



Macroproyecto Estratégico Integrado:

Renacimiento Ganadero Maya

Integración de Cinco Componentes Estratégicos:

- Sistemas Silvopastoriles Intensivos
- Repoblamiento Ganadero Estratégico
- 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

1. Resumen Ejecutivo	3
2. Antecedentes y Justificación del Proyecto	4
2.1. Situación Actual de la Ganadería Yucateca	4
2.2. Alineación con Políticas Públicas y Presupuesto Federal	4
2.3. Marco Presupuestal Federal 2026 - Ganadería Sustentable	5
2.4. Focalización Territorial Basada en Análisis de Pareto	5
3. Inversiones Principales y Metas Físicas	6
3.1. Cuadro Ejecutivo de Inversiones Estratégicas	6
3.2. Paquete Tecnológico Silvopastoril (\$18,500 MXN/hectárea)	8
3.3. Impacto Económico y Ambiental de los Sistemas Silvopastoriles	9
3.4. Fundamentos Zootécnicos y Científicos	9
3.5. Esquema de Financiamiento Tripartito	10
4. Metas Físicas y Resultados Esperados	10
4.1. Sistemas Silvopastoriles Intensivos: Reconversión Territorial Estratégica	11
4.2. Repoblamiento Ganadero Estratégico	12
4.3. Desarrollo Lechero Tropical Sustentable	12
4.4. Componente 4: Planta de Producción de Mosca Estéril	13
4.4.1. Infraestructura Técnica Requerida	13
4.5. Componente 5: Certificación Sanitaria TBC + Seguimiento Digital . . .	14
4.6. Cronograma de Implementación 2026-2030	14
4.7. Presupuesto Detallado y Esquema Financiero	15
4.8. Beneficios Cuantificados y Retorno de Inversión	15
5. Marco Conceptual y Justificación Científica	16
5.1. Fundamentos de los Sistemas Silvopastoriles Intensivos	16
5.2. Paquete Tecnológico Silvopastoril (\$18,500 MXN/hectárea)	17

5.3. Metodología de Transferencia Tecnológica	17
5.4. Diagnóstico Basado en Datos Oficiales SIAP	17
5.5. Fundamentación Zootécnica	18
6. Componente 1: Sistemas Silvopastoriles Intensivos	18
6.1. Antecedentes y Diagnóstico de la Ganadería Extensiva Tradicional	18
6.1.1. Caracterización Técnica del Sistema Ganadero Actual	18
6.1.2. Dinámica Degradativa del Pastoreo Extensivo Tradicional	19
6.1.3. El Potencial Transformador de los Sistemas Silvopastoriles Intensivos	20
6.2. La Revolución Silvopastoril: Una Respuesta Integral	22
6.3. Objetivos de Transformación Territorial	22
6.4. Lecciones de Masificación SSPi: El Largo y Sinuoso Camino	23
6.5. Estrategia de Adopción: Escuelas de Campo Silvopastoriles	24
6.6. Biofábricas Prediales: Producción de Bioinsumos con Microorganismos Benéficos	24
6.7. Modelo Zootécnico Validado Científicamente	25
6.8. Presupuesto Componente 1	26
7. Componente 2: Desarrollo Lechero Tropical	26
7.1. Antecedentes y Problemática del Sector Lechero Yucateco	26
7.2. Estrategia Integral de Transformación Lechera	27
7.3. Objetivos Cuantificables y Metas de Impacto	27
7.4. Fundamentos Técnicos y Científicos	28
7.5. Presupuesto Componente 2	28
8. Componente 3: Centro de Mejoramiento Genético	29
8.1. Antecedentes e Histórico	29
8.2. Objetivos de Excelencia y Certificación Internacional	29
8.3. Red de Investigación y Colaboración Científica	29
8.4. Presupuesto Componente 3	30
9. Componente 4: Planta de Producción de Mosca Estéril	30
10. Componente 5: Certificación Sanitaria TBC + Seguimiento Digital	31
11. Cronograma GANTT Integrado 2026-2030	33
11.1. Diagrama de Flujo Temporal por Componentes	33
12. Cronograma Detallado por Trimestres	33
12.1. 2026 - Año de Fundamentación	33
12.2. 2027 - Año de Consolidación	34
12.3. 2028 - Año de Expansión y Certificación	34
12.4. 2029-2030 - Consolidación y Expansión	35
13. Presupuesto Consolidado del Macroproyecto	36

14. Indicadores de Impacto Cuantificables	36
14.1. Métricas Zootécnicas Verificables	36
14.2. Impacto Ambiental Medible	36
14.3. Impacto Socioeconómico	37
15. Validación Científica y Seguimiento	37
15.1. Convenios de Investigación Aplicada	37
15.2. Metodología de Evaluación	37
16. Marco Técnico y Tecnológico	37
16.1. Enfoque Zootécnico Integral	37
16.2. Tecnologías de Vanguardia Aplicadas	38
16.3. Aprovechamiento de Infraestructura Existente	38
17. Conclusiones	38
18. Cronograma de Ejecución Trimestral Detallado	39
19. Bibliografía Científica	40
Anexo: Verificación de Carga Animal	41
20. Estructura del Equipo Técnico Especializado	45
20.1. Justificación del Equipo Multidisciplinario	45
20.2. Estructura Organizacional y Costos	46
20.3. Mecanismo de Financiamiento vía FOFAY	46
Anexo I: Memoria de Cálculo - Gastos Operativos	47
Anexo II: Análisis de Pareto - Concentración Ganadera	51

1. Resumen Ejecutivo

El Desafío Crítico: La ganadería yucateca enfrenta una crisis sin precedentes. Los datos preliminares del barrido sanitario de la campaña de tuberculosis bovina y registros del SINIDA revelan un declive alarmante en la población de semovientes, confirmando la contracción severa de la actividad ganadera estatal. Con 605,536 cabezas bovinas oficiales distribuidas en sistemas extensivos degradados, el sector presenta productividades 60 % menores al potencial regional, emisiones de GEI crecientes, y vulnerabilidad climática extrema. El sector lechero muestra una preocupante reducción del 35.7% en la última década, mientras que datos preliminares del CNOG-SINIIGA (pendientes de confirmación oficial) sugieren una contracción adicional del inventario ganadero que 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 **\$814.9 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 cinco 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: Desarrollo Lechero Tropical** — Mejoramiento genético e infraestructura especializada
- **Componente 4: Planta de Mosca Estéril** — Laboratorio de cría masiva (250M moscas/semana) para erradicación GBG
- **Componente 5: Certificación Sanitaria TBC + Seguimiento Digital** — Protocolo T-MEC + plataforma CESO-APHIS

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)
- **Declive poblacional documentado:** Datos del barrido sanitario TBC y SINIDA confirmaron 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
- **Sector lechero en crisis:** Reducción 35.7 % en última década (5,220 → 3,356 cabezas)
- **Sistemas extensivos degradados:** 85 % pastizales con sobrepastoreo
- **Vulnerabilidad climática:** Sequías recurrentes y huracanes afectan 60 % superficie ganadera

Urgencia del repoblamiento: La convergencia de datos SIAP, barrido sanitario TBC, registros SINIDA y análisis preliminares CNOG-SINIIGA evidencia una contracción del inventario ganadero que requiere intervención inmediata mediante repoblamiento estratégico para evitar el colapso sectorial y garantizar la seguridad alimentaria estatal.

Oportunidad estratégica: La convergencia del T-MEC, programas federales de mitigación climática, y el Plan Estatal Renacimiento Maya crean una ventana de oportunidad única para 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 1: 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/Medianos 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 estatal**, 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 %), Izamal (2.5 %)
 - Superficie Pareto: 204,004 hectáreas
 - Característica: Diversificación complementaria, especialización lechera

Asignación presupuestaria basada en concentración Pareto:

Cuadro 2: Regionalización de Inversiones del Macroproyecto (\$814.9 MDP)

Región Ganadera	Concentración	Asignación	Monto (MDP)	Estrategia Principal
	Real	Eficiente		
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 %	\$814.9	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 % concentración) albergará la Planta de Mosca Estéril (\$300 MDP) y el Centro de Mejoramiento Genético refundado (\$42.1 MDP), optimizando costos logísticos y maximizando cobertura de servicios especializados hacia la región UGROY de mayor concentración ganadera.

3. Inversiones Principales y Metas Físicas

3.1. Cuadro Ejecutivo de Inversiones Estratégicas

INVERSIÓN TOTAL: \$814.9 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 3: Inversiones Principales por Componente Estratégico

Componente de Inversión	Monto (MDP)	%	UPP	Superficie/Capacidad
1. Sistemas Silvopastoriles	\$171.0	22.4 %	120	6,000 hectáreas
Reconversión SSPi (\$18,500/ha)	\$111.0			
Infraestructura ganadera	\$60.0			
2. Repoblamiento Ganadero	\$150.1	19.7 %	1,075	12,000 vaquillas F1
Vaquillas certificadas (\$18,000/cab)	\$108.0			
Centro Genético Tizimín	\$42.1			120K dosis/año
3. Desarrollo Lechero	\$89.5	11.7 %	75	+40 % producción
Infraestructura lechera	\$65.0			
Genética F1 lechera especializada	\$24.5			
4. Planta de Mosca Estéril	\$300.0	28.3 %	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
5. Certificación TBC + Digital	\$51.5	4.8 %	1,075	T-MEC + CESO-APHIS
Protocolo TBC (T-MEC)	\$34.7			Certificación binacional
Plataforma digital CESO	\$16.8			Seguimiento APHIS
TOTAL INVERSIONES PRODUCTIVAS	\$1,062.1	100 %	1,075	Multi-componente
<i>Gastos Operativos (5 años)</i>	\$52.8	4.7 %	–	Equipo técnico
GRAN TOTAL MACROPROYECTO	\$814.9	–	1,075	2026-2030

3.2. Paquete Tecnológico Silvopastoril (\$18,500 MXN/hectárea)

Cuadro 4: Desglose del Paquete Tecnológico SSPi

Componente Técnico	Unidad	Costo Unit.	Costo/ha
Establecimiento de Pastos Mejorados			
Semilla <i>Cynodon nemfuensis</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>	14 kg	\$800/kg	\$11,200
Inoculante Rhizobium + micorrizas	1 dosis	\$1,500/ha	\$1,500
Plantas nativas (<i>Brosimum, 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			\$18,500

Justificación técnica del paquete: El costo de \$18,500/ha representa una inversión integral validada por la Fundación Produce Michoacán A.C. (2010-2020) en sistemas intensivos de *Leucaena leucocephala*. Incluye densidades de 40,000-53,000 plantas/ha que han demostrado fijación de nitrógeno de 250-550 kg/ha/año, infraestructura de pastoreo racional, establecimiento de especies forrajeras de alta calidad, componente arbóreo funcional, e insumos biológicos que garantizan la sostenibilidad del sistema.

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

Cuadro 5: 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)
- **Colaboración UADY-TNC:** 5+ años investigación SSPi en condiciones tropicales
- **Parámetros zootécnicos validados:** Supervivencia 90 %, fertilidad 80 % (Brasil, Colombia)
- **Validación INIFAP:** Protocolos genética bovina y sanidad animal
- **Metodología EMBRAPA:** Transferencia tecnológica Brasil-México
- **Estándares APHIS-USDA:** Certificación sanitaria binacional

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), 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: \$814.9 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)
- **Estatal (30 %):** \$244.5 millones vía Convenios de Concertación y FOFAE
- **Productores (10 %):** \$81.5 millones en especie, mano de obra y mantenimiento

Mecanismo FOFAY: 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 (7 profesionales) generando \$5.6 millones de ahorro.

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)
- **Estatal (30 %):** \$138.63 millones con blindaje presupuestal Ley de Egresos 2026-2030
- **Productores (10 %):** \$46.21 millones mediante aportaciones organizadas

Total inversión productiva: \$1,062.1 millones + \$52.8 millones gastos de operación = **\$814.9 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 \$814.9 millones que integra cinco 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. 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)
- **Arreglo espacial:** Surcos 1.2-1.6 m entre hileras, 0.20-0.30 m entre plantas
- **Siembra directa:** 12-16 kg semilla/ha (18,000 semillas/kg, germinación 85 %)
- **Inoculación obligatoria:** Rhizobium específico + micorrizas arbusculares
- **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. Repoblamiento Ganadero Estratégico

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

Cronograma de introducciones:

- **2026:** Sin entregas (construcción infraestructura + establecimiento Leucaena)
- **2027:** 1,000 vaquillas (T3-T4) tras maduración Leucaena 6-9 meses
- **2028:** 3,000 vaquillas (1,000 T1 + 2,000 T3)
- **2029:** 6,000 vaquillas (3,000 T1 + 3,000 T3)
- **2030:** 2,000 vaquillas (T1) - completar 12,000 totales

Proyección del crecimiento poblacional:

Año	Vaquillas	Hectáreas	Hato	Nacimientos	Total
	Introducidas	SSPi	Acumulado	Anuales	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 6: 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. Desarrollo Lechero Tropical Sustentable

Meta de incremento productivo: +40 % producción láctea estatal mediante mejoramiento genético y sistemas silvopastoriles especializados.

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

4.4. Componente 4: Planta de Producción de Mosca Estéril

Objetivo: Erradicación del gusano barrenador del ganado (GBG) mediante Técnica del Insecto Estéril con capacidad de producción de 250 millones de moscas estériles por semana.

Infraestructura especializada requerida:

- **Laboratorio de Cría Masiva (\$120.0 MDP):** Edificio climatizado 2,500 m², 12 módulos de producción, dieta artificial automatizada
- **Planta de Irradiación Co-60 (\$90.0 MDP):** Fuente radiactiva 37 PBq, sistema automatizado, blindaje 2.1m concreto
- **Flota Aérea + Operación (\$90.0 MDP):** 4 aeronaves Cessna, sistema GPS precisión, liberaciones 3,000 moscas/km²
- **Certificación OIE:** Zona libre GBG reconocimiento internacional para exportación

4.4.1. Infraestructura Técnica Requerida

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

- **Instalaciones:** Edificio de 2,500 m² con áreas climatizadas ($25\pm2^{\circ}\text{C}$, $60\pm10\%$ 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

4.5. Componente 5: Certificación Sanitaria TBC + Seguimiento Digital

Objetivo dual: Certificación binacional tuberculosis bovina (T-MEC) + plataforma digital para seguimiento de acuerdos sanitarios APHIS-USDA.

Programas integrados:

- **Protocolo TBC (\$34.7 MDP):** Certificación 1,075 UPP bajo estándares APHIS-USDA para cumplimiento T-MEC
- **Plataforma Digital CESO (\$16.8 MDP):** Sistema web ceso-aphis-yuc.web.app para seguimiento de recomendaciones críticas
- **Trazabilidad SINIIGA:** 100
- **Mercado objetivo:** Doble certificación (TBC libre + GBG libre) habilita exportación \$150M+ USD/año

4.6. Cronograma de Implementación 2026-2030

Cuadro 7: 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 sistemáticas zona norte
- **T4-2030:** Evaluación zona libre + certificación OIE

4.7. Presupuesto Detallado y Esquema Financiero

Cuadro 8: Inversión Componente 4 - Mosca Estéril (Millones MXN)

Rubro	Total 2026-30	Federal (70 %)	Estatatal (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
- **Estatatal (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

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 (\$18,500 MXN/hectárea)

Componente	Unidad	Costo Unit.	Costo/ha
Establecimiento de Pastos			
Semilla <i>Cynodon nemfuensis</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 (<i>Brosimum</i> , <i>Inga</i>)	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			\$18,500

Cuadro 9: 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 europeas (alta producción) con razas tropicales (rusticidad) genera descendencia F1 Gyrolando con vigor híbrido documentado: incrementos del 15 % en producción láctea respecto a razas parentales.
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, un modelo heredado de décadas pasadas que ya no responde a las demandas actuales de sustentabilidad económica, social y ambiental. Este sistema tradicional, caracterizado por el uso de grandes extensiones de tierra con cargas animales mínimas, ha generado una serie de problemas interconectados que comprometen tanto la viabilidad económica de los productores como 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 10: 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 prevaleciente en Yucatán se caracteriza por ser **selectivo no supervisado**, donde 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:

- 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
- 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
- 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
- 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
- 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 lentes:** 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

En contraste radical con la dinámica degradativa del pastoreo extensivo tradicional, los **Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPi)** implementan **pastoreo racional voisin** (“Rational Grazing”) supervisado profesionalmente que actúa 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 enfoque de **manejo racional adaptativo** requiere capacitación especializada del productor y asistencia técnica continua, transformando el pastoreo en una **herramienta de precisión para la restauración ecológica**, donde cada decisión de movimiento del hato está fundamentada en observación directa, mediciones objetivas y criterios técnicos —no en 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-realistas** fundamentadas en la evidencia empírica de 20 años de masificación SSPi en Chiapas, que transformarán 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)
- **Re poblamiento genético estratégico:** Introducir 12,000 vaquillas F1 seleccionadas ($2 \text{ UA/ha} \times 6,000 \text{ ha}$) 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 fraccionan 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 currículum 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 Especies nativas forrajeras prioritarias (selección de 11 validadas)

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 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 N₂ 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/Buffel (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: \$283.6 MDP (2026-2030)

Concepto	Total (MDP)	Federal 60 %	Estatal 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	283.6	170.2	85.1	28.4

Cuadro 11: 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: Desarrollo Lechero Tropical

7.1. 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.

7.2. 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.

7.3. 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”).

7.4. 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

7.5. Presupuesto Componente 2

Inversión total: \$28.5 MDP (2026-2030)

Concepto	Total (MDP)	Federal 60 %	Estatal 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 2	28.5	17.1	8.55	2.85

Cuadro 12: 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).

8. Componente 3: Centro de Mejoramiento Genético

8.1. Antecedentes e Histórico

Diagnóstico:

- Dependencia externa: >70% material genético de centros extra-estatales
- Infraestructura existente: Centro Tizimín inaugurado nov 2023 (\$44 MDP inversión inicial)
- Limitación actual: Sin certificaciones OIE/ISO-17025, equipamiento básico
- Oportunidad: Infraestructura base instalada requiere optimización para certificación internacional

8.2. Objetivos de Excelencia y Certificación Internacional

- **Acreditación ISO/IEC 17025:2017 (Meta: 2027):** Certificación EMA (Entidad Mexicana de Acreditación) garantizando competencia técnica internacional en ensayos y calibraciones
- **Certificación OIE por SENASICA-CENAPA (Meta: 2028):** Habilitación para exportación de material genético a mercados internacionales exigentes
- **Capacidad productiva:** 120,000 dosis semen/año + 5,000 embriones certificados
- **Trazabilidad SINIIGA:** Sistema integral desde nacimiento hasta distribución

8.3. Red de Investigación y Colaboración Científica

Convenios estratégicos (en proceso de formalización):

- **FMVZ-UADY:** Dr. Juan Ku Vera (nutrición rumiantes tropicales, DEPs) + Dr. Javier Solorio (diseño agronómico SSPi, mitigación emisiones). Capacitación 80 técnicos, validación científica modelo SSPi, publicaciones conjuntas.
- **INIFAP Campo Experimental Mocochá:** Protocolos mejoramiento genético, pruebas de progenie, certificación ISO 17025 Centro Tizimín, validación sistemas lecheros tropicales.
- **APHIS-USDA:** Certificación TBC zona riesgo mínimo (requisito T-MEC), protocolos sanitarios exportación, capacitación 50 MVZ, auditorías rastros TIF.
- **SENASICA + OIEA-FAO:** Planta mosca estéril Tizimín (250M/semana, \$300 MDP), programa erradicación GBG con Técnica Insecto Estéril, certificación OIE zona libre 2030, cooperación técnica internacional, capacitación 25 especialistas en cría masiva e irradiación.

- **FIRA + Banca Comercial:** Línea crédito SSPi \$170 MDP (tasa preferencial 6-8 %, plazo 7 años), seguro paramétrico sequía/huracanes, fideicomiso garantías \$20 MDP.
- **UGRY + Asociaciones Ganaderas:** Cofinanciamiento productor 10 % (\$28.36 MDP), operación módulos demostrativos, comercialización colectiva ganado certificado.
- **Gobierno Yucatán (SEDER):** Aportación estatal 30 % (\$150.63 MDP), coordinación interinstitucional, facilitación regulatoria, blindaje presupuestal Ley de Egresos 2026-2030.

Calendario 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.

8.4. Presupuesto Componente 3

Inversión complementaria: \$150.0 MDP (2026-2030)

Aprovechamiento infraestructura existente: \$44 MDP (2023)

Cuadro 13: Distribución Presupuestaria - Componente 3

Rubro Estratégico	Total	Federal 60 %	Estatatal 30 %	Productores 10 %
Certificación OIE/ISO-17025	60.0	36.0	18.0	6.0
Equipamiento especializado	50.0	30.0	15.0	5.0
Capacitación internacional	20.0	12.0	6.0	2.0
Investigación aplicada	15.0	9.0	4.5	1.5
Operación quinquenal	5.0	3.0	1.5	0.5
TOTAL	150.0	90.0	45.0	15.0

9. Componente 4: Planta de Producción de Mosca Estéril

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.

10. Componente 5: Certificación Sanitaria TBC + Seguimiento Digital

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

Inversión: \$15 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 responsive 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.

11. Cronograma GANTT Integrado 2026-2030

11.1. 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 do-sis/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

12. Cronograma Detallado por Trimestres

12.1. 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)

12.2. 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)

12.3. 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

12.4. 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

13. Presupuesto Consolidado del Macroproyecto

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

Componente	Total (MDP)	Federal 60 %	Estatatal 30 %	Prod. 10 %	%
SSPi (120 UPP)	283.6	170.2	85.1	28.4	26.7 %
Centro Genético	150.0	90.0	45.0	15.0	14.1 %
Lechería (75 UPP)	28.5	17.1	8.6	2.9	2.7 %
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	866.4	519.9	259.9	86.6	100 %
<i>Estructura: 5 componentes integrados + gastos operativos</i>					

OBSERVACIÓN IMPORTANTE - AJUSTE CONSERVADOR:

- **SSPi:** Presupuesto ajustado a \$283.6M para meta REALISTA 6,000 ha (vs 50,000 ha original). Basado en evidencia empírica Chiapas: 1,078 ha/año promedio × 20 años. Meta Yucatán: 1,200 ha/año (11 % más ambicioso pero ALCANZABLE con continuidad institucional 10 años)
- **Lechero:** Presupuesto reducido de \$68.5M a \$28.5M aplicando misma filosofía “largo y sinuoso camino”. Meta: 75 UPP (15/año) con 750 vaquillas F1 + 1,125 ha praderas mejoradas. Ratio 1:15 técnico:productor validado en lechería tropical intensiva

14. Indicadores de Impacto Cuantificables

14.1. 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 %

14.2. 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

14.3. 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

15. Validación Científica y Seguimiento

15.1. 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

15.2. 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

16. Marco Técnico y Tecnológico

16.1. 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

16.2. 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

16.3. 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

17. 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.

18. 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		

19. Bibliografía Científica

1. FIRA (2018). Cargas animales en sistemas de pastoreo mejorado del trópico mexicano. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, México
2. SIAP (2023). Inventario ganadero Yucatán 2014-2023. SADER México

3. Padrón Ganadero Nacional (2025). Análisis de Pareto: Concentración Ganadera por Organizaciones Regionales - Yucatán
4. Embrapa Gado de Leite (2024). Sistemas silvopastoriles tropicales. Brasil
5. OIE (2024). Terrestrial Animal Health Code, Capítulo 4.9
6. ISO/IEC 17025:2017. Requisitos generales para laboratorios de ensayo y calibración
7. González-Rebeles, C. et al. (2023). Heterosis en cruzamientos Bos taurus x indicus. *Téc Pec Méx*
8. Montañez-Valdez, P. et al. (2024). Sistemas reproductivos tropicales. *FMVZ-UADY*
9. SENASICA (2024). Requisitos técnicos centros inseminación artificial México
10. FAO (2024). Buenas prácticas ganadería sostenible. Roma, Italia
11. INIFAP (2023). Manual técnico sistemas silvopastoriles México
12. Teague, W.R. et al. (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

Anexo: 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 17: 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 períodos 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
Becerros	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

1. **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.
2. **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.
3. **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/metas).

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*”.

20. Estructura del Equipo Técnico Especializado

20.1. Justificación del Equipo Multidisciplinario

Complejidad técnica del macroproyecto: La ejecución simultánea de cinco componentes estratégicos integrados requiere un equipo técnico especializado de 8 profesionales (1 jefe de programa + 7 técnicos de apoyo) para garantizar la coordinación efectiva entre sistemas silvopastoriles, repoblamiento ganadero, desarrollo lechero, certificación sanitaria y seguimiento digital:

- Supervisión de 1,075 unidades de producción distribuidas en 106 municipios
- Operación de 5 Escuelas de Campo Silvopastoriles con 125 productores
- Monitoreo de 120 biofábricas prediales con control de calidad
- Coordinación de investigación aplicada con 4 instituciones académicas
- Ejecución de presupuesto tripartito de \$814.9 millones con rendición de cuentas

20.2. Estructura Organizacional y Costos

Cuadro 18: Estructura de Financiamiento del Equipo Técnico vía FOFAY

Puesto Técnico	Cantidad	Costo Anual	Total 5 años
Jefe de Programa (Nivel NB01)	1	\$516,000	\$2,580,000
Zootecnistas SSPi	2	\$720,000	\$3,600,000
Ingenieros Agrónomos	2	\$720,000	\$3,600,000
MVZ Sanidad Animal	1	\$420,000	\$2,100,000
Especialista SIG/Carbono	1	\$480,000	\$2,400,000
Coord. Administrativo-Financiero	1	\$500,000	\$2,500,000
TOTAL NÓMINA	8	\$3,356,000	\$16,780,000
Gastos operativos (viáticos, vehículos, equipos)	–	\$7,200,000	\$36,000,000
TOTAL GASTOS DE OPERACIÓN	–	\$10,556,000	\$52,780,000

20.3. Mecanismo de Financiamiento vía FOFAY

Precedente legal exitoso: El Fideicomiso “Fondo de Fomento Agropecuario de Yucatán” (FOFAY) operó exitosamente durante la “Alianza para el Campo”, canalizando recursos federales-estatales para gastos de operación de equipos técnicos especializados en programas pecuarios.

Ventajas operativas del FOFAY:

- Flexibilidad administrativa para contratación de personal técnico especializado
- Agilidad en pagos de viáticos, combustible y equipos de campo
- Rendición de cuentas dual (federal y estatal) con transparencia
- Blindaje presupuestal contra cambios de administración

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

Justificación Técnica de los \$58.4 Millones MXN (2026-2030)

Marco conceptual: Los gastos operativos del equipo técnico optimizado ($\$7.2\text{M MXN}$ anuales \times 5 años = $\$36.0\text{M MXN}$ nómina + $\$16.8\text{M MXN}$ salarios = $\$52.8\text{M MXN}$ total) representan el 6.5 % del presupuesto total del macroproyecto ($\$814.9\text{M MXN}$), 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.

Desglose Detallado por Categorías de Gasto

Cuadro 19: Memoria de Cálculo Anual - Gastos Operativos por Categoría

Categoría de Gasto	Anual (MXN)	5 años	Justificación Técnica
1. Movilidad y Logística	\$2,880,000	\$14,400,000	
Combustible (8 vehículos)	\$1,440,000	\$7,200,000	8 vehículos × 15,000 km/año × \$12/km promedio
Mantenimiento vehicular	\$480,000	\$2,400,000	8 vehículos × \$5,000/mes mantenimiento preventivo
Seguros y tenencias	\$160,000	\$800,000	8 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	\$1,920,000	\$9,600,000	
Viáticos personal técnico	\$1,280,000	\$6,400,000	8 técnicos × 120 días campo/año × \$1,333/día
Hospedaje giras técnicas	\$540,000	\$2,700,000	180 giras/año × \$3,000/gira promedio (2 noches)
Alimentación campo	\$180,000	\$900,000	Complemento alimentación durante supervisión prolongada
3. Equipamiento Técnico	\$1,620,000	\$8,100,000	
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 menores	\$180,000	\$900,000	Machetes, palas, alambres, postes para demostraciones
Insumos laboratorio móvil	\$360,000	\$1,800,000	Reactivos, material muestreo, conservadores para análisis
4. Comunicaciones	\$480,000	\$2,400,000	
Telefonía celular	\$192,000	\$960,000	8 líneas × \$2,000/mes (plan empresarial datos)
Internet satelital rural	\$180,000	\$900,000	3 puntos remotos × \$5,000/mes (zonas sin cobertura)
Radiocomunicación	\$108,000	\$540,000	8 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
TOTAL GASTOS OPERATIVOS	\$7,200,000	\$36,000,000	

Análisis de Eficiencia y Benchmarking

Comparativo internacional: El costo operativo por beneficiario directo asciende a \$33,488 MXN/UPP ($36.0M \div 1,075$ UPPs), cifra 43% 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:** 134.4 UPP/técnico ($1,075$ UPP \div 8 técnicos)
- **Superficie por técnico:** 7,500 ha/técnico ($60,000$ ha \div 8 técnicos)
- **Municipios por técnico:** 13.3 municipios/técnico (106 municipios \div 8 técnicos)
- **Costo por hectárea intervenida:** \$600 MXN/ha/año ($36.0M \div 60,000$ ha \div 5 años)

Desglose por Componente Estratégico

Cuadro 20: Asignación de Gastos Operativos por Componente

Componente	% Asignación	Anual (MXN)	5 años (MXN)
Sistemas Silvopastoriles	35 %	\$2,856,000	\$14,280,000
Desarrollo Lechero	25 %	\$2,040,000	\$10,200,000
Centro Genético Tizimín	20 %	\$1,632,000	\$8,160,000
Certificación TBC	15 %	\$1,224,000	\$6,120,000
Erradicación GBG	5 %	\$408,000	\$2,040,000
TOTAL	100 %	\$8,160,000	\$40,800,000

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 (\$7.2M gastos operativos + \$3.36M nóminal)?

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 \$5.6M vs diseño original) 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 fusión del puesto administrativo-financiero demuestra eficiencia en el uso de recursos públicos sin comprometer la calidad de ejecución.

Anexo II: Análisis de Pareto - Concentración Ganadera por Organizaciones Regionales

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: Incluye el resto de municipios del estado, concentrados principalmente en la región centro y sur, incluyendo Tekax, Tzucacab, Peto, Izamal, Maxcanú, Sotuta, entre otros.

Análisis de Concentración: Aplicación del Principio de Pareto

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 21: Municipios Prioritarios Según Concentración Ganadera y Organización Regional

Rank	Municipio	Org.	Sup. (ha)	UPP	Vientres	Vaq.	% Acum.
1	Tizimín	UGROY	260,595	2,183	89,394	8,903	35.2 %
2	Panabá	UGROY	100,026	539	23,902	2,883	48.1 %
3	Tekax	UGRY	78,245	343	7,019	896	54.3 %
4	Buctzotz	UGROY	74,793	492	15,855	2,049	59.6 %
5	Dzilam González	UGROY	55,102	248	6,569	760	63.5 %
6	Tzucacab	UGRY	50,688	411	7,910	1,383	67.0 %
7	Cenotillo	UGROY	43,279	294	8,127	1,000	70.0 %
8	Peto	UGRY	41,168	212	5,151	773	72.8 %
9	Sucilá	UGROY	39,712	276	7,840	982	75.6 %
10	Izamal	UGRY	33,903	319	4,275	607	78.0 %
11	San Felipe	UGROY	33,203	144	5,841	676	80.3 %
TOTAL 11 MUNICIPIOS		Mix	810,713	5,241	188,512	20,541	80.3 %

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

Implicaciones para Coordinación Institucional (Principio de Pareto)

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

Cuadro 22: 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 %	\$814.9	Macroproyecto Integral

Indicadores de Concentración: Principio de Pareto Validado

Cuadro 23: 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

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.