Surcos 1.2-1.6 m entre hileras, 0.20-0.30 m entre plantas⁷
- **Siembra directa:** 12-16 kg semilla/ha (18,000 semillas/kg, germinación 85 %)⁸
- **Inoculación obligatoria:** *Rhizobium* específico + micorrizas arbusculares^{6,7}
- **Componente herbáceo:** Pastos mejorados (*Cynodon nlemfuensis*, *Brachiaria brizantha*)
- **Componente arbóreo nativo:** *Brosimum alicastrum*, *Inga edulis* (50 plantas/ha)
- **Pastoreo racional:** Rotación controlada con cerca eléctrica (1,500 m/UPP)
- **Carga animal objetivo:** 4.0-5.0 UA/ha (vs 1.2 UA/ha sistema tradicional)
- **Fijación nitrógeno:** 250-550 kg N/ha/año (*Leucaena* + *Rhizobium*)

- **Captura carbono:** 15-128 ton CO₂eq/ha/año (según densidad Leucaena)
- **Beneficios cuantificables:** +280 % capacidad de carga, 50 % reducción emisiones GEI, 765,000 ton CO₂eq captura quinquenal

4.2. Componente 2: Repoblamiento Ganadero Estratégico

Inversión estratégica: \$150.1 millones de pesos (16.3 % del presupuesto total) destinados al repoblamiento bovino con genética superior y infraestructura tecnificada.

Meta de incremento del hato: 12,000 vaquillas F1 certificadas mediante entregas escalonadas sincronizadas con la maduración de hectáreas silvopastoriles, asegurando la disponibilidad de forraje de calidad antes de la introducción del ganado.

Estrategia genética diferenciada:

- **Vaquillas F1 de carne (8,000 cabezas):** Cruzas Brahman × *Simmental/Charolais* para adaptación
- **Vaquillas F1 lecheras (4,000 cabezas):** Cruzas Holstein × *Gyr/Sahiwal* para producción láctea
- **Certificación genética:** 100 % ganado con registro genealógico y pruebas de rendimiento validadas
- **Sanidad garantizada:** Protocolo sanitario completo incluyendo vacunaciones, desparasitación y certificación libre de enfermedades

Cronograma de introducciones escalonadas:

- **2026:** Sin entregas (construcción infraestructura + establecimiento Leucaena en 1,200 ha)
- **2027:** 1,000 vaquillas (T3-T4) tras maduración Leucaena 6-9 meses en primeras 1,200 ha
- **2028:** 3,000 vaquillas (1,000 T1 + 2,000 T3) sincronizadas con 2,400 ha disponibles
- **2029:** 6,000 vaquillas (3,000 T1 + 3,000 T3) para aprovechamiento de 4,800 ha maduras
- **2030:** 2,000 vaquillas (T1) completando 12,000 totales en 6,000 ha consolidadas

Proyección del crecimiento poblacional:

Año	Vaquillas Introducidas	Hectáreas SSPi	Hato Acumulado	Nacimientos Anuales	Total Incremento
2026	0	1,200	0	0	0
2027	1,000	2,400	900*	0	900
2028	3,000	3,600	3,600	0	3,600
2029	6,000	4,800	9,000	360**	9,360
2030	2,000	6,000	10,800	3,744***	14,544
TOTAL PROYECTADO AL 2030					14,544

Cuadro 7: Proyección Integrada: Hectáreas SSPi y Crecimiento del Hato

*Considerando 90 % supervivencia ($1,000 \times 0,9$)

***Primeros partos cohorte 2027* ($900 \times 80 \% \text{preñez} \times 50 \% \text{hembras}$)

*** *Partos acumulados cohortes 2027 – 2029*

4.3. Componente 3: Centro de Mejoramiento Genético de Tizimín

Objetivo estratégico: Refundación y certificación internacional del Centro de Mejoramiento Genético de Tizimín mediante acreditación ISO/IEC 17025:2017 y certificación OIE, estableciendo capacidad productiva de 120,000 dosis de semen y 5,000 embriones certificados anuales para abastecer el programa de repoblamiento ganadero.

Inversión total: \$150.0 millones de pesos (17.2 % del presupuesto total) distribuidos en certificación OIE/ISO-17025 (\$60.0 MDP), equipamiento especializado (\$50.0 MDP), capacitación internacional (\$20.0 MDP), investigación aplicada (\$15.0 MDP) y operación quinquenal (\$5.0 MDP).

Diagnóstico y oportunidad: El Centro cuenta con infraestructura base de \$44 MDP (inaugurado noviembre 2023) pero carece de certificaciones internacionales. La dependencia externa del 70 % del material genético y la ausencia de acreditaciones OIE/ISO-17025 limitan la autosuficiencia estatal y el acceso a mercados internacionales.

Metas de certificación:

- **Acreditación ISO/IEC 17025:2017 (2027):** Certificación EMA garantizando competencia técnica internacional
- **Certificación OIE por SENASICA-CENAPA (2028):** Habilitación exportación material genético
- **Capacidad productiva:** 120,000 dosis semen/año + 5,000 embriones certificados
- **Trazabilidad SINIIGA:** Sistema integral desde nacimiento hasta distribución

Red de colaboración científica: Convenios con FMVZ-UADY (Dr. Juan Ku Vera, Dr. Javier Solorio), INIFAP Campo Experimental Mocochá (protocolos mejoramiento genético, pruebas progenie), APHIS-USDA (certificación TBC, protocolos sanitarios), y SENASICA-OIEA-FAO (integración planta mosca estéril, cooperación técnica internacional).

4.4. Componente 4: Desarrollo Lechero Tropical Sustentable

Inversión estratégica: \$89.5 millones de pesos (9.7 % del presupuesto total) destinados a la transformación de la lechería tropical mediante genética adaptada y sistemas silvopastoriles especializados.

Meta de incremento productivo: +40 % en la producción láctea estatal mediante mejoramiento genético especializado, sistemas silvopastoriles para lechería e infraestructura de ordeño tecnificado, elevando la productividad de 3.2 L/vaca/día a 8.5 L/vaca/día.

Estrategia integral de desarrollo lechero:

Genética tropical adaptada: 4,000 vaquillas F1 Holstein \times *Gyr/Sahiwal* con certificación de producción.

Módulos de ordeño tecnificado: 75 salas de ordeño con sistemas de enfriamiento y control de calidad.

Sistemas silvopastoriles lecheros: 1,500 hectáreas especializadas con gramíneas de corte y leguminosas forrajeras.

Capacitación especializada: Escuelas de campo para manejo lechero, calidad de la leche y comercialización.

Red de acopio y comercialización: Centros de enfriamiento regionales y contratos con procesadoras.

- **Beneficiarios directos:** 75 UPP lecheras especializadas
- **Genética F1 lechera:** 3,000 vaquillas especializadas (Holstein \times *Gyr/Brahman*)
- **Infraestructura:** 75 salas de ordeño tecnificadas + tanques de enfriamiento
- **Productividad objetivo:** 8-12 L/vaca/día (vs 4-6 L actual)

4.5. Componente 5: Planta de Producción de Mosca Estéril

Inversión estratégica: \$300.0 millones de pesos (32.5 % del presupuesto total) destinados a la construcción de la primera planta de mosca estéril del sureste mexicano para erradicación definitiva del gusano barrenador del ganado.

Objetivo estratégico: Erradicación definitiva del gusano barrenador del ganado (GBG) mediante la Técnica del Insecto Estéril con capacidad de producción de 250 millones de moscas estériles por semana, posicionando a Yucatán como zona libre certificada internacionalmente.

Infraestructura de vanguardia mundial:

- **Laboratorio de Cría Masiva (\$120.0 MDP):** Edificio climatizado de 2,500 m² con 12 módulos de producción automatizada, dieta artificial especializada y control bioclimático de precisión

- **Planta de Irradiación Cobalto-60 (\$90.0 MDP):** Fuente radiactiva de 37 PBq con sistema automatizado de transporte, blindaje de concreto de 2.1 metros según normas CNSNS
- **Flota Aérea Especializada (\$90.0 MDP):** 4 aeronaves Cessna 206/210 equipadas con sistemas GPS de precisión para liberaciones de 3,000 moscas/km² en cobertura de 50,000 km²
- **Certificación OIE-SENASICA:** Zona libre GBG con reconocimiento internacional para habilitación de exportaciones y acceso a mercados premium
- **Cooperación internacional:** Cofinanciamiento y asistencia técnica OIEA-FAO del 10 % (\$30 MDP) con transferencia de tecnología

4.5.1. Infraestructura Técnica Requerida

1. Laboratorio de Cría Masiva (Capacidad: 250 millones moscas/semana)

- **Instalaciones:** Edificio de 2,500 m² con áreas climatizadas (25±2°C, 60±10 % HR)
- **Salas de producción:** 12 módulos independientes con sistemas de ventilación HEPA
- **Dieta artificial:** Planta procesadora con capacidad 50 ton/semana (sangre bovina, caseína, agar)
- **Sistemas de monitoreo:** Control automatizado temperatura, humedad, calidad del aire
- **Personal especializado:** 25 técnicos (entomólogos, biólogos, técnicos de laboratorio)

2. Planta de Irradiación Gamma

- **Fuente radiactiva:** Cobalto-60 con actividad inicial 37 PBq (1,000 Ci)
- **Sistema automatizado:** Transportador con dosis controlada 60-90 Gy para machos
- **Blindaje:** Estructura de concreto con espesor 2.1 m según normas CNSNS
- **Control de calidad:** Dosimetría de rutina y verificación esterilidad $\geq 99\%$
- **Certificaciones:** Licencia CNSNS, cumplimiento protocolos OIEA

3. Flota Aérea Especializada

- **Aeronaves:** 4 aviones Cessna 206/210 equipados con sistemas dispersión
- **Sistema GPS:** Navegación de precisión con franjas de vuelo 200m de ancho
- **Contenedores refrigerados:** Mantenimiento viabilidad moscas 12-18°C durante vuelo

- **Cobertura operativa:** 50,000 km² (todo Yucatán + zonas limítrofes)
- **Frecuencia liberación:** 3-4 vuelos/semana con densidad 3,000 moscas/km²

4.6. Cronograma de Implementación 2026-2030

Cuadro 8: Cronograma Técnico Planta de Mosca Estéril

Actividad	2026	2027	2028	2029	2030
Diseño ejecutivo + ingeniería	●●●●				
Construcción laboratorio		●●●●	●●		
Instalación equipos irradiación			●●●●		
Pruebas piloto + validación			●●	●●	
Liberaciones masivas				●●	●●●●
Vigilancia epidemiológica	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●	●●●●

Hitos críticos:

- **T1-2026:** Aprobación proyecto ejecutivo + licencias CNSNS
- **T4-2027:** Finalización construcción e inicio equipamiento
- **T2-2028:** Primera producción piloto 50M moscas/semana
- **T4-2028:** Certificación SENASICA-APHIS capacidad plena
- **T1-2029:** Inicio liberaciones sistematicas zona norte
- **T4-2030:** Evaluación zona libre + certificación OIE

4.7. Presupuesto Detallado y Esquema Financiero

Cuadro 9: Inversión Componente 4 - Mosca Estéril (Millones MXN)

Rubro	Total 2026-30	Federal (70 %)	Estatad (20 %)	Internacional OIEA (10 %)
Laboratorio cría masiva	120.0	84.0	24.0	12.0
Planta irradiación Co-60	90.0	63.0	18.0	9.0
Flota aérea especializada	60.0	42.0	12.0	6.0
Operación 5 años	30.0	21.0	6.0	3.0
TOTAL	300.0	210.0	60.0	30.0

Fuentes de financiamiento:

- **Federal (SENASICA):** \$210 MDP via Programa Nacional contra GBG
- **Estatad (SEDER):** \$60 MDP contrapartida + terrenos
- **OIEA-FAO:** \$30 MDP cooperación técnica + capacitación

4.8. Beneficios Cuantificados y Retorno de Inversión

Beneficios económicos directos (2026-2035):

- **Ahorro por erradicación GBG:** \$2,000 MDP (\$200M/año × 10 años)
- **Incremento exportaciones:** \$1,500 MDP (apertura mercados USA/Canadá)
- **Mejora productividad:** \$800 MDP (15-20 % ganancia peso/fertilidad)
- **Certificación sanitaria:** \$300 MDP (premium internacional)

Análisis costo-beneficio:

- **Inversión total:** \$300 MDP (2026-2030)
- **Beneficios totales:** \$4,600 MDP (2026-2035)
- **Relación B/C:** 15.3:1
- **TIR:** 47 % anual
- **Período recuperación:** 2.1 años

Impacto sanitario consolidado: La erradicación definitiva del GBG mediante tecnología de mosca estéril posiciona a Yucatán como zona libre certificada internacionalmente, habilitando el acceso a mercados premium de exportación y consolidando el estatus sanitario requerido para la doble certificación con el protocolo TBC.

4.9. Componente 6: Certificación Sanitaria TBC + Seguimiento Digital

Inversión estratégica: \$51.5 millones de pesos (5.6 % del presupuesto total) destinados a certificación sanitaria binacional y plataforma digital de seguimiento.

Objetivo dual: Certificación binacional tuberculosis bovina (T-MEC) + plataforma digital para seguimiento de acuerdos sanitarios APHIS-USDA que consolide a Yucatán como el primer estado mexicano con doble certificación sanitaria.

Programas integrados:

- **Protocolo TBC (\$34.7 MDP):** Certificación de 1,075 UPP bajo estándares APHIS-USDA para cumplimiento T-MEC con pruebas tuberculina, control epidemiológico y certificación veterinaria oficial
- **Plataforma Digital CESO (\$16.8 MDP):** Sistema web ceso-aphis-yuc.web.app para seguimiento de recomendaciones críticas, trazabilidad individual y gestión de certificados sanitarios
- **Trazabilidad SINIIGA:** 100 % ganado identificado individualmente con certificación sanitaria, aretes oficiales y registro genealógico completo

- **Mercado objetivo:** Doble certificación (TBC libre + GBG libre) habilita exportación \$150M+ USD/año hacia mercados premium de Estados Unidos, Canadá y Unión Europea
- **Certificación OIE:** Estatus sanitario oficial reconocido internacionalmente para acceso a mercados globales de alta demanda

Cronograma de certificación:

- **2026:** Implementación protocolos TBC + desarrollo plataforma CESO
- **2027-2028:** Pruebas tuberculina masivas + certificación UPP por regiones
- **2029:** Auditorías APHIS-USDA + certificación estatal TBC libre
- **2030:** Doble certificación consolidada + habilitación exportaciones masivas

Impacto económico cuantificado: La doble certificación sanitaria genera un diferencial de precio del 15-25 % en mercados internacionales, incrementando el valor de la producción ganadera yucateca de \$2,400 millones a \$3,000 millones anuales al 2030.

5. Marco Conceptual y Justificación Científica

5.1. Fundamentos de los Sistemas Silvopastoriles Intensivos

Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) representan una evolución tecnológica de la ganadería tropical basada en la integración funcional de tres componentes: pastos mejorados, leguminosas arbóreas y árboles nativos, bajo un esquema de pastoreo racional adaptativo.

Base científica UADY-TNC-Fundación Produce Michoacán:

- **Productividad validada Michoacán:** Incremento 200-280 % producción carne y leche por hectárea
- **Densidades intensivas:** 40,000-80,000 plantas *Leucaena*/ha según objetivo productivo
- **Captura carbono máxima:** 128 ton CO₂eq/ha/año con densidades de 80,000 plantas/ha
- **Fijación nitrógeno:** 250-550 kg N/ha/año con inoculación *Rhizobium* específico
- **Reducción emisiones:** 25-50 % metano entérico por inclusión taninos *Leucaena* + mejor digestibilidad
- **Productividad forraje:** 2,470-2,693 kg MS/ha/pastoreo vs 948 kg sistemas tradicionales
- **Biodiversidad:** Corredores biológicos + refugio fauna nativa + control biológico plagas

5.2. Paquete Tecnológico Silvopastoril (\$12,100 MXN/hectárea)

Componente	Unidad	Costo Unit.	Costo/ha
Establecimiento de Pastos			
Semilla <i>Cynodon nlemfuensis</i>	3 kg	\$250/kg	\$750
Semilla <i>Brachiaria brizantha</i>	2 kg	\$280/kg	\$560
Preparación y siembra	4 jornales	\$180/jornal	\$720
Componente Arbóreo			
Plantas <i>Leucaena leucocephala</i>	150 plantas	\$8/planta	\$1,200
Plantas nativas (Brosimum, Inga)	50 plantas	\$15/planta	\$750
Plantación	6 jornales	\$180/jornal	\$1,080
Infraestructura de Pastoreo Racional			
Cercos eléctricos	1,500 m	\$45/m	\$6,750
Bebederos móviles	2 unidades	\$1,800/unidad	\$3,600
Sistema de agua	150 m tubería	\$35/m	\$5,250
Insumos Biológicos y Capacitación			
Biofertilizantes	1 ton	\$1,200/ton	\$1,200
Inoculantes microorganismos	5 dosis	\$60/dosis	\$300
Capacitación técnica ECA	1 productor	\$2,500	\$2,500
TOTAL POR HECTÁREA			\$12,100

Cuadro 10: Desglose Técnico-Económico del Paquete Silvopastoril

Principio rector de implementación: Infraestructura → Establecimiento → Maduración (6-9 meses) → Ganado. Invertir este orden resulta en fracaso operativo.

5.3. Metodología de Transferencia Tecnológica

Escuelas de Campo Adaptativas (ECAs):

- 5 ECAs regionales operando simultáneamente
- 25 productores por ECA (125 totales)
- 12 sesiones teórico-prácticas anuales
- Temas: manejo silvopastoril, reproducción, sanidad, mercadeo
- Seguimiento técnico mensual individual

5.4. Diagnóstico Basado en Datos Oficiales SIAP

Según análisis de inventarios SIAP 2014-2023:

- **Ganado total:** 605,536 cabezas (602,180 carne + 3,356 leche)
- **Productividad láctea:** 3.2 L/vaca/día vs potencial 8-12 L/día
- **Carga animal:** 0.8 UA/ha vs óptimo 2.5-3.0 UA/ha en SSPi
- **Dependencia genética:** > 70 % semen importado sin certificación local

5.5. Fundamentación Zootécnica

1. **Genética cuantitativa aplicada — DEPs (Diferencias Esperadas en la Progenie):** Herramienta estadística que predice el valor genético que un reproductor transmitirá a su descendencia, cuantificando en unidades medibles (kg, puntos) ventajas en crecimiento, producción láctea y resistencia a enfermedades. Permite selección basada en evidencia cuantitativa en lugar de evaluación visual subjetiva.
2. **Evaluación de heterosis en cruzamientos *Bos taurus* × *Bos indicus* :** El cruzamiento de razas.
3. **Eficiencia alimenticia con tecnología GrowSafe:** Cuantificación precisa de conversión alimenticia individual, permitiendo identificar y seleccionar reproductores con mayor eficiencia (kg producto/kg alimento consumido) independientemente de su tasa de crecimiento.
4. **Ganadería baja en carbono con sistema GreenFeed:** Medición individual de emisiones de metano entérico, permitiendo selección genética de animales con menores emisiones de gases de efecto invernadero sin comprometer productividad.

6. Componente 1: Sistemas Silvopastoriles Intensivos

6.1. Antecedentes y Diagnóstico de la Ganadería Extensiva Tradicional

La ganadería yucateca ha sido históricamente sinónimo de extensividad y baja productividad. Este modelo, heredado de décadas pasadas, ya no responde a las demandas actuales de sustentabilidad económica, social y ambiental.

El sistema tradicional se caracteriza por el uso de grandes extensiones de tierra con cargas animales mínimas. Ha generado problemas interconectados que comprometen:

- La viabilidad económica de los productores
- La salud de los ecosistemas locales

6.1.1. Caracterización Técnica del Sistema Ganadero Actual

Según la clasificación técnica de FIRA (2018), los sistemas ganaderos del trópico mexicano se categorizan según su nivel tecnológico y carga animal:

Sistema Ganadero	Carga Típica (UA/ha)
Pastoreo extensivo tradicional no supervisado	0.3 - 0.6
Pastoreo mejorado con rotación básica	0.8 - 1.2
Semi-intensivo con suplementación	1.5 - 2.0
Silvopastoril intensivo (SSPi) tecnificado	2.5 - 3.5

Cuadro 11: Clasificación de sistemas ganaderos tropicales - FIRA 2018

El análisis riguroso con datos oficiales SIAP 2023 y Padrón Ganadero Nacional 2025 revela que **la carga animal real en Yucatán es de 0.38-0.49 UA/ha** (ver Anexo: Verificación de Carga Animal), lo que confirma que **el sistema prevaleciente en el estado corresponde precisamente al nivel tecnológico más bajo: *pastoreo extensivo tradicional no supervisado*** dentro del rango 0.3-0.6 UA/ha reportado por FIRA.

6.1.2. Dinámica Degradativa del Pastoreo Extensivo Tradicional

El pastoreo extensivo tradicional en Yucatán es **selectivo no supervisado**. El ganado pastorea libremente sin rotación planificada ni manejo estratégico.

Este sistema genera un círculo vicioso de degradación progresiva del recurso edáfico y vegetal:

Mecanismos de degradación ambiental:

1. **Degradación del recurso forrajero:** El ganado selecciona preferentemente las especies más palatables, causando sobrepastoreo localizado de gramíneas de calidad mientras permite la proliferación de malezas y especies invasoras de bajo valor nutricional
2. **Compactación edáfica progresiva:** El pisoteo concentrado en áreas limitadas (rutas de paso, zonas de sombra, bebederos) sin periodos de descanso genera compactación del suelo, reduciendo la infiltración de agua y la aireación radicular
3. **Distribución desigual de nutrientes:** La concentración de excretas en zonas de descanso (sombra, agua) y su ausencia en áreas de pastoreo genera gradientes extremos de fertilidad, con zonas sobre-fertilizadas y zonas empobrecidas
4. **Pérdida de biodiversidad vegetal:** La eliminación progresiva de especies forrajeras de calidad por pastoreo selectivo constante reduce la diversidad del ecosistema y su resiliencia ante perturbaciones climáticas
5. **Erosión y pérdida de suelo fértil:** La exposición de suelo desnudo en áreas sobrepastoreadas, combinada con la compactación y pérdida de cobertura vegetal, acelera procesos erosivos especialmente durante el temporal de lluvias

Consecuencias productivas y económicas:

Esta dinámica degradativa se traduce en:

- **Baja calidad nutricional del forraje disponible:** Proliferación de pastos maduros, fibrosos y de bajo contenido proteico
- **Tasas de crecimiento animal lentas:** Ganancias de peso de 300-400 g/día vs potencial de 800-1,200 g/día en sistemas mejorados
- **Baja eficiencia reproductiva:** Intervalos entre partos de 18-24 meses vs óptimo de 12-14 meses
- **Mayor susceptibilidad a enfermedades:** Animales desnutridos con sistemas inmunes comprometidos
- **Rentabilidad marginal:** Ingresos insuficientes para invertir en mejoras tecnológicas, perpetuando el círculo de baja productividad

La densidad extremadamente baja de 0.38-0.49 UA/ha no solo limita dramáticamente la rentabilidad de las explotaciones, sino que también perpetúa un ciclo donde grandes extensiones de tierra son destinadas a la ganadería sin generar los beneficios económicos esperados ni mantener la salud de los ecosistemas, evidenciando una crisis dual: ambiental y económica.

6.1.3. El Potencial Transformador de los Sistemas Silvopastoriles Intensivos

Los **Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi)** ofrecen una alternativa transformadora al pastoreo extensivo tradicional.

Estos sistemas implementan **pastoreo racional voisin** (“**Rational Grazing**”) supervisado profesionalmente. Actúan como **herramienta regenerativa del suelo y del ecosistema** mediante procesos científicamente documentados (Teague et al., 2011).

Pastoreo Racional vs Pastoreo Rotacional Mecánico:

Es fundamental distinguir entre el **pastoreo rotacional mecánico** (simple secuencia temporal de potreros) y el **pastoreo racional adaptativo** que requiere los SSPi. El pastoreo racional no es simplemente mover el ganado cada X días, sino una **toma de decisiones continua y fundamentada** por parte del manejador del hato (el “pastor pensante”) basada en:

1. **Evaluación diaria de condiciones forrajeras:** Monitoreo de altura de pasto, densidad de cobertura, estado fenológico y calidad nutricional del forraje disponible en cada potrero
2. **Calificación de condición corporal del hato:** Evaluación sistemática (escala 1-5) para determinar si los animales requieren praderas de mayor calidad nutricional o suplementación estratégica
3. **Balance entre demanda animal y oferta forrajera:** Cálculo dinámico de carga instantánea considerando disponibilidad de materia seca, tasa de crecimiento del pasto y requerimientos nutricionales del hato

4. **Tiempo óptimo de ocupación y descanso:** Determinación basada en tasas de rebrote observadas (no calendarios fijos), permitiendo que cada potrero alcance el estado fisiológico óptimo antes del siguiente pastoreo
5. **Infraestructura y logística:** Verificación de acceso a agua limpia, condiciones de cercos, sombra disponible y rutas de tránsito que minimicen estrés animal
6. **Registro y análisis de datos:** Plan de manejo escrito que documenta altura de entrada/salida, días de ocupación/descanso, precipitación, y permite ajustes adaptativos basados en patrones observados

Este **manejo racional adaptativo** requiere capacitación especializada del productor y asistencia técnica continua.

Transforma el pastoreo en una **herramienta de precisión para la restauración ecológica**. Cada decisión de movimiento del hato se fundamenta en:

- Observación directa
- Mediciones objetivas
- Criterios técnicos

No depende de rutinas mecánicas predeterminadas.

Mecanismos regenerativos del pastoreo racional intensivo:

1. **Incorporación uniforme de materia orgánica:** La rotación planificada distribuye el estiércol y la orina de manera homogénea como fertilizante natural, reponiendo nutrientes y materia orgánica al suelo en todo el sistema
2. **Estimulación de actividad microbiana edáfica:** La incorporación constante de materia orgánica fresca estimula poblaciones microbianas que aceleran la descomposición y la disponibilidad de nutrientes para las plantas
3. **Mejora de estructura y función del suelo:** El pisoteo controlado (alta intensidad-corto periodo) seguido de descanso prolongado rompe la compactación superficial, mejora la aireación, aumenta la infiltración de agua y estimula la agregación de partículas
4. **Captura y secuestro de carbono atmosférico:** El pastoreo intenso estimula el crecimiento radicular profundo durante el periodo de descanso, transfiriendo carbono atmosférico (vía fotosíntesis) hacia horizontes profundos del suelo donde se estabiliza por décadas
5. **Incremento en retención hídrica:** La mayor infiltración, combinada con niveles elevados de materia orgánica edáfica, aumenta dramáticamente la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, confiriendo resiliencia ante sequías
6. **Mantenimiento de diversidad vegetal:** El pastoreo no selectivo (por alta carga instantánea) y los periodos de descanso permiten que todas las especies

forrajeras completen sus ciclos reproductivos, manteniendo la diversidad del ecosistema

Oportunidad de transformación cuantificable:

La transición del sistema prevaleciente (pastoreo extensivo tradicional degradativo: 0.4 UA/ha) hacia Sistemas Silvopastoriles Intensivos tecnificados regenerativos (2.5-3.5 UA/ha) representa una **oportunidad de mejora del 525-775 %** en la productividad por unidad de superficie, transformando simultáneamente al ganado de agente degradador en **herramienta de restauración ecológica activa**.

Esta transformación no solo incrementa la viabilidad económica de las unidades productivas, sino que simultáneamente genera servicios ecosistémicos cuantificables: captura de carbono, conservación de biodiversidad, retención hídrica y mejoramiento de la fertilidad edáfica a largo plazo.

6.2. La Revolución Silvopastoril: Una Respuesta Integral

Los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) representan una revolución paradigmática en la concepción de la ganadería tropical. Esta tecnología, validada científicamente en países como Colombia, Brasil y Costa Rica, propone una transformación radical del paisaje ganadero mediante la integración inteligente de árboles, pastos y animales en un ecosistema productivo altamente eficiente.

La propuesta para Yucatán va más allá de una simple adopción tecnológica; representa una oportunidad histórica de posicionar al estado como líder nacional en ganadería sustentable, generando beneficios económicos, sociales y ambientales que trascienden el sector pecuario.

6.3. Objetivos de Transformación Territorial

El componente silvopastoril establece metas **conservadoras y realistas**. Se fundamentan en la evidencia empírica de 20 años de masificación SSPi en Chiapas.

Objetivo principal: Transformar 6,000 hectáreas de tierras ganaderas tradicionales en ecosistemas productivos de alta eficiencia:

- **Conversión territorial focalizada:** Transformar 6,000 hectáreas (120 UPP, 50 ha promedio) mediante el establecimiento de SSPi con *Leucaena leucocephala* asociada a gramíneas mejoradas, creando un mosaico productivo que combina productividad animal con servicios ecosistémicos. Meta: 1,200 ha/año = 11 % más ambiciosa que promedio Chiapas (1,078 ha/año en 20 años)
- **Repoblamiento genético estratégico:** Introducir 12,000 vaquillas F1 seleccionadas (2 UA/ha × 6,000 ha) para garantizar el aprovechamiento óptimo de los sistemas mejorados y acelerar el proceso de mejoramiento genético del hato estatal
- **Intensificación productiva sustentable:** Incrementar la carga animal de 0.4 a 2.5 UA/ha (+525 %), sextuplicando la eficiencia de uso de la tierra mientras se

mejoran los indicadores ambientales del sistema

- **Mitigación climática cuantificable:** Capturar 90,000 toneladas de CO₂ equivalente (15 ton CO₂eq/ha), posicionando a la ganadería yucateca como un sector carbono-negativo que contribuye activamente a la mitigación del cambio climático

Justificación meta conservadora: Experiencia Chiapas demuestra que proyectos más exitosos (Scolel Té: 317 ha/año, IKI-MICC: 1,250 ha/año) requirieron asistencia técnica intensiva (1 técnico/25-30 productores), subsidio $\geq 60\%$, y continuidad institucional 8-10+ años. Meta Yucatán permite aprendizaje institucional progresivo y construcción de confianza para fases futuras.

6.4. Lecciones de Masificación SSPi: El Largo y Sinuoso Camino

La evidencia acumulada de dos décadas de proyectos SSPi en América Latina revela que **la adopción tecnológica no es un evento sino un proceso** que requiere condiciones institucionales específicas para alcanzar escala significativa:

Factores críticos identificados en experiencias documentadas:

1. **Continuidad institucional mínima 10 años:** Los casos exitosos (Scolel Té Chiapas, IKI-MICC) mantuvieron estructura operativa estable durante 8-15 años. Proyectos con discontinuidad < 5 años fracasaron independientemente de calidad técnica.
2. **Asistencia técnica intensiva permanente:** Ratio 1 técnico:25-30 productores con visitas quincenales durante establecimiento (años 1-3) y mensuales en fase de consolidación (años 4-10). Capacitaciones esporádicas sin acompañamiento fracasan sistemáticamente.
3. **Subsidio estratégico inicial $\geq 60\%$:** Experiencias Chiapas demuestran que subsidio $< 50\%$ genera tasas de adopción $< 20\%$. Subsidio 60-70% (inversión inicial años 1-2) reduce barrera económica crítica mientras productor valida rentabilidad en su propio predio.
4. **Rentabilidad demostrable 3-5 años:** Productores requieren evidencia tangible de retorno económico. Período crítico: años 2-4 cuando costos de establecimiento ya fueron erogados pero árboles aún no alcanzan producción óptima. Abandono masivo ocurre si apoyos terminan en este período.
5. **Superación de paternalismo institucional:** La barrera cultural más difícil no es técnica sino la dependencia histórica de subsidios sin corresponsabilidad. Productores exitosos son aquellos que internalizan el SSPi como **inversión propia rentable**, no como “programa de gobierno que pasará”.

Implicaciones para diseño Yucatán 2026-2030:

El proyecto incorpora explícitamente estas lecciones mediante:

- Compromiso gubernamental sexenal (2025-2030) con proyección 10 años
- Subsidio 60 % federal + 30 % estatal = 90 % inversión inicial (co-inversión productor 10 %)
- Estrategia de Escuelas de Campo (no capacitación tradicional) para transformación de mentalidad
- Monitoreo científico continuo para demostrar rentabilidad con datos duros
- Red de UPP demostrativas permanentes por región agroecológica

6.5. Estrategia de Adopción: Escuelas de Campo Silvopastoriles

Metodología probada: 5 Escuelas de Campo Adaptativas (Colombia-Jalisco) con 125 productores directos, ratio técnico 1:25 y curriculum modular de 10 sesiones distribuidas en 24 meses.

Componentes clave:

- **Transferencia tecnológica:** Metodología “campesino a campesino” con unidades demostrativas regionales
- **Biofábricas prediales:** Producción de bioinsumos con reducción 75-90 % costos vs. agroquímicos
- **Pastoreo racional:** Principios Voisin adaptados a condiciones tropicales
- **Gestión empresarial:** Herramientas financieras y comercialización asociativa

Detalle metodológico completo en Anexo Técnico A.1

Especies forrajeras validadas: Leucaena leucocephala (40,000-53,000 plantas/ha) + 11 especies nativas UADY-RITER con potencial forrajero: Ja'abin, Ramón, Pixoy, K'atsin y Chakaj.

Listado completo y especificaciones técnicas en Anexo Técnico A.2

6.6. Biofábricas Prediales: Producción de Bioinsumos con Microorganismos Benéficos

El componente SSPi integra un enfoque de **bioeconomía circular** mediante la instalación de biofábricas prediales en cada UPP participante, transformando residuos orgánicos del sistema ganadero en bioinsumos de alto valor nutricional y fitosanitario. Esta estrategia reduce dependencia de agroquímicos externos mientras cierra ciclos de nutrientes a nivel predial.

Fundamento agroecológico:

Los microorganismos benéficos nativos de ecosistemas forestales conservados (“microorganismos de montaña”) poseen capacidades documentadas de:

- **Solubilización de fósforo:** Cepas de *Bacillus*, *Pseudomonas* y hongos micorrízicos liberan fósforo inmovilizado en suelos calcáreos (característicos de Yucatán), incrementando disponibilidad para plantas sin fertilización química
- **Fijación biológica de nitrógeno:** Bacterias diazotróficas asociativas (*Azospirillum*, *Azotobacter*) capturan N_2 atmosférico, reduciendo requerimientos de urea/nitrato sintético
- **Promoción de crecimiento vegetal:** Producción de fitohormonas (auxinas, giberelinas, citoquininas) que estimulan desarrollo radicular y vigor de especies forrajeras
- **Biocontrol de fitopatógenos:** Antagonismo microbiano contra hongos y bacterias perjudiciales mediante competencia por nutrientes, antibiosis y parasitismo
- **Aceleración de compostaje:** Consorcios microbianos termofílicos que degradan celulosa/lignina, transformando estiércol y residuos vegetales en humus estable en 60-90 días (vs. 6-12 meses compostaje pasivo)

Indicadores de éxito esperados:

Basado en experiencias documentadas, se proyecta:

- Tasa de adopción post-ECA: 65-75 % (vs. 20-30 % capacitación tradicional)
- Tiempo decisión-implementación: 6-12 meses (vs. 18-36 meses sin ECA)
- Continuidad institucional garantizada: compromiso gubernamental 10 años (factor crítico identificado)
- Rentabilidad SSPi: retorno inversión 3-5 años (Ávila-Foucalt, 2014)

6.7. Modelo Zootécnico Validado Científicamente

El modelo se fundamenta en resultados cuantificados de la experiencia RITER-UADY-TNC (Rancho Hobonil, Tzucacab) y evidencia científica internacional de SSPi tropicales.

Parámetros productivos validados en Yucatán:

- **Ganancia de peso:** 308-396 g/animal/día en SSPi con Guinea/Bufel (Tizimín, condiciones locales validadas)
- **Producción láctea SSPi-Leucaena:** 12 kg/vaca/día (Shelton, 1998, sistemas tropicales)
- **Producción carne:** 63 kg/ha/120 días en sistemas rotacionales intensivos
- **Carga animal óptima:** 1.0-2.5 UA/ha (evidencia local demuestra que incrementos excesivos reducen productividad individual)

Parámetros reproductivos (conservadores, validados en condiciones tropicales):

- **Supervivencia animal:** 90 % (estándar mundial 95 %)
- **Tasa de preñez:** 80 % (promedio nacional 65 %, óptimo internacional 90 %)
- **Edad al primer parto:** 30 meses (estándar mundial 24 meses, ajustado a razas tropicales)
- **Intervalo entre partos:** 14 meses (óptimo internacional 12 meses)

6.8. Presupuesto Componente 1

Inversión total: \$132.6 MDP (2026-2030)

Concepto	Total (MDP)	Federal 60 %	Estatat 30 %	Productores 10 %
Vaquillas F1 certificadas (12,000 cabezas)	180.0	108.0	54.0	18.0
Establecimiento SSPi (6,000 hectáreas)	72.0	43.2	21.6	7.2
Infraestructura básica (120 UPP)	21.6	13.0	6.5	2.2
Asistencia técnica especializada (40 técnicos × 5 años)	7.0	4.2	2.1	0.7
Escuelas de Campo SSPi (5 ECAs × 125 productores)	2.0	1.2	0.6	0.2
Biofábricas prediales (120 UPP × \$15k c/u)	1.8	1.1	0.5	0.2
Monitoreo científico y evaluación	0.2	0.1	0.05	0.05
TOTAL COMPONENTE 1	132.6	79.6	39.8	13.3

Cuadro 12: Meta realista: 6,000 ha = 1,200 ha/año (equivalente IKI-MICC Chiapas). Incluye: (1) Escuelas de Campo validadas Colombia/Jalisco (adopción 65-75 % vs. 20-30 % tradicional), (2) Biofábricas prediales con microorganismos benéficos (reducción 75-90 % costos agroquímicos según experiencia Michoacán-Cuba)

7. Componente 2: Repoblamiento Ganadero Estratégico

7.1. Antecedentes y Diagnóstico de la Crisis Poblacional Ganadera

La ganadería yucateca enfrenta una contracción poblacional sin precedentes documentada por múltiples fuentes oficiales. Los datos preliminares del barrido sanitario de

tuberculosis bovina, registros SINIDA y análisis CNOG-SINIIGA revelan una disminución crítica del inventario ganadero estatal que amenaza la viabilidad del sector.

7.1.1. Evidencia Oficial de la Contracción del Hato

Según datos oficiales SIAP 2023 y validación mediante el Padrón Ganadero Nacional 2025:

- **Inventario oficial SIAP:** 605,536 cabezas bovinas totales (99.4 % carne, 0.6 % leche)
- **Declive documentado:** Barrido sanitario TBC confirma reducción significativa vs. registros históricos
- **Análisis CNOG-SINIIGA:** Datos de movilización e identificación individual evidencian contracción del hato
- **Densidad poblacional crítica:** 0.38-0.49 UA/ha, nivel más bajo de productividad según FIRA

7.2. Estrategia de Introducción de Vaquillas F1 Certificadas

Meta de incremento del hato: 12,000 vaquillas F1 certificadas mediante 7 entregas escalonadas sincronizadas con disponibilidad de hectáreas maduras de sistemas silvo-pastoriles.

Inversión total Componente 2: \$150.1 millones de pesos (19.7 % del presupuesto total)

8. Componente 3: Centro de Mejoramiento Genético de Tizimín

8.1. Antecedentes y Diagnóstico de la Dependencia Genética

La ganadería yucateca presenta una dependencia crítica del material genético externo, con ¿70 % del semen bovino utilizado proveniente de importaciones sin certificación local. Esta situación compromete la autosuficiencia sectorial y limita el acceso a mercados internacionales que exigen trazabilidad genética completa.

8.1.1. Infraestructura Existente y Oportunidad de Optimización

Base instalada aprovechable:

- **Inversión previa:** \$44 millones invertidos (inauguración noviembre 2023)
- **Infraestructura básica:** Edificios, corrales, laboratorio inicial funcional

- **Ubicación estratégica:** Tizimín como epicentro ganadero (35.2 % concentración estatal)
- **Carencia crítica:** Falta certificación OIE/ISO-17025 para operación comercial

8.1.2. Problemática de la Dependencia Genética Externa

Limitaciones del sistema actual:

1. **Dependencia importaciones:** ¿70 % material genético sin adaptación local validada
2. **Ausencia certificaciones:** Sin acreditación ISO/IEC 17025:2017 ni certificación OIE
3. **Trazabilidad limitada:** Sin integración SINIIGA para seguimiento genealógico
4. **Capacidad subutilizada:** Infraestructura operando ¿30 % potencial productivo

8.1.3. El Potencial Transformador de la Refundación

La refundación del Centro mediante certificación internacional lo posicionará como:

- **Hub genético regional:** Primer centro OIE/ISO certificado del sureste
- **Autosuficiencia sectorial:** Producción 120,000 dosis + 5,000 embriones anuales
- **Plataforma exportadora:** Acceso mercados centroamericanos vía certificación
- **Centro investigación aplicada:** Convenios UADY-INIFAP-Embrapa

8.2. Estrategia Integral de Refundación y Certificación

Visión 2030: Transformar el Centro de Tizimín en el primer laboratorio de genética bovina del sureste mexicano con certificación OIE/ISO-17025, capacidad de 120,000 dosis anuales y trazabilidad SINIIGA completa.

8.3. Objetivos de Certificación Internacional

El componente establece metas técnicas específicas para certificación dual:

- **Certificación ISO/IEC 17025:2017 (2027):** Acreditación EMA garantizando competencia técnica internacional
- **Certificación OIE-SENASICA (2028):** Habilitación para exportación material genético
- **Capacidad productiva:** 120,000 dosis semen/año + 5,000 embriones certificados
- **Integración SINIIGA:** Trazabilidad desde nacimiento hasta distribución

8.4. Fundamentos Técnicos de la Modernización

Equipamiento de vanguardia requerido:

- **Laboratorio andrología:** Microscopía óptica/electrónica para evaluación espermática
- **Sistema criopreservación:** Tanques nitrógeno líquido con control automatizado
- **Transferencia embriones:** Equipos micromanipulación y cultivo in vitro
- **Análisis genómico:** Tecnología SNPs para evaluación características productivas

8.5. Red de Colaboración Científica

Convenios estratégicos para investigación aplicada:

- **FMVZ-UADY:** Dr. Juan Ku Vera, Dr. Javier Solorio (adaptación tropical)
- **INIFAP Mocochoá:** Protocolos mejoramiento genético y pruebas progenie
- **APHIS-USDA:** Certificación TBC y protocolos sanitarios binacionales
- **SENASICA-OIEA-FAO:** Cooperación técnica internacional y capacitación

8.6. Cronograma de Certificación y Producción

Fases de implementación técnica:

- **2026:** Remodelación instalaciones + adquisición equipamiento especializado
- **2027:** Capacitación personal + auditorías pre-certificación ISO-17025
- **2028:** Certificación OIE completa + producción 80,000 dosis/año
- **2029-2030:** Capacidad plena 120,000 dosis + inicio exportaciones regionales

8.7. Presupuesto Componente 3

Inversión total: \$150.0 millones de pesos (16.3% del presupuesto total)

9. Componente 4: Desarrollo Lechero Tropical

9.1. Antecedentes y Problemática del Sector Lechero Yucateco

La ganadería lechera en Yucatán enfrenta desafíos históricos que han limitado su desarrollo y competitividad. Durante décadas, el sector ha operado bajo condiciones adversas que incluyen altas temperaturas tropicales, limitaciones genéticas del ganado local

y prácticas tradicionales de manejo que no aprovechan el potencial productivo real de la región.

El diagnóstico actual revela una realidad preocupante pero llena de oportunidades. De las aproximadamente 605,536 cabezas de ganado bovino registradas en el estado según datos SIAP 2014-2023, apenas 3,356 se dedican específicamente a la producción lechera, lo que representa menos del 1 % del inventario total. Esta cifra contrasta dramáticamente con el potencial que posee Yucatán para convertirse en un referente nacional en ganadería lechera tropical.

La productividad promedio actual de 3.2 litros por vaca por día refleja no solo las limitaciones ambientales, sino también la falta de tecnificación y mejoramiento genético apropiado para las condiciones tropicales. Las razas criollas predominantes, aunque bien adaptadas al clima, carecen del potencial genético necesario para una producción láctea competitiva. Además, las 89 Unidades de Producción Pecuaria (UPP) lecheras actuales operan con infraestructura básica y sistemas de manejo tradicionales que no optimizan el bienestar animal ni la eficiencia productiva.

Esta situación genera un círculo de baja productividad donde los productores enfrentan ingresos limitados, lo que a su vez restringe sus posibilidades de inversión en mejoras tecnológicas y genéticas. El resultado es una dependencia creciente de productos lácteos importados y la pérdida de oportunidades económicas en un sector con enorme potencial de crecimiento.

9.2. Estrategia Integral de Transformación Lechera

Ante esta problemática, el componente de Desarrollo Lechero Tropical propone una transformación integral que aborda cada uno de los desafíos identificados mediante un enfoque holístico y científicamente fundamentado. La estrategia se centra en aprovechar las ventajas climáticas de Yucatán mientras se superan las limitaciones tradicionales del sector.

9.3. Objetivos Cuantificables y Metas de Impacto

El componente establece metas conservadoras-realistas fundamentadas en la experiencia de masificación tecnológica documentada en el sector SSPi:

- **Intervención gradual sostenible:** Incorporar 75 UPP lecheras tecnificadas en 5 años (15 UPP/año), representando 84 % del inventario actual (89 UPP existentes según SIAP) - cobertura significativa sin sobresaturar capacidad de asistencia técnica
- **Incremento productivo validado:** Elevar la producción de 3.2 a 8.5 litros por vaca por día (+165 %), meta alcanzable con genética F1 tropical + pastoreo en praderas mejoradas + suplementación estratégica + manejo reproductivo IATF
- **Mejoramiento genético gradual:** Introducir 750 vaquillas F1 Suizo Pardo x

Gyr (“Gyrolando”) certificadas (10 vaquillas/UPP), permitiendo reemplazo estratégico 30-40 % del hato existente sin disrupciones operativas

- **Modernización predial focalizada:** Establecer 1,125 hectáreas de praderas mejoradas con pasto Mulato II (15 ha/UPP promedio) bajo pastoreo rotacional supervisado, coherente con lechería semi-intensiva tropical basada en forrajes de alta calidad

Justificación escala moderada: Ratio 1 técnico especializado:15 productores permite acompañamiento intensivo validado en proyectos lecheros exitosos. Meta 75 UPP evita replicar errores de masificación acelerada documentados en SSPi (“largo y sinuoso camino”).

9.4. Fundamentos Técnicos y Científicos

Estrategia de transformación lechera: Tres pilares tecnológicos integrados para incremento sostenible 40 % producción láctea:

- **Genética tropical F1:** Cruza Suizo Pardo x Gyr (Gyrolando) con 15 % incremento productivo y adaptación climática superior
- **Nutrición especializada:** Praderas Mulato II (12-14 % proteína) + suplementación estratégica 2-3 kg/vaca/día
- **Reproducción eficiente:** IATF protocolo J-Synch para 85 % tasa de preñez (vs. 65 % promedio nacional)

Especificaciones zootécnicas detalladas en Anexo Técnico B.1

9.5. Presupuesto Componente 4

Inversión total: \$89.5 MDP (2026-2030)

Concepto	Total (MDP)	Federal 60 %	Estatat 30 %	Productores 10 %
Genética F1 certificada (750 vaquillas Gyrolando)	11.3	6.8	3.4	1.1
Infraestructura lechera especializada (75 UPP)	9.0	5.4	2.7	0.9
Praderas mejoradas (1,125 ha Mulato II)	4.5	2.7	1.35	0.45
Capacitación técnica especializada	2.0	1.2	0.6	0.2
Asistencia técnica (5 técnicos × 5 años)	1.5	0.9	0.45	0.15
Seguimiento y evaluación continua	0.2	0.12	0.06	0.02
TOTAL COMPONENTE 4	89.5	53.7	26.9	8.9

Cuadro 13: Presupuesto conservador: 75 UPP (15/año) = ratio 1:15 técnico:productor validado en lechería tropical. Genética: \$15k/vaquilla F1 certificada. Praderas: \$4k/ha establecimiento Mulato II. Infraestructura: \$120k/UPP promedio (tanques enfriamiento, comederos, bebederos).

10. Componente 5: Planta de Producción de Mosca Estéril

10.1. Antecedentes y Problemática del Gusano Barrenador

El gusano barrenador del ganado (GBG) representa la principal amenaza sanitaria para la ganadería yucateca, generando pérdidas económicas estimadas en \$200 millones anuales y limitando el acceso a mercados internacionales que exigen certificación de zona libre.

10.1.1. Impacto Económico y Sanitario del GBG

Dimensión de la problemática:

- **Pérdidas directas:** \$200 millones MXN/año por mortalidad y morbilidad
- **Limitación comercial:** Imposibilidad exportación a mercados premium (Asia, UE)
- **Sobrecostos productivos:** Tratamientos curativos vs. prevención sistémica
- **Barrera T-MEC:** Certificación zona libre requisito para acceso EE.UU./Canadá

10.1.2. La Técnica del Insecto Estéril: Fundamento Científico

Mecanismo de erradicación validado:

1. **Cría masiva controlada:** 250 millones moscas/semana en laboratorio especializado
2. **Esterilización radiación gamma:** Cobalto-60 con dosis 60-90 Gy para machos
3. **Liberaciones aéreas sistemáticas:** Ratio 100:1 (estériles:silvestres) para erradicación
4. **Supresión poblacional:** Reducción progresiva hasta erradicación completa

10.1.3. Precedentes Exitosos y Validación Técnica

Evidencia internacional de eficacia:

- **Estados Unidos:** Erradicación completa 1966-1982 (sureste americano)
- **México-SENASICA:** Programa binacional exitoso zona norte
- **Eficacia documentada:** 95-98 % éxito en programas SENASICA-APHIS
- **Cooperación OIEA-FAO:** Asistencia técnica internacional garantizada

10.2. Estrategia Integral de Erradicación GBG

Objetivo estratégico: Erradicación definitiva del gusano barrenador del ganado (GBG) en Yucatán mediante la implementación de la Técnica del Insecto Estéril (TIE), estableciendo una planta con capacidad de producción de 250 millones de moscas estériles por semana para liberaciones sistemáticas en 50,000 km² del territorio estatal.

Inversión total: \$300.0 millones de pesos distribuidos en infraestructura especializada, equipamiento de alta tecnología y operación quinquenal, posicionando a Yucatán como el primer estado del sureste mexicano con capacidad autónoma de control biológico de plagas ganaderas.

Impacto sanitario y económico: La erradicación del GBG eliminará pérdidas económicas actuales estimadas en \$200 millones anuales, habilitará la certificación OIE de zona libre que permite acceso a mercados asiáticos premium, y complementará la certificación TBC para lograr el estatus de doble certificación sanitaria que incrementa 15-20 % el valor de exportación del ganado yucateco.

Infraestructura técnica especializada:

- **Laboratorio de Cría Masiva:** Edificio climatizado de 2,500 m² con 12 módulos de producción independientes, sistemas HEPA y planta procesadora de dieta artificial con capacidad 50 ton/semana
- **Planta de Irradiación Co-60:** Fuente radiactiva de 37 PBq con sistema automatizado y blindaje de concreto de 2.1 metros para esterilización de machos
- **Flota Aérea Especializada:** 4 aeronaves Cessna equipadas con sistemas GPS de precisión para liberaciones sistemáticas de 3,000 moscas/km²

- **Centro de Vigilancia Epidemiológica:** Red de 500 trampas distribuidas estratégicamente para monitoreo continuo y evaluación de eficacia

Cronograma de implementación: Diseño ejecutivo e ingeniería (2026), construcción y equipamiento (2027-2028), pruebas piloto y validación (2028-2029), liberaciones masivas y vigilancia (2029-2030), culminando con evaluación de zona libre y certificación OIE (2030).

Fundamento científico: La Técnica del Insecto Estéril ha demostrado eficacia del 95-98 % en programas similares de SENASICA-APHIS en México y Estados Unidos. La capacidad de 250 millones de moscas/semana permite mantener una relación de 100:1 (estériles:silvestres) recomendada por la FAO para erradicación definitiva.

11. Componente 6: Certificación Sanitaria TBC + Seguimiento Digital

11.1. Antecedentes y Problemática de la Certificación Sanitaria

La certificación sanitaria binacional representa el cuello de botella crítico para el acceso de la ganadería yucateca a mercados internacionales premium. Sin certificación TBC libre bajo protocolos APHIS-USDA, el sector permanece limitado al mercado doméstico con precios 15-20 % menores al potencial exportador.

11.1.1. Marco Regulatorio T-MEC y Exigencias Binacionales

Requisitos para acceso mercado norteamericano:

- **Certificación TBC libre:** Protocolo APHIS-USDA obligatorio para exportación
- **Trazabilidad individual:** 100 % ganado identificado SINIIGA con historial sanitario
- **Auditorías binacionales:** Inspecciones APHIS en UPP, rastros TIF y centros acopio
- **Seguimiento digital:** Plataforma tiempo real para verificación cumplimiento

11.1.2. Problemática de la Coordinación Interinstitucional

Desafíos operativos identificados:

1. **Fragmentación institucional:** SENASICA, SADER, SEDER, UGRY sin coordinación sistemática
2. **Seguimiento manual:** Acuerdos técnicos sin plataforma digital de monitoreo
3. **Falta indicadores:** Sin métricas cuantificables de avance hacia certificación

4. **Comunicación asíncrona:** Retraso información entre niveles federal-estatal-productor

11.1.3. La Oportunidad de la Doble Certificación

La combinación TBC libre + GBG libre posiciona a Yucatán como:

- **Único estado doble certificado:** Ventaja competitiva nacional excepcional
- **Acceso mercados premium:** EE.UU., Canadá, Asia con diferencial 15-25 % precio
- **Plataforma exportadora:** Hub ganadero del sureste para mercados internacionales
- **Modelo replicable:** Transferencia tecnología a otros estados mexicanos

11.2. Estrategia Integral de Certificación Digital

Visión 2030: Establecer a Yucatán como el primer estado mexicano con doble certificación sanitaria (TBC libre + GBG libre) mediante plataforma digital que integra seguimiento APHIS-USDA con trazabilidad SINIIGA completa.

11.3. Objetivos de Certificación y Seguimiento

Meta: Plataforma digital integral para seguimiento de acuerdos de grupos colegiados sobre certificación zoosanitaria y cumplimiento T-MEC

El componente establece metas específicas para certificación binacional:

- **Protocolo TBC (\$34.7 MDP):** Certificación 1,075 UPP bajo estándares APHIS-USDA
- **Plataforma Digital CESO (\$16.8 MDP):** Sistema web para seguimiento grupos colegiados
- **Trazabilidad SINIIGA:** 100 % ganado identificado individualmente
- **Mercado objetivo:** Exportaciones \$150M+ USD/año hacia mercados premium

11.4. Fundamentos Técnicos de la Plataforma CESO

Sistema especializado para coordinación institucional:

11.4.1. Grupo CESO (Consejo Estatal Seguimiento Operativo)

Seguimiento políticas SINIIGA-SINIDA:

- Acuerdos identificación individual ganado
- Protocolos movilización y trazabilidad

- Coordinación interinstitucional CNOG-SADER-SEDER
- Operación sistemas técnicos especializados

11.4.2. Grupo APHIS-USDA/SENASICA

Seguimiento recomendaciones críticas TBC:

- Atención recomendaciones certificación TB
- Avances proceso certificación binacional
- Gestión evidencias cumplimiento
- Coordinación grupos técnicos binacionales

11.5. Arquitectura Tecnológica de la Plataforma

Especificaciones técnicas sistema web:

- **URL:** <https://ceso-aphis-yuc.web.app>
- **Tecnología:** Firebase + React + Diseño responsivo GOB.mx
- **Capacidades:** 500+ acuerdos anuales, 50+ usuarios institucionales
- **Seguridad:** Roles granulares, respaldo automático, cifrado extremo-extremo

11.6. Red de Usuarios Institucionales

Estructura multinivel de acceso:

- **SADER Yucatán:** Jefe Programa como coordinador técnico
- **SENASICA:** Seguimiento campañas sanitarias federales
- **SEDER Yucatán:** Coordinación programas estatales
- **Comités técnicos:** Grupos especializados por tema
- **UGRY:** Uniones ganaderas regionales como ejecutores

11.7. Protocolo de Certificación TBC Binacional

Cronograma certificación 2026-2030:

- **2026:** Implementación protocolos TBC + desarrollo plataforma CESO
- **2027-2028:** Pruebas tuberculina masivas + certificación UPP regional
- **2029:** Auditorías APHIS-USDA + certificación estatal TBC libre
- **2030:** Doble certificación (TBC+GBG) + habilitación exportaciones masivas

11.8. Presupuesto Componente 6

Inversión: \$51.5 MDP (100 % federal - SENASICA)

Descripción técnica: Sistema especializado para seguimiento de acuerdos de dos grupos colegiados críticos para la coordinación de la certificación sanitaria del estado:

1. CESO (Consejo Estatal de Seguimiento Operativo SINIIGA-SINIDA):

- Seguimiento de acuerdos sobre políticas de identificación individual de ganado
- Monitoreo de cumplimiento de acuerdos sobre procesos de movilización y trazabilidad
- Seguimiento de acuerdos relacionados con protocolos de coordinación interinstitucional
- Coordinación de acuerdos con instancias responsables de operación de sistemas

2. APHIS-USDA/SENASICA (Grupo de Trabajo de Seguimiento a Recomendaciones Críticas):

- Seguimiento de acuerdos sobre atención a recomendaciones críticas para certificación TB
- Monitoreo de acuerdos relacionados con avances en proceso de certificación
- Gestión de evidencias de cumplimiento de acuerdos sobre recomendaciones
- Coordinación de acuerdos entre grupos técnicos binacionales

Plataforma técnica:

- **URL:** <https://ceso-aphis-yuc.web.app>
- **Tecnología:** Firebase + React + Diseño responsivo GOB.mx
- **Capacidades:** Gestión de 500+ acuerdos anuales, 50+ usuarios institucionales
- **Seguridad:** Roles granulares (Federal, Estatal, Comité, UGRY), respaldo automático
- **Funcionalidades:** Dashboard tiempo real, gestión evidencias, reportes especializados

Usuarios del sistema:

- SADER Yucatán (Jefe de Programa como coordinador técnico)
- SENASICA (seguimiento campañas sanitarias)
- SEDER Yucatán (coordinación estatal)
- Comités técnicos especializados
- Uniones Ganaderas Regionales (UGRY)

Impacto esperado: Reducción de 60 % en tiempos de seguimiento de acuerdos, mejora de 40 % en cumplimiento de recomendaciones críticas, coordinación eficiente del proceso de seguimiento de certificación T-MEC

ACLARACIÓN IMPORTANTE: Esta plataforma es exclusivamente para seguimiento de acuerdos de grupos colegiados. Los sistemas operativos de identificación individual (SINIIGA), identificación animal (SINIDA) y movilización (REEMO) son responsabilidad directa de CNOG-SINIIGA y otras instancias especializadas con sus propios sistemas técnicos especializados.

12. Cronograma GANTT Integrado 2026-2030

12.1. Diagrama de Flujo Temporal por Componentes

Cuadro 14: Cronograma Visual Integrado 2026-2030

Componente/Año	2026	2027	2028	2029	2030
Desarrollo Lechero	Selección UPP	Construcción	Producción	Optimización	Meta 8.5L/día
Silvopastoriles SSPi	Diagnóstico	Establecimiento	Consolidación	Evaluación	6,000 ha
Centro Genético	Remodelación	Certificación	Producción	Expansión	120K dosis/año

Hitos Críticos:

- **Jul 2027:** Inicio operaciones lecheras
- **Dic 2027:** Certificación ISO-17025
- **Jun 2028:** Primera generación SSPi
- **Dic 2028:** Certificación OIE completa
- **Dic 2029:** Meta producción láctea
- **Dic 2030:** Evaluación final integrada

13. Cronograma Detallado por Trimestres

13.1. 2026 - Año de Fundamentación

T1 2026 (Ene-Mar):

- Diagnóstico técnico Centro Tizimín (aprovechando inversión 2023)
- Selección y registro 75 UPP lecheras + 120 UPP SSPi potenciales

- Licitación internacional equipamiento laboratorio
- **Licitación materiales infraestructura ganadera SSPi**

T2 2026 (Abr-Jun):

- Convenios adquisición genética F1 (vaquillas + semen)
- Convenios FMVZ-UADY + Embrapa Brasil + CIPAV Colombia
- Remodelación Centro Tizimín para certificación
- **Inicio Escuelas de Campo SSPi (5 ECAs, 125 productores)**

T3 2026 (Jul-Sep):

- Construcción infraestructura lechera (salas ordeño)
- Diagnóstico completo 6,000 ha para SSPi (120 UPP)
- **Inicio construcción infraestructura ganadera SSPi:** corrales, bebederos, cercos divisorios (30 UPP piloto)
- Instalación equipamiento laboratorio avanzado

T4 2026 (Oct-Dic):

- **Establecimiento primeras 1,200 ha Leucaena + especies nativas (30 UPP piloto)**
- Finalización infraestructura básica ganadera SSPi (30 UPP)
- Inicio producción no certificada Centro Tizimín
- Contratación primeras 500 vaquillas F1 (entrega T3 2027)

13.2. 2027 - Año de Consolidación

T1-T2 2027:

- **Maduración Leucaena (6-9 meses crecimiento inicial)**
- Capacitación técnicos brasileños (Embrapa)
- Establecimiento praderas mejoradas lecheras
- Auditorías pre-certificación ISO-17025
- Construcción infraestructura adicional SSPi (30 UPP)

T3 2027 (Jul-Sep):

- **Primera entrega: 500 vaquillas F1 SSPi (1,200 ha listas, 30 UPP)**
- Inicio operaciones lecheras formales
- Establecimiento 800 ha adicionales Leucaena (20 UPP)

T4 2027 (Oct-Dic):

- **Segunda entrega: 500 vaquillas F1 SSPi** (total acumulado 1,000)
- **Certificación ISO-17025 obtenida**
- Construcción infraestructura SSPi (20 UPP adicionales)

13.3. 2028 - Año de Expansión y Certificación

T1-T2 2028:

- **Tercera entrega: 1,000 vaquillas F1 SSPi** (total acumulado 2,000)
- Primera generación SSPi (partos F1 2027)
- Proceso certificación OIE en curso
- Establecimiento 1,000 ha adicionales (acum. 3,000 ha, 70 UPP)
- Evaluación científica intermedia

T3-T4 2028:

- **Cuarta entrega: 2,000 vaquillas F1 SSPi** (total acumulado 4,000)
- **Certificación OIE completa obtenida**
- Producción 80,000 dosis certificadas/año
- Establecimiento 800 ha adicionales (acum. 3,800 ha, 80 UPP)
- Monitoreo captura carbono científico

13.4. 2029-2030 - Consolidación y Expansión

T1-T2 2029:

- **Quinta entrega: 3,000 vaquillas F1 SSPi** (total acumulado 7,000)
- Meta producción láctea: 8.5 L/vaca/día alcanzada
- Establecimiento 1,000 ha adicionales (acum. 4,800 ha, 95 UPP)
- 100,000 dosis + 3,000 embriones/año

T3-T4 2029:

- **Sexta entrega: 3,000 vaquillas F1 SSPi** (total acumulado 10,000)
- Establecimiento 600 ha adicionales (acum. 5,400 ha, 108 UPP)
- Consolidación sistemas productivos

T1-T2 2030:

- **Séptima entrega final: 2,000 vaquillas F1 SSPi (META 12,000 total)**

- Establecimiento 600 ha finales (**META: 6,000 ha, 120 UPP**)
- 120,000 dosis + 5,000 embriones certificados

T3-T4 2030:

- **Evaluación final integrada macroproyecto**
- Consolidación 6,000 ha SSPi completadas (120 UPP)
- Inicio exportación semen a Centroamérica
- Transferencia tecnológica y replicabilidad

14. Presupuesto Consolidado del Macroproyecto

Cuadro 15: Inversión Total Integrada 2026-2030 (Millones de Pesos)

Componente	Total (MDP)	Federal 60 %	Estatad 30 %	Prod. 10 %	%
SSPi (120 UPP)	132.6	79.6	39.8	13.3	17.1 %
Repoblamiento Ganadero	150.1	90.1	45.0	15.0	19.3 %
Centro Genético Tizimín	150.0	90.0	45.0	15.0	19.3 %
Lechería (75 UPP)	89.5	53.7	26.9	8.9	11.5 %
Planta Mosca Estéril	300.0	180.0	90.0	30.0	28.2 %
Certificación TBC	51.5	30.9	15.5	5.2	4.8 %
Gastos Operativos	52.8	31.7	15.9	5.3	5.0 %
TOTAL	926.5	555.9	277.9	92.7	100 %
<i>Estructura: 6 componentes integrados + gastos operativos</i>					

OBSERVACIÓN IMPORTANTE - AJUSTE CONSERVADOR:

- **SSPi:** Presupuesto optimizado a \$132.6M para meta REALISTA 6,000 ha mediante validación científica del cálculo de semillas (6.0 kg/ha vs 14.0 kg/ha sin justificación). Paquete técnico: \$12,100/ha (vs \$18,500/ha original). Ahorro: \$38.4M por transparencia en memoria de cálculo
- **Lechero:** Presupuesto integral de \$89.5M para transformación completa lechería tropical. Meta: 75 UPP tecnificados con genética F1 adaptada, infraestructura de ordeño, sistemas silvopastoriles especializados y +40 % incremento productivo. Inversión estratégica para mercados premium

15. Indicadores de Impacto Cuantificables

15.1. Métricas Zootécnicas Verificables

1. **Productividad láctea:** 3.2 → 8.5 L/vaca/día (+165 %)
2. **Carga animal SSPi:** 0.8 → 2.5 UA/ha (+212 %)

3. **Tasa de preñez:** 65 % → 80 % (+23 %)
4. **Conversión alimenticia:** Reducción 15 % kg MS/kg carne
5. **Mortalidad:** Reducción del 12 % al 8 %

15.2. Impacto Ambiental Medible

- **Captura CO₂:** 90,000 ton CO₂eq en 6,000 ha (15 ton/ha)
- **Biodiversidad:** +40 % especies arbóreas en SSPi
- **Eficiencia hídrica:** -30 % consumo agua/L leche
- **Erosión:** -60 % pérdida suelo vs monocultivo

15.3. Impacto Socioeconómico

- **UPP beneficiadas:** 1,250 productores directos
- **Empleo generado:** 2,500 empleos directos + 5,000 indirectos
- **Ingresos:** +\$120 MDP/año adicionales sector pecuario
- **Sustitución importaciones:** \$85 MDP/año semen bovino

16. Validación Científica y Seguimiento

16.1. Convenios de Investigación Aplicada

1. **FMVZ-UADY:** Dr. Juan Ku Vera - Evaluación genética cuantitativa
2. **CICY:** Dra. Patricia Montañez - Fisiología tropical
3. **INIFAP:** Dr. Carlos González - Sistemas silvopastoriles
4. **Embrapa Brasil:** Transferencia tecnológica tropical

16.2. Metodología de Evaluación

- **DEPs trimestrales:** Diferencias Esperadas Progenie
- **Análisis genómico:** SNPs para características productivas
- **Evaluación económica:** Costo-beneficio por UPP
- **Monitoreo ambiental:** Carbono, biodiversidad, agua

17. Marco Técnico y Tecnológico

17.1. Enfoque Zootécnico Integral

Este macroproyecto se sustenta en principios zootécnicos modernos y evidencia científica:

1. **Genética cuantificada:** Cruzamientos F1 “Gyrolando” con heterosis documentada +15 % productividad
2. **Parámetros conservadores:** Modelos reproductivos 90 % supervivencia, validados internacionalmente
3. **Evaluación continua:** DEPs trimestrales y seguimiento por características productivas
4. **Investigación colaborativa:** Red institucional para validación científica permanente

17.2. Tecnologías de Vanguardia Aplicadas

Implementación de sistemas tecnológicos avanzados:

- **GrowSafe System:** Evaluación individual de consumo y conversión alimenticia
- **GreenFeed Technology:** Medición precisa de emisiones CH₄ en sistemas silvo-pastoriles
- **Genómica aplicada:** Análisis SNPs para identificación de genotipos superiores
- **Estudios epigenéticos:** Adaptación multigeneracional a condiciones tropicales

17.3. Aprovechamiento de Infraestructura Existente

Centro de Tizimín - Estrategia de Optimización:

- **Base instalada:** Aprovechamiento de infraestructura 2023 (\$44M)
- **Inversión complementaria:** Certificación OIE/ISO-17025 y equipamiento especializado
- **Enfoque productivo:** Transición de instalación subutilizada a centro productivo certificado
- **Meta operativa:** 120,000 dosis certificadas/año con trazabilidad completa

18. Conclusiones

El Macroproyecto “Renacimiento Ganadero Maya” representa un modelo de desarrollo pecuario sustentable fundamentado en:

1. **Evidencia científica robusta:** Datos oficiales SIAP + parámetros zootécnicos internacionalmente validados
2. **Investigación colaborativa:** Red de convenios académicos para evaluación técnica permanente
3. **Tecnología de vanguardia:** Sistemas GrowSafe, GreenFeed y análisis genómico aplicado
4. **Viabilidad económica:** ROI proyectado 18% + estrategia de sustitución de importaciones
5. **Sostenibilidad ambiental:** Captura documentada de 90,000 ton CO₂eq (15 ton/ha × 6,000 ha)
6. **Realismo operacional:** Metas conservadoras basadas en 20 años experiencia Chiapas (1,078 ha/año promedio)

Este enfoque técnico integral garantiza la transformación del sector pecuario yucateco mediante bases zootécnicas sólidas y resultados medibles y verificables.

BORRADOR

19. Cronograma de Ejecución Trimestral Detallado

Cuadro 16: Cronograma Detallado por Trimestres

Período	Desarrollo Lechero	Sistemas Silvopastoriles	Centro Genético Tizimín
T1 2026	Selección 250 UPP potenciales	Diagnóstico técnico 6,000 ha (120 UPP)	Evaluación infraestructura 2023
T2 2026	Adquisición genética F1 certificada	Convenios y compromisos productores	Licitación equipamiento laboratorio
T3 2026	Construcción salas de ordeño	Primera siembra Leucaena + especies nativas	Remodelación para certificación
T4 2026	Establecimiento praderas Mulato II	Establecimiento 1,200 ha Leucaena (30 UPP) + infraestructura	Instalación equipos especializados
T1 2027	Capacitación técnica intensiva	Maduración Leucaena (6-9 meses)	Capacitación Embrapa Brasil
T2 2027	Expansión praderas mejoradas	Construcción infraestructura 30 UPP adicionales	Auditorías ISO-17025 iniciales
T3 2027	Inicio producción láctea	1ra entrega: 500 vaquillas F1	Certificación ISO-17025
T4 2027	Evaluación técnica intermedia	2da entrega: 500 F1 (1,000 acum.)	Inicio proceso certificación OIE
T1 2028	Optimización sistemas productivos	3ra entrega: 1,000 F1 (2,000 acum.)	Producción pre-certificada OIE
T2 2028	Expansión a nuevas UPP	Primeros partos F1 (cohorte 2027)	Auditorías OIE internacionales
T3 2028	Meta 6.5 L/vaca/día alcanzada	4ta entrega: 2,000 F1 (4,000 acum.)	Certificación OIE completa
T4 2028	Evaluación anual de progreso	3,800 ha operando (80 UPP)	80,000 dosis certificadas producidas
T1 2029	Meta 8.5 L/vaca/día	5ta entrega: 3,000 F1 (7,000 acum.)	100,000 dosis + embriones
T2 2029	Consolidación de sistemas	6ta entrega: 3,000 F1 (10,000 acum.)	Convenios exportación genética
T3 2029	Transferencia de tecnología	5,400 ha operando (108 UPP)	Expansión a mercados regionales
T4 2029	Evaluación integral de componente	Verificación captura carbono total	Investigación avanzada en genética
T1 2030	Sostenibilidad económica validada	7ma entrega: 2,000 F1 (12,000 total)	120,000 dosis/año
T2-T4 2030	EVALUACIÓN FINAL INTEGRADA MACROPROYECTO		

20. Bibliografía Científica

1. Autores. (2025). Memoria de cálculo valoración servicios ambientales. *Anexo I - Macroproyecto Renacimiento Ganadero Maya*.
2. Banco Mundial. (2021). *State and trends of carbon pricing 2021*. World Bank Group. Washington, DC.
3. Embrapa Gado de Leite. (2024). *Sistemas silvopastoriles tropicales: Manual técnico*. Juiz de Fora, Brasil.
4. FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). *Buenas prácticas para la ganadería sostenible*. Roma, Italia.
5. FIRA - Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2018). *Cargas animales en sistemas de pastoreo mejorado del trópico mexicano*. FIRA, México.
6. Fundación Produce Michoacán A.C. (2019). *Manual técnico: Establecimiento y manejo de Leucaena leucocephala en sistemas silvopastoriles intensivos*. Morelia, Michoacán.
7. González-Rebeles, C., Hernández-Mendo, O., & Figueroa-Sandoval, B. (2023). Heterosis en cruzamientos Bos taurus x indicus en condiciones tropicales. *Técnica Pecuaria en México*, 61(2), 145-162.
8. ICAP - International Carbon Action Partnership. (2024). *ETS Price Dashboard - Current carbon prices in international markets*. Berlin, Alemania.
9. INIFAP - Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2023). *Manual técnico de sistemas silvopastoriles para México*. Texcoco, México.
10. ISO/IEC 17025:2017. *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*. Organización Internacional de Normalización.
11. Montañez-Valdez, P., Ramírez-Avilés, L., & Ku-Vera, J. C. (2024). Sistemas reproductivos en bovinos tropicales. *Revista FMVZ-UADY*, 12(3), 78-95.
12. Murgueitio, E., Cuellar, P., Ibrahim, M., Gobbi, J., Cuartas, C. A., Naranjo, J. F., ... & Zuluaga, A. F. (2013). Adopción de sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) en ganadería bovina de América tropical. *Pastos y Forrajes*, 36(4), 365-381.
13. OIE - Organización Mundial de Sanidad Animal. (2024). *Terrestrial Animal Health Code*, Capítulo 4.9. París, Francia.
14. Padrón Ganadero Nacional. (2025). *Análisis de Pareto: Concentración ganadera por organizaciones regionales - Yucatán*. CNOG-SINIIGA, México.
15. SENASICA - Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. (2024). *Requisitos técnicos para centros de inseminación artificial*. SADER, México.

16. Shelton, H. M., & Brewbaker, J. L. (1994). *Leucaena leucocephala* - the most widely used forage tree legume. *Forage tree legumes in tropical agriculture*, 15-29.
17. SIAP - Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). *Inventario ganadero por entidad federativa*. SADER, México.
18. Teague, W. R., Dowhower, S. L., Baker, S. A., Haile, N., DeLaune, P. B., & Conover, D. M. (2011). Grazing management impacts on vegetation, soil biota and soil chemical, physical and hydrological properties in tall grass prairie. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 141(3-4), 310-322.

BORRADOR

Anexo I: Análisis Territorial de Pareto - Concentración Ganadera Yucateca

1. Marco Regulatorio: Regionalización Ganadera Oficial

Según el Acuerdo de Regionalización publicado en el DOF, el Estado de Yucatán se divide en **dos regiones ganaderas oficiales**:

UGROY - Unión Ganadera Regional del Oriente de Yucatán

24 municipios: Buctzotz, Chichimilá, Quintana Roo, Temozón, Valladolid, Calotmul, Dzitás, Río Lagartos, Tinum, Cenotillo, Espita, San Felipe, Tixcacalcupul, Cuncunul, Kaua, Sucilá, Tizimín, Chemax, Panabá, Tekom, Uayma, Dzilam de Bravo, Dzilam González y Temax.

UGRY - Unión Ganadera Regional de Yucatán (Centro)

82 municipios: Abalá, Cansahcab, Chankom, Dzan, Halachó, Ixil, Mama, Motul, Progreso, Sinanché, Teabo, Telchac Pueblo, Ticul, Tzucacab, Yobaín, Acanceh, Cantamayec, Chapab, Dzemul, Hocabá, Izamal, Maní, Muna, Sacalum, Sotuta, Tecoh, Telchac Puerto, Timucuy, Ucu, Akil, Celestún, Chicxulub Pueblo, Dzidzantún, Hochtún, Kanasín, Maxcanú, Muxupip, Samahil, Sudzal, Tekal de Venegas, Tixkokob, Umán, Baca, Conkal, Chikindzonot, Homún, Kantunil, Mayapán, Opichén, Sanahcat, Suma, Tekantó, Tepakán, Tixméhuac, Xocchel, Bokobá, Cuzamá, Chocholá, Huhí, Kinchil, Mérida, Oxkutzcab, Santa Elena, Tahdziú, Tekax, Tetiz, Tixpéhual, Yaxcabá, Cacalchén, Chacsinkín, Chumayel, Dzoncauich, Hunucmá, Kopomá, Mococho, Peto, Seyé, Tahmek, Tekit, Teya, Tunkás y Yaxkukul.

2. Análisis de Pareto de la Ganadería Yucateca

Con base en el Padrón Ganadero Nacional 2025 y la regionalización oficial por organizaciones ganaderas, se identificaron los municipios con mayor concentración de actividad ganadera mediante análisis de Pareto considerando cinco indicadores clave: superficie ganadera, UPP, vientres, vaquillas y sementales.

Hallazgo clave: Los primeros **11 municipios** (10.4 % del total de 106) concentran el **80.3 % de la actividad ganadera estatal**, demostrando una aplicación perfecta del Principio de Pareto (regla 80/20).

Cuadro 17: Municipios prioritarios según concentración ganadera y organización regional

Rank	Municipio	Org.	Sup. (ha)	UPP	Vientres	Vaq.	Sem.	% Acum.	
1	Tizimín	UGROY		260,595	2,183	89,394	8,903	5,234	35.2 %
2	Panabá	UGROY		100,026	539	23,902	2,883	1,167	48.1 %
3	Tekax	UGRY		78,245	343	7,019	896	360	54.3 %
4	Buctzotz	UGROY		74,793	492	15,855	2,049	809	59.6 %
5	Dzilam González	UGROY		55,102	248	6,569	760	348	63.5 %

Rank	Municipio	Org.	Sup. (ha)	UPP	Vientres	Vaq.	Sem.	% Acum.
6	Tzucacab	UGRY	50,688	411	7,910	1,383	408	67.0 %
7	Cenotillo	UGROY	43,279	294	8,127	1,000	441	70.0 %
8	Peto	UGRY	41,168	212	5,151	773	236	72.8 %
9	Sucilá	UGROY	39,712	276	7,840	982	367	75.6 %
10	Izamal	UGRY	33,903	319	4,275	607	292	78.0 %
11	San Felipe	UGROY	33,203	144	5,841	676	266	80.3 %
12	Temozón	UGROY	27,754	494	6,373	847	549	82.3 %
13	Tunkás	UGRY	27,262	257	3,246	568	241	84.2 %
14	Yaxcabá	UGRY	25,045	33	350	76	32	85.9 %
15	Kinchil	UGRY	25,378	101	1,575	336	93	87.6 %
16	Valladolid	UGROY	23,992	260	3,095	490	340	89.2 %
17	Maxcanú	UGRY	23,180	75	1,002	117	74	90.7 %
18	Sotuta	UGRY	21,142	61	1,029	167	65	92.1 %
19	Calotmul	UGROY	20,638	238	4,992	572	283	93.5 %
20	Espita	UGROY	19,442	202	3,277	398	184	94.8 %

3. Concentración por Organizaciones Ganaderas Oficiales

UGROY - Unión Ganadera Regional del Oriente de Yucatán

7 de 11 municipios Pareto (63.6 %): Tizimín (35.2 %), Panabá (12.9 %), Buctzotz (5.3 %), Dzilam González (4.1 %), Cenotillo (2.9 %), Sucilá (2.8 %), San Felipe (2.3 %) = **65.5 %** concentración estatal

- **Concentración Pareto (7 mun.):** 65.5 % de la actividad ganadera estatal
- **Superficie Pareto (7 mun.):** 606,709 hectáreas
- **Núcleo crítico:** Tizimín-Panabá-Buctzotz = 53.4 % de la actividad estatal total
- **Característica:** Epicentro absoluto - Principio de Pareto validado

UGRY - Unión Ganadera Regional de Yucatán (Centro)

4 de 11 municipios Pareto (36.4 %): Tekax (6.2 %), Tzucacab (3.5 %), Peto (2.8 %), Izamal (2.5 %) = **14.8 %** concentración estatal

- **Concentración Pareto (4 mun.):** 14.8 % de la actividad ganadera estatal
- **Superficie Pareto (4 mun.):** 204,004 hectáreas
- **Núcleo complementario:** Tekax como líder regional sur
- **Característica:** Diversificación complementaria, especialización lechera tropical

4. Estrategia de Focalización Presupuestaria

Asignación presupuestaria eficiente basada en 11 municipios Pareto (10 % = 80 % actividad):

Cuadro 18: Eficiencia Presupuestaria por Principio de Pareto

Región	Concentración Real	Asignación Eficiente	Monto (MDP)	Estrategia Principal
UGROY	65.5 %	65 %	\$529.7	SSPi + Planta Mosca Estéril + Centro Genético Tizimín
UGRY	14.8 %	15 %	\$122.2	Lechería Tropical + Diversificación
Reserva Estratégica	19.7 % (Nivel 2)	20 %	\$163.0	Municipios Nivel 2 + Programas Transversales
TOTAL	100 %	100 %	\$926.5	Macroproyecto Integral

Indicadores de Concentración: Principio de Pareto Validado

Cuadro 19: Concentración por Nivel de Análisis

Indicador	11 Mun. Pareto	% Estatal	20 Municipios	% Estatal
Superficie ganadera	810,713 ha	80.3 %	1,231,566 ha	94.8 %
UPP totales	5,241	76.8 %	7,201	82.3 %
Vientres	188,512	81.2 %	235,445	89.1 %
Vaquillas	20,541	79.6 %	25,537	87.4 %
Sementales	9,788	80.9 %	11,347	86.8 %
Promedio ponderado	—	79.8 %	—	88.1 %
<i>Base: 106 municipios totales en Yucatán</i>				
<i>Principio de Pareto: 11 municipios (10.4 %) concentran 80 % actividad</i>				

Recomendaciones Estratégicas por Organización Ganadera

Para UGROY (Oriente) - Prioridad Absoluta

1. **Focalizar 65 % de recursos** (\$529.7 MDP) en 7 municipios UGROY Pareto
2. **Tizimín: epicentro estratégico** - Planta Mosca Estéril + Centro Genético
3. **Núcleo Pareto UGROY:** Tizimín-Panabá-Buctzotz = 53.4 % actividad estatal
4. **Coordinación binacional directa** UGROY-APHIS para certificación TBC
5. **Eficiencia presupuestaria:** 10 % de municipios = 80 % de impacto

Para UGRY (Centro) - Complementaria Estratégica

1. **Asignar 15 % de recursos** (\$122.2 MDP) en 4 municipios UGRY Pareto
2. **Tekax: centro regional sur** especializado en lechería tropical
3. **Diversificación productiva** aprovechando proximidad a Mérida
4. **Sistemas silvopastoriles** adaptados a zona centro-sur
5. **Articulación** con programas estatales complementarios

5. Conclusión: Validación del Principio de Pareto

El análisis cuantitativo valida la aplicación del **Principio de Pareto** en la ganadería yucateca: **11 municipios (10.4 % del total) concentran el 80.3 % de la actividad ganadera estatal**. Esta distribución extremadamente concentrada permite una estrategia de intervención altamente eficiente.

La **concentración excepcional en UGROY** (especialmente Tizimín con 35.2 %) justifica la focalización de infraestructura estratégica y recursos, maximizando el impacto del Macroproyecto Renacimiento Ganadero Maya mediante asignación presupuestaria basada en evidencia cuantitativa.

BORRADOR

Anexo II: Memoria de Cálculo - Valoración Económica de Servicios Ambientales

1. Cálculo de Captura de Carbono Total del Macroproyecto

Parámetros base:

- Superficie SSPi total: 6,000 hectáreas
- Captura promedio por hectárea: 127.5 ton CO₂eq/ha (5 años)^{6,8}
- Período de evaluación: 2026-2030 (5 años)

Cálculo:

$$\text{Captura Total} = 6,000 \text{ ha} \times 127,5 \text{ ton CO}_2\text{eq/ha} = 765,000 \text{ ton CO}_2\text{eq}$$

2. Valoración Económica en Mercados Internacionales de Carbono

Precios de referencia (2024):

- Mercado europeo EU-ETS: €20-35/ton CO₂eq (\$22-38 USD)¹
- Mercado voluntario VCS: \$15-25/ton CO₂eq²
- California Cap-and-Trade: \$28-32/ton CO₂eq²
- Rango conservador adoptado: \$20-50 USD/ton CO₂eq

Cálculo de valor económico:

$$\text{Valor Mínimo} = 765,000 \times 20 = 15,300,000 \text{ USD}$$

$$\text{Valor Máximo} = 765,000 \times 50 = 38,250,000 \text{ USD}$$

Rango de valoración: \$15.3 - 38.25 millones USD

3. Potencial de Amortización de la Inversión

Inversión total macroproyecto: \$926.5 MDP = \$46.3 millones USD (TC: 20 MXN/USD)

Porcentaje de amortización mediante servicios ambientales:

$$\text{Amortización Mínima} = \frac{15,3}{40,75} \times 100 = 37,5 \%$$

$$\text{Amortización Conservadora} = \frac{10,2}{40,75} \times 100 = 25 \%$$

Nota: Se adoptó el valor conservador de 25 % para el análisis financiero del proyecto.

Anexo III: Memoria de Cálculo - Justificación Técnica Paquete Tecnológico SSPi

1. Densidad de Leucaena: Fundamento Científico

Densidades recomendadas según literatura científica:

- Shelton & Brewbaker (1994): 25,000-50,000 plantas/ha⁸
- Fundación Produce Michoacán (2019): 40,000-53,000 plantas/ha⁷
- Murgueitio et al. (2013): 35,000-45,000 plantas/ha⁶

Arreglo espacial adoptado:

- Distancia entre surcos: 1.2-1.6 metros
- Distancia entre plantas: 0.20-0.30 metros
- Semillas por kg: 18,000 (promedio)
- Germinación esperada: 85 %
- Supervivencia esperada: 90 %

2. Cálculo de Semilla Requerida

Rango objetivo: 45,000-55,000 plantas efectivas/ha

Para 45,000 plantas/ha (densidad mínima):

$$\text{Semilla requerida} = \frac{45,000}{0,85 \times 0,90 \times 18,000} = 3,27 \text{ kg/ha}$$

Para 55,000 plantas/ha (densidad objetivo):

$$\text{Semilla requerida} = \frac{55,000}{0,85 \times 0,90 \times 18,000} = 3,99 \text{ kg/ha}$$

Margen de seguridad técnico (20 %):

- Densidad mínima: $3.27 \times 1.20 = 3.92 \text{ kg/ha}$
- Densidad objetivo: $3.99 \times 1.20 = 4.79 \text{ kg/ha}$

Recomendación técnica final: 6.0 kg/ha

Justificación: Adopción de margen de seguridad adicional para verificación en campo. Los 6.0 kg/ha proporcionan flexibilidad operativa ante variaciones locales de germinación, supervivencia y condiciones edafoclimáticas específicas de Yucatán, manteniéndose dentro del rango técnico validado por Fundación Produce Michoacán (8-16 kg/ha) para sistemas silvopastoriles intensivos⁷.

3. Fijación de Nitrógeno

Capacidad de fijación según densidad:

- 40,000 plantas/ha: 250-350 kg N/ha/año
- 45,000 plantas/ha: 350-450 kg N/ha/año
- 50,000 plantas/ha: 450-550 kg N/ha/año

Valor económico del nitrógeno fijado:

$$\text{Ahorro fertilizante} = 400 \text{ kg N/ha} \times 25 \text{ MXN/kg} = 10,000 \text{ MXN/ha/año}$$

Fuente: Precios fertilizantes nitrogenados 2024, FIRA

BORRADOR

Anexo IV: Verificación de Carga Animal con Datos Oficiales

Objetivo del Análisis

Este anexo presenta la verificación metodológica de la carga animal en Yucatán utilizando datos oficiales del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP 2023) y del Padrón Ganadero Nacional 2025, contrastándola con estimaciones técnicas reportadas en la literatura sectorial.

Referencia Técnica de Literatura Sectorial

Según FIRA (2018), las cargas animales típicas en sistemas ganaderos del trópico mexicano se distribuyen como sigue:

Sistema Ganadero	Carga Típica (UA/ha)
Pastoreo extensivo tradicional no supervisado	0.3 - 0.6
Pastoreo mejorado con rotación básica	0.8 - 1.2
Semi-intensivo con suplementación	1.5 - 2.0
Silvopastoril intensivo (SSPi) tecnificado	2.5 - 3.5

Cuadro 20: Rangos de carga animal según sistema productivo - Fuente: FIRA 2018

Caracterización del sistema tradicional yucateco:

El pastoreo extensivo tradicional prevaleciente en Yucatán se caracteriza por ser **selectivo no supervisado**, donde el ganado pastorea libremente sin rotación planificada. Este sistema genera un círculo vicioso de degradación:

- **Degradación del recurso forrajero:** Sobrepastoreo de especies palatables y proliferación de malezas
- **Compactación del suelo:** Pisoteo concentrado en áreas limitadas sin periodos de descanso
- **Distribución desigual de nutrientes:** Concentración de excretas en zonas de sombra/agua
- **Pérdida de biodiversidad:** Eliminación progresiva de especies forrajeras de calidad

En contraste, los **Sistemas Silvopastoriles tecnificados (SSPi)** implementan pastoreo rotacional intensivo supervisado que actúa como herramienta regenerativa del suelo mediante:

1. **Incorporación de materia orgánica:** Distribución uniforme de estiércol y orina como fertilizante natural

2. **Estimulación microbiana:** Mayor actividad de descomposición y disponibilidad de nutrientes
3. **Mejora de estructura edáfica:** El pisoteo controlado rompe compactación, mejora aireación e infiltración
4. **Captura de carbono:** Raíces más profundas (estimuladas por pastoreo intensivo-descanso) transfieren carbono al suelo
5. **Retención hídrica:** Mayor capacidad de infiltración y almacenamiento de agua
6. **Diversidad vegetal:** El pastoreo no selectivo mantiene diversidad de especies forrajeras

Datos Oficiales Disponibles

Inventario Bovino SIAP 2023:

- Total bovinos Yucatán: 605,536 cabezas
- Bovinos carne: 602,180 (99.45 %)
- Bovinos leche: 3,356 (0.55 %)

Superficie Ganadera (Padrón Ganadero Nacional 2025):

- Los primeros 11 municipios (Principio de Pareto: 10.4 % concentra 80.3 % actividad): 810,713 hectáreas
- Superficie total estimada: 1,299,200 hectáreas (base Padrón Nacional completo)

Cálculos de Verificación

Método 1: Cálculo Simplificado (Superficie Total)

Asumiendo conservadoramente 1 bovino = 1 Unidad Animal:

$$\text{Carga Animal} = \frac{605,536 \text{ cabezas}}{1,299,200 \text{ ha}} = \mathbf{0.466 \text{ UA/ha}}$$

Método 2: Composición Ajustada del Hato

Utilizando factores de conversión estándar (FAO, SAGARPA):

Categoría	Proporción	Cabezas	Factor UA	UA Total
Vientres	40 %	242,214	1.0	242,214
Vaquillas	15 %	90,830	0.7	63,581
Novillos	20 %	121,107	0.85	102,941
Beceros	20 %	121,107	0.4	48,443
Sementales	5 %	30,277	1.2	36,332
TOTAL	100 %	605,536	—	493,511

$$\text{Carga Animal Ajustada} = \frac{493,511 \text{ UA}}{1,299,200 \text{ ha}} = \mathbf{0.380 \text{ UA/ha}}$$

Método 3: Análisis Pareto (11 Municipios = 80.3 % Actividad)

Focalizando en los 11 municipios que concentran el 80.3 % de la actividad ganadera (810,713 ha):

$$\text{Carga Animal Pareto} = \frac{493,511 \times 0.803 \text{ UA}}{810,713 \text{ ha}} = \mathbf{0.489 \text{ UA/ha}}$$

Comparación de Resultados

Fuente / Método	Carga (UA/ha)	Observaciones
FIRA 2018 (Extensivo tradicional)	0.3 - 0.6	Sistema prevaleciente en Yucatán
SIAP + Padrón (Simplificado)	0.466	Superficie total estatal
SIAP + Padrón (Ajustado)	0.380	Composición hato real
Principio Pareto (11 mun.)	0.489	10.4 % municipios = 80.3 % actividad
FIRA 2018 (SSPi tecnificado)	2.5 - 3.5	Meta con sistemas regenerativos

Conclusiones del Análisis

- La carga animal real de Yucatán (0.38-0.49 UA/ha) coincide con el rango reportado por FIRA (2018) para pastoreo extensivo tradicional no supervisado (0.3-0.6 UA/ha),** confirmando que el sistema prevaleciente en el estado corresponde precisamente a esta categoría tecnológica de menor eficiencia.
- El sistema actual genera degradación progresiva:** El pastoreo selectivo sin supervisión ni rotación conduce a sobrepastoreo de especies palatables, compactación del suelo, distribución desigual de nutrientes y pérdida de biodiversidad vegetal.
- Los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi) representan un cambio de paradigma productivo:** La transición de pastoreo extensivo degradativo (0.4 UA/ha) a SSPi tecnificados regenerativos (2.5-3.5 UA/ha) representa una **oportunidad de mejora del 525-775 %**, con el ganado actuando como herramienta de restauración edáfica mediante:
 - Incorporación uniforme de materia orgánica vía estiércol/orina
 - Estimulación de actividad microbiana del suelo
 - Mejora de estructura, aireación e infiltración hídrica
 - Captura de carbono por raíces profundas
 - Mantenimiento de diversidad vegetal por pastoreo no selectivo

4. **Esta verificación REFUERZA la justificación del macroproyecto:** La evidencia cuantitativa demuestra que Yucatán opera en el nivel tecnológico más bajo de producción ganadera tropical, con sistemas que simultáneamente degradan recursos naturales y generan baja productividad económica.
5. **Transparencia metodológica:** Este anexo documenta explícitamente las fuentes de datos, fórmulas utilizadas y supuestos del cálculo, garantizando la reproducibilidad del análisis y la comparabilidad con benchmarks internacionales.

Implicaciones para el Proyecto

La carga animal extremadamente baja (0.38 UA/ha) evidencia:

- **Subutilización severa** de la superficie ganadera disponible
- **Ineficiencia productiva** que limita dramáticamente la rentabilidad
- **Degradación ambiental sin retorno económico** adecuado
- **Urgencia de la transformación tecnológica** propuesta en el macroproyecto
- **Potencial de mejora superior al proyectado inicialmente**, fortaleciendo el caso de inversión
- **Principio de Pareto aplicable:** Focalización en 11 municipios (10 % del total) que concentran 80 % de la actividad permite maximizar el impacto de la intervención con eficiencia presupuestaria

Marco de Convenios para Implementación

La ejecución exitosa del macroproyecto depende de la formalización de 7 convenios estratégicos críticos:

1. **UADY (Académico):** Dr. Juan Ku Vera + Dr. Javier Solorio garantizan validación científica modelo SSPi, protocolos técnicos adaptados a Yucatán, capacitación 80 extensionistas, credibilidad ante APHIS/compradores internacionales.
2. **APHIS-USDA (Sanitario):** Certificación TBC obligatoria T-MEC para acceso mercado \$150M USD/año, protocolos exportación ganado pie/carne, capacitación 50 MVZ, auditorías rastros TIF.
3. **SENASICA (Sanitario):** Planta mosca estéril (250M/semana) erradica GBG (pérdidas actuales \$200M MXN/año), certificación OIE zona libre habilita mercados asiáticos, doble certificación TBC+GBG = +15-20 % valor exportación.
4. **INIFAP (Técnico):** Refundación Centro Genético Tizimín mediante protocolos evaluación DEPs (60+ años experiencia razas cebuínas), certificación ISO 17025 ante EMA, validación científica cruzamientos adaptativos, interoperabilidad bases datos nacionales.

5. **FIRA + Banca (Financiero):** Línea crédito \$170M tasa preferencial 6-8 % resuelve brecha financiamiento adopción SSPi (inversión inicial \$55-75K/ha), seguro paramétrico sequía/huracanes (primas subsidiadas 50 %), fideicomiso garantías \$20M para productores sin colateral.
6. **UGRY + Asociaciones (Organizacional):** Aportación cofinanciamiento productor 10 % (\$28.36M en 5 años), legitimidad social mediante liderazgo de organizaciones ganaderas facilita cambio cultural, operación módulos demostrativos (50 UPPs piloto), comercialización colectiva precio premium 12-15 %.
7. **Gobierno Yucatán (Gubernamental):** Compromiso estatal 30 % (\$150.63M) es requisito elegibilidad PEC federal, blindaje presupuestal Ley de Egresos 2026-2030, facilitación regulatoria (permisos cambio uso suelo, exenciones fiscales UPPs adoptantes SSPi), coordinación políticas públicas.

Calendario de Formalización: Fase 1 (Ene-Mar 2026): Gobierno Yucatán, SENASICA, APHIS. Fase 2 (Abr-Jun 2026): UADY, INIFAP, FIRA. Fase 3 (Jul-Sep 2026): UGRY, aseguradoras. Comité Técnico de seguimiento con representantes de todos los firmantes (revisiones anuales, addendas presupuestales/metás).

Nota metodológica: Para consultar el análisis completo con todos los cálculos detallados, véase el documento técnico: *“Verificación de Carga Animal (UA/ha) en Yucatán - Análisis Basado en Datos Oficiales SIAP 2023 y Padrón Ganadero Nacional 2025”*.

Anexo V: Memoria de Cálculo - Componente 2: Repoblamiento Ganadero Estratégico

1. Reconciliación Presupuestaria y Justificación de Costos

Inversión total reconciliada: \$150.1 millones MXN (2026-2030)

Reconciliación de discrepancia presupuestal:

- **Costo directo vaquillas:** 12,000 cabezas \times \$9,000/cabeza = \$108.0 MDP
- **Costos complementarios:** \$42.1 MDP (infraestructura, certificación, logística)
- **Total consolidado:** \$108.0 + \$42.1 = **\$150.1 MDP**

Cuadro 21: Desglose Detallado Componente 2 - Repoblamiento Ganadero (\$150.1 MDP)

Concepto	Cantidad	Costo (MDP)	Justificación Técnica
GENÉTICA BOVINA CERTIFICADA			
Vaquillas F1 carne premium	8,000 cab	\$72.0	Brahman \times Simmental/Charolais (\$9,000/cab)
Vaquillas F1 lecheras especializadas	4,000 cab	\$36.0	Holstein \times Gyr/Sahiwal (\$9,000/cab)
Subtotal Genética		\$108.0	
INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS			
Corrales de cuarentena (25 UPP)	25 unidades	\$12.5	\$500K por UPP \times 25 UPP principales
Certificación sanitaria OIE	12,000 cab	\$12.0	\$1,000/cabeza (vacunas + protocolos)
Identificación SINIIGA individual	12,000 cab	\$3.6	\$300/cabeza (aretes + registro digital)
Transporte especializado	240 viajes	\$7.2	50 cab/viaje \times \$30K/viaje
Seguros ganaderos (5 años)	12,000 cab	\$6.0	\$100/cab/año \times 5 años
Asistencia técnica especializada	5 años	\$0.8	2 MVZ \times \$80K/año \times 5 años
Subtotal Infraestructura		\$42.1	
GRAN TOTAL		\$150.1	

2. Cronograma de Entregas Escalonadas Sincronizadas con SSPi

Fundamento estratégico: Las entregas de vaquillas están sincronizadas con la maduración de hectáreas silvopastoriles para garantizar disponibilidad de forraje de calidad antes de la introducción del ganado.

Cuadro 22: Cronograma Integrado: Hectáreas SSPi vs Entregas de Vaquillas

Año	Hectáreas SSPi Acumuladas	Vaquillas Entregadas	Capacidad de Carga	Inversión Anual (MDP)	Justificación Técnica
2026	1,200	0	–	\$0.0	Establecimiento Leucaena T0
2027	2,400	1,000	2.0 UA/ha	\$12.5	Leucaena T1 maduración inicial
2028	3,600	3,000	2.8 UA/ha	\$37.5	Leucaena T2 productividad media
2029	4,800	6,000	3.2 UA/ha	\$75.0	Leucaena T3 productividad alta
2030	6,000	2,000	3.5 UA/ha	\$25.1	Consolidación sistema total
Total	6,000	12,000	–	\$150.1	Integración completa

3. Proyección Demográfica y Crecimiento del Hato

Parámetros zootécnicos adoptados:

- **Supervivencia:** 90 % (primer año), 95 % (años subsecuentes)
- **Edad primer servicio:** 24 meses (F1 tropical adaptado)
- **Tasa de preñez:** 80 % (sistemas SSPi + manejo intensivo)
- **Proporción sexual nacimientos:** 50 % hembras, 50 % machos
- **Mortalidad neonatal:** 5 % (protocolos sanitarios intensivos)

Cuadro 23: Proyección Demográfica del Hato 2027-2035

Año	Vaquillas Nuevas	Hato Vivo Acumulado	Servicios Efectivos	Nacimientos Anuales	Población Total
2027	1,000	900	0	0	900
2028	3,000	3,600	0	0	3,600
2029	6,000	9,000	720	342	9,342
2030	2,000	10,800	7,200	3,420	14,220
2031	0	10,260	8,640	4,104	14,364
2032	0	9,747	8,683	4,124	13,871
Total Incremento Proyectado (2027-2032)					+13,871 cabezas

4. Análisis Costo-Efectividad y Retorno de Inversión

Costo por cabeza incremental:

$$\text{Costo unitario} = \frac{\$150,1 \text{ MDP}}{13,871 \text{ cabezas incrementales}} = \$10,830/\text{cabeza neta}$$

Valor presente del incremento productivo (10 años):

- **Valor promedio ganado F1:** \$35,000/cabeza (2024)
- **Valor total hato incremental:** $13,871 \times \$35,000 = \485.5 MDP
- **Relación beneficio/costo:** $\$485.5 / \$150.1 = \mathbf{3.23:1}$

- **TIR proyectada:** 28.5 % (escenario conservador)
- **Payback:** 4.2 años

BORRADOR

Anexo VI: Memoria de Cálculo - Componente 3: Centro de Mejoramiento Genético Tizimín

1. Desglose Detallado de la Inversión \$150.0 MDP

Objetivo estratégico: Refundación integral del Centro de Mejoramiento Genético de Tizimín con certificación OIE/ISO-17025:2017 para producir 120,000 dosis anuales de semen certificado y 5,000 embriones de alta calidad genética.

Cuadro 24: Desglose Presupuestario Centro de Mejoramiento Genético (\$150.0 MDP)

Componente de Inversión	Monto (MDP)	% Total	Justificación Técnica
CERTIFICACIÓN Y ACREDITACIÓN			
Certificación OIE Laboratorio Referencia	\$25.0	16.7 %	Acreditación sanitaria internacional
Acreditación ISO/IEC 17025:2017	\$15.0	10.0 %	Competencia técnica EMA
Protocolos APHIS-USDA (T-MEC)	\$20.0	13.3 %	Certificación exportación EE.UU.
Subtotal Certificación	\$60.0	40.0 %	
EQUIPAMIENTO ESPECIALIZADO			
Laboratorio criobiología	\$18.0	12.0 %	Tanques nitrógeno + microscopía
Centro colección seminal	\$12.0	8.0 %	Maniqués + equipos colección
Laboratorio transferencia embriones	\$15.0	10.0 %	Equipos aspiración + cultivo
Sistema gestión calidad integral	\$5.0	3.3 %	Software + trazabilidad SINIIGA
Subtotal Equipamiento	\$50.0	33.3 %	
CAPACITACIÓN E INVESTIGACIÓN			
Capacitación internacional (Brasil/USA)	\$12.0	8.0 %	8 técnicos × 6 meses × \$250K
Investigación aplicada (5 años)	\$15.0	10.0 %	Convenios UADY-INIFAP-EMBRAPA
Asistencia técnica especializada	\$8.0	5.3 %	Consultores internacionales
Subtotal Capacitación	\$35.0	23.3 %	
OPERACIÓN QUINQUENAL			
Gastos operativos (2026-2030)	\$5.0	3.4 %	\$1M/año × 5 años
GRAN TOTAL	\$150.0	100.0 %	

2. Análisis de Capacidad Productiva y Metas Técnicas

Capacidad productiva objetivo (operación plena 2029):

Cuadro 25: Metas de Producción Centro de Mejoramiento Genético

Producto	Meta Anual	Costo Unit.	Ingreso Anual	Mercado Objetivo
Semen bovino certificado	120,000 dosis	\$150/dosis	\$18.0 MDP	Yucatán + Sureste
Embriones certificados	5,000 unidades	\$2,500/embrión	\$12.5 MDP	Regional + exportación
Servicios laboratorio	2,400 análisis	\$800/análisis	\$1.9 MDP	Servicios especializados
Capacitación técnica	480 productores	\$1,200/productor	\$0.6 MDP	Transferencia tecnológica
Total Ingresos Anuales	–	–	\$33.0 MDP	Autosustentabilidad

Análisis de viabilidad financiera:

- **Inversión inicial:** \$150.0 MDP
- **Ingreso anual proyectado:** \$33.0 MDP (operación plena)
- **Costos operativos anuales:** \$8.5 MDP
- **Flujo neto anual:** \$24.5 MDP
- **Payback:** 6.1 años
- **TIR:** 18.2 %

BORRADOR

Anexo VII: Memoria de Cálculo - Componente 4: Desarrollo Lechero Tropical

1. Inversión Estratégica \$89.5 MDP - Desglose Detallado

Meta física: Establecimiento de 75 módulos lecheros tecnificados con incremento del 40 % en producción láctea mediante genética especializada F1 y tecnología tropical adaptada.

Cuadro 26: Componente 4: Desarrollo Lechero Tropical (\$89.5 MDP)

Concepto de Inversión	Monto (MDP)	% Total	Especificación Técnica
INFRAESTRUCTURA LECHERA TECNIFICADA			
Salas de ordeño tecnificadas (75 UPP)	\$37.5	41.9 %	\$500K por módulo × 75 módulos
Tanques enfriamiento (75 unidades)	\$15.0	16.8 %	\$200K por tanque 2,000 L
Sistemas agua + electricidad	\$7.5	8.4 %	\$100K por UPP × 75 UPP
Corrales sombreaderos tecnificados	\$5.0	5.6 %	\$67K por UPP × 75 UPP
Subtotal Infraestructura	\$65.0	72.6 %	
GENÉTICA LECHERA ESPECIALIZADA			
Vaquillas F1 lecheras Holstein × Gyr	\$18.0	20.1 %	600 cabezas × \$30K/cabeza
Toros probados importados	\$3.0	3.4 %	15 toros × \$200K/toro
Semen importado premium	\$2.5	2.8 %	10,000 dosis × \$250/dosis
Programa mejoramiento genético	\$1.0	1.1 %	Asesoría + registros 5 años
Subtotal Genética	\$24.5	27.4 %	
GRAN TOTAL	\$89.5	100.0 %	

2. Análisis de Productividad y Proyección de Ingresos

Parámetros productivos objetivo:

Cuadro 27: Incremento Productivo Lechero por Módulo Tecnificado

Indicador	Sistema Tradicional	Sistema Tecnificado	Incremento Absoluto	Periodo Maduración
Vacas en ordeño/UPP	12	25	+13	Año 3
Producción L/vaca/día	4.5	12.0	+7.5	Año 2
Días lactancia	240	280	+40	Año 1
Producción L/UPP/año	12,960	84,000	+71,040	Año 3
Precio promedio (\$/L)	\$8.50	\$11.00	+\$2.50	Calidad premium
Ingreso anual/UPP	\$110K	\$924K	+\$814K	840 % incremento

Proyección económica agregada (75 módulos):

- **Incremento producción total:** $71,040 \text{ L} \times 75 \text{ UPP} = 5,328,000 \text{ L/año}$
- **Incremento ingresos anuales:** $\$814\text{K} \times 75 = \61.1 MDP/año
- **Relación beneficio/costo:** $\$61.1 / \$89.5 = 68.3\% \text{ anual}$
- **Payback:** 1.46 años
- **TIR:** 72.4 %

BORRADOR

Anexo VIII: Memoria de Cálculo - Componente 5: Planta de Mosca Estéril

1. Inversión Estratégica \$300.0 MDP - Desglose por Instalaciones

Objetivo: Construcción de la primera planta de mosca estéril del sureste mexicano para erradicación definitiva del Gusano Barrenador del Ganado mediante producción de 250 millones moscas estériles/semana.

Cuadro 28: Componente 5: Planta de Mosca Estéril (\$300.0 MDP)

Instalación Especializada	Monto (MDP)	% Total	Especificación Técnica
LABORATORIO CRÍA MASIVA			
Biorreactores cría larval	\$45.0	15.0 %	48 unidades × 520L capacidad
Cámaras ambiente controlado	\$35.0	11.7 %	T: 27°C, HR: 70 %, 12 cámaras
Sistema filtración HEPA	\$15.0	5.0 %	Bioseguridad nivel 3
Laboratorio control calidad	\$12.0	4.0 %	Equipos análisis + microscopía
Infraestructura civil básica	\$13.0	4.3 %	Nave industrial 2,400 m ²
Subtotal Laboratorio	\$120.0	40.0 %	
PLANTA IRRADIACIÓN Co-60			
Fuente radiactiva Co-60	\$50.0	16.7 %	50,000 Ci actividad inicial
Cámara irradiación blindada	\$25.0	8.3 %	Plomo + concreto blindaje
Sistema manejo automatizado	\$10.0	3.3 %	Robots + transportadores
Monitoreo radiológico	\$5.0	1.7 %	Detectores + alarmas seguridad
Subtotal Irradiación	\$90.0	30.0 %	
FLOTA AÉREA Y OPERACIÓN			
Aeronaves especializadas (6 unidades)	\$48.0	16.0 %	\$8M por aeronave equipada
Hangar y pista aérea	\$18.0	6.0 %	Infraestructura aeroportuaria
Equipos liberación aérea	\$12.0	4.0 %	Dispensadores + GPS navegación
Operación quinquenal	\$12.0	4.0 %	Combustible + mantenimiento
Subtotal Flota Aérea	\$90.0	30.0 %	
GRAN TOTAL	\$300.0	100.0 %	

2. Análisis Costo-Beneficio Erradicación GBG

Costos económicos GBG sin intervención:

- **Pérdidas directas ganaderas:** \$89 MDP/año (mortalidad + morbilidad)
- **Costos tratamientos:** \$24 MDP/año (ivermectinas + aplicaciones)
- **Barreras comerciales:** \$156 MDP/año (restricciones movilización)
- **Total costo anual GBG:** \$269 MDP/año

Beneficio económico erradicación:

$$\text{Beneficio 10 años} = \$269 \text{ MDP/año} \times 10 \text{ años} = \$2,690 \text{ MDP}$$

Relación beneficio/costo:

$$B/C = \frac{\$2,690 \text{ MDP}}{\$300,0 \text{ MDP}} = 8,97 : 1$$

BORRADOR

Anexo IX: Memoria de Cálculo - Componente 6: Certificación TBC + Digital

1. Inversión Total \$51.5 MDP - Habilitación Mercados Exportación

Objetivo estratégico: Implementación del protocolo T-MEC para certificación sanitaria binacional y desarrollo de plataforma digital CESO-APHIS que habilite exportaciones bovinas hacia EE.UU. y Canadá por \$150+ millones USD anuales.

Cuadro 29: Componente 6: Certificación TBC + Digital (\$51.5 MDP)

Concepto de Inversión	Monto (MDP)	% Total	Especificación Técnica
PROTOCOLO TBC (T-MEC)			
Laboratorio diagnóstico certificado	\$15.0	29.1 %	Acreditación APHIS-USDA
Programa vigilancia epidemiológica	\$8.7	16.9 %	1,075 UPP × 5 años monitoreo
Capacitación MVZ certificados	\$6.0	11.7 %	120 MVZ × \$50K capacitación
Infraestructura cuarentena	\$5.0	9.7 %	10 corrales × \$500K/corral
Subtotal Protocolo TBC	\$34.7	67.4 %	
PLATAFORMA DIGITAL CESO			
Desarrollo software trazabilidad	\$8.0	15.5 %	Blockchain + IoT integrado
Integración SINIIGA-APHIS	\$4.5	8.7 %	APIs + sincronización datos
Hardware UPP (1,075 unidades)	\$3.2	6.2 %	Tablets + lectores RFID
Operación plataforma (5 años)	\$1.1	2.1 %	Servidores + mantenimiento
Subtotal Plataforma Digital	\$16.8	32.6 %	
GRAN TOTAL	\$51.5	100.0 %	

2. Análisis de Impacto Económico - Mercados de Exportación

Valor económico acceso mercados T-MEC:

Cuadro 30: Proyección Exportaciones Bovinas T-MEC (2030-2035)

Producto	Volumen Anual	Precio Promedio	Valor Anual	Mercado Destino
Ganado pie cría certificado	15,000 cabezas	\$2,500 USD	\$37.5 M USD	Texas + Florida
Semen certificado premium	50,000 dosis	\$150 USD	\$7.5 M USD	EE.UU. + Canadá
Embriones certificados	8,000 unidades	\$800 USD	\$6.4 M USD	Mercado premium
Reproductores elite	2,000 cabezas	\$8,000 USD	\$16.0 M USD	Genética superior
Carne premium certificada	12,000 ton	\$7.5 USD/kg	\$90.0 M USD	Nicho orgánico
Total Exportaciones	—	—	\$157.4 M USD	Diversificado

Retorno de inversión:

- **Inversión certificación:** \$51.5 MDP = \$2.58 M USD
- **Exportaciones anuales:** \$157.4 M USD
- **Relación beneficio/costo anual:** 61.0:1
- **Payback:** 6.0 días (primer año operación)
- **Valor presente (10 años):** \$1,574 M USD vs \$2.58 M USD inversión

BORRADOR

Anexo X: Memoria de Cálculo - Gastos Operativos del Equipo Técnico

Justificación Técnica de los \$52.8 Millones MXN (2026-2030)

Marco conceptual: Los gastos operativos del equipo técnico optimizado (\$10.56M MXN anuales \times 5 años = \$52.8M MXN total, incluyendo nóminas del equipo técnico y gastos de operación) representan el 5.7% del presupuesto total del macroproyecto (\$926.5M MXN), porcentaje que se encuentra muy por debajo del rango estándar internacional para proyectos de desarrollo rural complejos (8-15% según estándares BM/BID), demostrando eficiencia operativa óptima. La fusión administrativa-financiera y la incorporación del componente de erradicación GBG generan sinergia operativa excepcional.

BORRADOR

Desglose Detallado por Categorías de Gasto

Cuadro 31: Memoria de Cálculo Anual - Gastos Operativos por Categoría

Categoría de Gasto	Anual (MXN)	5 años	Justificación Técnica
1. Movilidad y Logística	\$2,160,000	\$10,800,000	
Combustible (6 vehículos)	\$1,080,000	\$5,400,000	6 vehículos × 15,000 km/año × \$12/km promedio
Mantenimiento vehicular	\$360,000	\$1,800,000	6 vehículos × \$5,000/mes mantenimiento preventivo
Seguros y tenencias	\$120,000	\$600,000	6 vehículos × \$20,000/año (seguro amplia + tenencia)
Arrendamiento vehículos	\$800,000	\$4,000,000	3 vehículos especializados × \$25,000/mes + 1 adicional
2. Viáticos y Hospedaje	\$1,440,000	\$7,200,000	
Viáticos personal técnico	\$960,000	\$4,800,000	6 técnicos × 120 días campo/año × \$1,333/día
Hospedaje giras técnicas	\$360,000	\$1,800,000	120 giras/año × \$3,000/gira promedio (2 noches)
Alimentación campo	\$120,000	\$600,000	Complemento alimentación durante supervisión prolongada
3. Equipamiento y Materiales	\$3,000,000	\$15,000,000	
Equipos de medición	\$480,000	\$2,400,000	GPS, medidores pH, básculas, clinómetros, refractómetros
Tecnología informática	\$360,000	\$1,800,000	Laptops, tablets, drones, software SIG, renovación c/2.5 años
Material didáctico ECAs	\$240,000	\$1,200,000	Rotafolios, proyectores, material para 5 ECAs × 25 sesiones/año
Herramientas y suministros	\$1,200,000	\$6,000,000	Herramientas, insumos, materiales técnicos, suministros oficina
Insumos laboratorio móvil	\$720,000	\$3,600,000	Reactivos, material muestreo, conservadores, análisis laboratorio
4. Comunicaciones	\$405,000	\$2,025,000	
Telefonía celular	\$144,000	\$720,000	6 líneas × \$2,000/mes (plan empresarial datos)
Internet satelital rural	\$180,000	\$900,000	3 puntos remotos × \$5,000/mes (zonas sin cobertura)
Radiocomunicación	\$81,000	\$405,000	6 radios + repetidoras + licencias IFE-TEL
5. Capacitación y Eventos	\$600,000	\$3,000,000	
Talleres técnicos	\$360,000	\$1,800,000	24 talleres/año × \$15,000/taller (logística + materiales)
Giras de intercambio	\$180,000	\$900,000	2 giras/año × \$90,000 (nacional/internacional)
Certificaciones personal	\$60,000	\$300,000	Cursos especialización, certificaciones profesionales
6. Nóminas Equipo Técnico	\$4,755,000	\$23,775,000	
Jefe de Programa (N11)	\$425,376	\$2,126,880	\$35,448/mes × 12 meses × 5 años (incluye prestaciones)
5 Técnicos Especializados (O21)	\$1,494,240	\$7,471,200	5 × \$24,904/mes × 12 meses × 5 años
Prestaciones sociales (35 %)	\$672,666	\$3,363,330	IMSS, ISSSTE, aguinaldo, vacaciones, prima vacacional
Seguro de vida grupal	\$72,000	\$360,000	6 personas × \$1,000/mes seguro institucional
Capacitación continua	\$90,718	\$453,590	Actualización técnica, idiomas, certificaciones
TOTAL GASTOS OPERATIVOS	\$12,522,822	\$62,614,110	

Análisis de Eficiencia y Benchmarking

Comparativo internacional: El costo operativo por beneficiario directo asciende a \$49,116 MXN/UPP ($52.8\text{M} \div 1,075 \text{ UPPs}$), cifra 16 % inferior al promedio de proyectos similares del Banco Mundial en América Latina (\$58,500 MXN equivalente por beneficiario).

Ratio de eficiencia territorial:

- **Cobertura por técnico:** 179.2 UPP/técnico ($1,075 \text{ UPP} \div 6 \text{ técnicos}$)
- **Superficie por técnico:** 10,000 ha/técnico ($60,000 \text{ ha} \div 6 \text{ técnicos}$)
- **Municipios por técnico:** 17.7 municipios/técnico ($106 \text{ municipios} \div 6 \text{ técnicos}$)
- **Costo por hectárea intervenida:** \$880 MXN/ha/año ($52.8\text{M} \div 60,000 \text{ ha} \div 5 \text{ años}$)

Desglose por Componente Estratégico

Cuadro 32: Asignación de Gastos Operativos por Componente

Componente	% Asignación	Anual (MXN)	5 años (MXN)
Sistemas Silvopastoriles	35 %	\$3,696,000	\$18,480,000
Desarrollo Lechero	25 %	\$2,640,000	\$13,200,000
Centro Genético Tizimín	20 %	\$2,112,000	\$10,560,000
Certificación TBC	15 %	\$1,584,000	\$7,920,000
Erradicación GBG	5 %	\$528,000	\$2,640,000
TOTAL	100 %	\$10,560,000	\$52,800,000

Controles y Salvaguardas Financieras

Mecanismos de control:

1. **Presupuesto mensualizado:** \$600,000 MXN/mes con autorización previa Comité Técnico
2. **Comprobación documental:** 100 % facturas fiscales + evidencia fotográfica actividades
3. **Auditoría trimestral:** Revisión externa independiente vía FOFAY
4. **Bitácoras de campo:** Registro GPS de recorridos + firma productores visitados
5. **Rendición mensual:** Informes técnico-financieros con indicadores de gestión

Indicadores de eficiencia operativa:

- Costo por visita técnica: \$4,186 MXN (incluye traslado + viáticos + seguimiento)
- Productores atendidos/mes por técnico: 11-14 UPP (meta mínima ajustada)

- Kilómetros recorridos/año: 120,000 km totales (15,000 km/técnico)
- Eventos de capacitación: 2 talleres/mes/técnico (192 eventos/año)

Justificación del Monto Total

¿Por qué \$10.56 millones anuales (\$52.8M en 5 años)?

La operación de un macroproyecto de 1,075 UPP distribuidas en 106 municipios requiere:

- **Intensidad de supervisión:** Mínimo 8 visitas/UPP/año = 8,600 visitas totales
- **Distancias promedio:** 65 km entre UPP (geografía peninsular dispersa)
- **Tiempo de traslado:** 4.5 horas promedio/visita (ida + trabajo + regreso)
- **Complejidad técnica:** 5 componentes integrados requieren especialización
- **Exigencias regulatorias:** Protocolos SENASICA/APHIS demandan documentación exhaustiva

Valor agregado generado:

- **ROI operativo:** Cada peso invertido en gastos operativos genera \$12.83 en valor de producción adicional
- **Ahorro de costos:** Evita contratación consultorías externas (\$15-25M adicionales) + \$5.6M ahorro por optimización
- **Eficiencia territorial:** Cobertura simultánea de múltiples componentes + fusión administrativa reduce costos unitarios
- **Transferencia tecnológica:** Capacitación 2,000+ productores genera multiplicador 1:5

El monto optimizado de \$52.8M MXN en gastos operativos (ahorro de \$8.75M vs diseño original de 8 profesionales) representa una inversión técnicamente justificada, financieramente eficiente y operativamente indispensable para garantizar el éxito del macroproyecto más ambicioso en la historia del sector pecuario yucateco. La optimización del equipo técnico a 6 profesionales especializados demuestra eficiencia en el uso de recursos públicos sin comprometer la calidad de ejecución.