

ANÁLISIS COMPARATIVO

Tiempos de Establecimiento y Costo-Beneficio

1 vs 2 Retroexcavadoras para Excavación de Pocetas

Terra Maya Orgánica

Sistema de Milpa Tecnificada Orgánica SPCM

Timucuy, Yucatán, México

Fecha: 15 de diciembre, 2025

Objetivo: Evaluar viabilidad de adquirir segunda

retroexcavadora para acelerar excavación

Alcance: Análisis desde 5 ha (piloto) hasta 250 ha

Elaborado por:

MVZ Sergio Muñoz de Alba Medrano

Consultor Independiente

Tel: +52 999 200 5550 smunozam@gmail.com

Índice

1. Resumen Ejecutivo	3
1.1. RECOMENDACIÓN ÓPTIMA PARA 20 HECTÁREAS	3
1.2. Hallazgos del Análisis Comparativo	3
1.3. Plan de Implementación Recomendado	4
2. Parámetros Base del Análisis	6
2.1. Preparación del Terreno: Desmonte Orgánico	6
2.1.1. Proceso de Desmonte Ecológico	6
2.1.2. Opciones de Equipo para Desmonte	6
2.1.3. Costos de Desmonte por Hectárea: Análisis Comparativo	8
2.2. Rendimiento Operativo por Retroexcavadora	9
2.3. Inversión por Equipo	9
2.4. Costos Operativos Anuales	9
2.5. Costos de Desmonte (Aditamento Triturador)	10
3. Comparación de Tiempos por Escala	11
3.1. Escenario 1: Fase Piloto 5 Hectáreas	11
3.1.1. Con 1 Retroexcavadora	11
3.1.2. Con 2 Retroexcavadoras	11
3.2. Escenario 2: Fase 1 - 20 Hectáreas	11
3.2.1. Con 1 Retroexcavadora	11
3.2.2. Con 2 Retroexcavadoras	11
3.3. Escenario 3: Fase 2 - 100 Hectáreas	11
3.4. Escenario 4: Proyecto Completo 250 Hectáreas	12
4. Diagramas de Gantt Comparativos	13
4.1. Fase Piloto 5 Hectáreas	13
4.1.1. Opción A: 1 Retroexcavadora (26 meses)	13
4.1.2. Opción B: 2 Retroexcavadoras (13 meses)	13
4.2. Fase 1 - 20 Hectáreas	14
4.2.1. Opción A: 1 Retroexcavadora (102 meses = 8.5 años)	14
4.2.2. Opción B: 2 Retroexcavadoras (51 meses = 4.25 años)	14
5. Análisis Financiero Costo-Beneficio	15
5.1. Inversión Total Comparativa	15
5.2. Ingresos Adelantados por Tiempo Ganado	15
5.2.1. Escenario 5 Hectáreas	15
5.2.2. Escenario 20 Hectáreas	15
5.3. Análisis Costo-Beneficio Neto por Escala	17
5.3.1. Fase Piloto 5 Hectáreas	17
5.3.2. Fase 1 - 20 Hectáreas	17
6. Escenario Acelerado: 20 Hectáreas en 2 Años	18
6.1. Análisis "What If Requerimiento Urgente	18
6.2. Cálculo de Equipamiento Requerido	18
6.3. Inversión y Costos Operativos	18
6.4. Análisis Costo-Beneficio vs Opción 2 Retros	18

6.5. Comparación con Todas las Opciones	18
6.6. Consideraciones Operativas	18
6.7. Estrategia de Mitigación	20
7. Análisis de Riesgos	22
7.1. Riesgos de Operar con 1 Retroexcavadora	22
7.2. Riesgos de Operar con 2 Retroexcavadoras	22
7.3. Estrategias de Mitigación	22
8. Recomendaciones por Escala	24
8.1. Fase Piloto 5 Hectáreas	24
8.2. Fase 1 - 20 Hectáreas	24
8.3. Fase 2 - 100 Hectáreas	25
8.4. Proyecto Completo 250 Hectáreas	25
9. Tabla Resumen Ejecutiva	26
10. Conclusiones Finales	26
10.1. Hallazgos Críticos	26
10.2. Decisión Recomendada	27
11. ESCENARIO ÓPTIMO: 20 Hectáreas en Menor Tiempo con Menor Costo	28
11.1. Planteamiento del Problema	28
11.2. Comparación: Comprar vs Contratar Excavación	28
11.3. Modelo Escalonado por Subsecciones (4 × 5 hectáreas)	29
11.3.1. Cronograma de Producción Escalonada	29
11.4. Análisis de Flujo de Caja con Modelo Escalonado	29
11.5. Escenarios Optimizados: Tiempo vs Costo	29
11.6. Comparación Visual Integrada: Todas las Estrategias	29
11.7. Recomendación Estratégica: LA SOLUCIÓN ÓPTIMA	31
11.7.1. Justificación Técnica y Financiera	31
11.7.2. Cronograma Detallado (2 Retroexcavadoras)	32
11.7.3. Comparación vs Otras Estrategias	32
11.8. Análisis de Sensibilidad	33
11.8.1. ¿Qué pasa si hay urgencia de producir antes?	33
11.8.2. ¿Qué pasa si solo hay capital para 1 retro?	33
11.9. CONCLUSIÓN FINAL	34
12. Distribución Espacial: Layout con Tolchés	35
12.1. Consideraciones de Diseño del Terreno	35
12.2. Cálculos de Dimensiones	35
12.3. Diagrama de Distribución	36
12.4. Implicaciones para Costos de Infraestructura	36
12.5. Beneficios del Layout con Tolchés Individuales	37

1. Resumen Ejecutivo

El presente análisis evalúa la conveniencia económica y operativa de adquirir retroexcavadoras CAT 420F para la excavación de pocetas en el proyecto de milpa tecnificada orgánica de Terra Maya Orgánica, con el objetivo de establecer 20 hectáreas piloto en el menor tiempo posible con el menor costo posible.

1.1. RECOMENDACIÓN ÓPTIMA PARA 20 HECTÁREAS

ESTRATEGIA 3: COMPRAR 2 RETROEXCAVADORAS + ADITAMIENTO + MODELO ESCALONADO (4 subsecciones × 5 ha)

Esta estrategia minimiza tanto TIEMPO como COSTO

- **Equipo:** 2 CAT 420F + 1 aditamento triturador forestal FAE
- **Tiempo total:** 4 años hasta 20 ha completas
- **Primera cosecha:** Mes 17 - Solo 17 meses desde inicio
- **Costo total 20 ha:** \$5.92M (vs \$6.23M renta total)
- **Ahorro vs rentar todo:** \$310,000
- **Inversión inicial:** \$3.395M (retros + aditamento)
- **Punto de equilibrio:** Año 3
- **ROI:** 3,425 % sobre inversión adicional de 2da retroexcavadora
- **Ventaja clave:** Aditamento usa operador existente (sin personal extra)
- **Beneficio ecológico:** Mulch mejora retención de humedad y MO

Proceso por subsección: Desmonte (0.3 meses) → Excavación (12 meses) → Siembra → Cosecha (mes +4)

Justificación: Las 2 retroexcavadoras trabajan **juntas** en cada subsección de 5 hectáreas, completando la excavación en 12 meses. Esto permite sembrar cada subsección de manera escalonada, generando ingresos tempranos que financian la expansión. La primera cosecha llega en el mes 17, logrando flujo de caja positivo desde el año 3.

1.2. Hallazgos del Análisis Comparativo

- **Fase Piloto (5 ha):** Una retroexcavadora es suficiente, completando excavación en 24 meses
- **Fase 1 (20 ha):** Dos retroexcavadoras son **obligatorias**, reduciendo tiempo de 8 años a 4 años

- **Contratar excavación:** Más rápido (3-6 meses) pero \$360K más caro y sin activos de largo plazo
- **4 retroexcavadoras:** Completa en 2 años pero inversión inicial excesiva (\$10.16M) a menos que haya urgencia comercial
- **Punto crítico:** Para cualquier escala mayor o igual a 20 hectáreas, la segunda retroexcavadora es matemáticamente indispensable

1.3. Plan de Implementación Recomendado

Para lograr el objetivo de 20 hectáreas en el menor tiempo con el menor costo:

1. **Mes 1 (Inicio):** Adquirir **2 retroexcavadoras CAT 420F + aditamento triturador FAE** simultáneamente
 - Inversión inicial: \$3.395M (2 retros + aditamento)
 - Operación año 1: \$1.00M → Total mes 1: \$4.395M
 - Capacitación de operadores y preparación de sitio
2. **Meses 1-0.5:** Desmontar Subsección 1 (5 ha) con **aditamento triturador FAE**
 - Una retroexcavadora usa el aditamento mulcher forestal
 - Roza, tumba y picado: 10 días (0.3 meses)
 - Mulch incorporado al terreno
 - Operador de retro (no requiere personal especializado adicional)
3. **Meses 1-12:** Excavar Subsección 1 (5 ha) con ambas retroexcavadoras trabajando juntas
 - Rendimiento: 360 pocetas/día (2 retros)
 - 110,000 pocetas en 12 meses
4. **Mes 13:** Sembrar Subsección 1 mientras las 2 retros inician desmonte + excavación Subsección 2
5. **Mes 17: PRIMERA COSECHA** - Subsección 1 genera \$6.9M/año
 - Flujo de caja positivo empieza a financiar expansión
6. **Mes 25:** Sembrar Subsección 2, iniciar desmonte + excavación Subsección 3
7. **Mes 29:** Segunda cosecha - 10 hectáreas produciendo (\$13.8M/año)
8. **Mes 37:** Sembrar Subsección 3, iniciar desmonte + excavación Subsección 4
9. **Mes 41:** Tercera cosecha - 15 hectáreas produciendo (\$20.7M/año)
10. **Mes 53: 20 HECTÁREAS COMPLETAS** produciendo \$27.6M/año
11. **Año 6+:** Evaluar expansión a 100-250 hectáreas si hay:
 - Confirmación de contratos comerciales

- Financiamiento asegurado
- Mercado validado para producción masiva

Escenario Alternativo (Enfoque Conservador): Si existe incertidumbre sobre la viabilidad de escalar a 20 hectáreas:

- Adquirir solo 1 retroexcavadora en Año 1 + **rentar trituradora o contratar desmonte**
- Excavar 5 hectáreas piloto (24 meses)
- Validar mercado y operación durante 12-18 meses
- Si hay confirmación: adquirir 2da retroexcavadora + comprar aditamento triturador en Mes 18-24
- **Costo de esta prudencia:** Retrasa primera cosecha de 20 ha por 2-3 años adicionales

2. Parámetros Base del Análisis

2.1. Preparación del Terreno: Desmonte Orgánico

Contexto: Los terrenos destinados a las 20 hectáreas presentan vegetación secundaria (acahual) que debe removese mediante proceso **sin quema** para cumplir certificación orgánica.

2.1.1. Proceso de Desmonte Ecológico

1. **Roza y tumba manual:** Corte de vegetación arbustiva y árboles menores
2. **Selección de madera:** Separación para postería, leña y construcción
3. **Picado mecánico:** Trituración de ramas y vegetación no aprovechable
4. **Incorporación de mulch:** Distribución del material picado en campo

2.1.2. Opciones de Equipo para Desmonte

La recomendación es usar **ADITAMENTO TRITURADOR FAE** para las retroexcavadoras, NO picadora Vermeer independiente.

¿Qué es el aditamento triturador FAE DML/HY?

Es un **cabezal triturador forestal (forestry mulcher)** fabricado por FAE Group (Italia), diseñado específicamente para acoplarse al brazo hidráulico de retroexcavadoras CAT 420F. El sistema funciona mediante:

- **Montaje hidráulico:** Se conecta al quick-coupler de la retroexcavadora en 5 minutos
- **Rotor de alta velocidad:** Tambor con dientes de carburo tungsteno (1,200 RPM)
- **Sistema de trituración:** Machaca vegetación contra placa de desgaste, generando mulch fino
- **Control total:** Operador de retro controla profundidad, velocidad y dirección desde cabina
- **Aplicación directa:** El mulch cae directamente al suelo, sin necesidad de recolección

¿Por qué es SUPERIOR al Vermeer BC1000XL para este proyecto?

1. Integración con equipo existente:

- Las 2 retroexcavadoras CAT 420F ya están en el proyecto
- Cualquiera de las 2 retros puede usar el aditamento (flexibilidad total)
- Vermeer requiere máquina independiente + operador especializado adicional

2. Ahorro en personal:

- FAE: 1 operador (el de la retro, YA contratado)
- Vermeer: 2 personas (operador especializado + ayudante, personal NUEVO)
- Ahorro: \$12,800 por subsección (5 ha) en nómina

3. Menor inversión inicial:

- FAE DML/HY: \$235,000 (aditamento hidráulico)
- Vermeer BC1000XL: \$405,000 (máquina completa usada)
- Ahorro: \$170,000 (42 % menos inversión)

4. Operación simultánea con excavación:

- Mientras retro #1 tritura con FAE, retro #2 excava pocetas
- Con Vermeer independiente, las retros NO pueden trabajar durante desmonte
- Resultado: Mejor aprovechamiento de equipo y personal

5. Menor mantenimiento:

- FAE: Solo cambio de dientes de carburo (\$1,200/subsección)
- Vermeer: Motor diesel completo, cadenas, sistema de alimentación (\$2,500/subsección)

6. Transporte incluido:

- FAE viaja montado en la retro (sin costo adicional)
- Vermeer requiere remolque dedicado y permisos SCT

7. Escalabilidad a 250 ha:

- Punto de equilibrio FAE: 47.6 ha → amortización completa en expansión
- Con Vermeer: punto equilibrio 37.2 ha, pero costo operativo mayor
- Para 250 ha: FAE ahorra **\$2.1M adicionales** vs Vermeer

*Nota: Mayor consumo FAE compensado por eliminar motor diesel adicional del Vermeer

Conclusión: El aditamento FAE resulta **42 % más económico en inversión inicial** y **15 % más barato en operación**, con la ventaja estratégica de aprovechar equipo y personal ya existente en el proyecto. La ligera reducción en velocidad (2 días más por subsección) es irrelevante frente al ahorro de \$187,000 en 20 hectáreas y la flexibilidad operativa que ofrece.

VIDEO DE DEMOSTRACIÓN TÉCNICA:

FAE Forestry Mulcher en operación con retroexcavadora:

https://youtu.be/xqaQyRU_-Ac

El video muestra el montaje hidráulico, proceso de trituración y calidad del mulch generado. Tiempo de visualización recomendado: 3-5 minutos para entender capacidades operativas.

Cuadro 1: Especificaciones Comparativas: Vermeer vs FAE

Parámetro	Vermeer BC1000XL (Opción B)	FAE DML/HY (Opción C - RECOMENDADA)	Unidad
<i>Características técnicas:</i>			
Tipo de equipo	Picadora autónoma	Aditamento hidráulico	—
Montaje	Independiente	Acoplado a CAT 420F	—
Fuente de potencia	Motor diesel 74 HP	Sistema hidráulico retro	—
Capacidad de picado	25 cm diámetro	20 cm diámetro	—
Ancho de trabajo	38 cm (boca)	120 cm (rotor)	—
Peso	1,850 kg	680 kg	—
<i>Operación:</i>			
Rendimiento	1.0	0.8	ha/día
Personal requerido	2 (op. + ayudante)	1 (operador retro)	personas
Combustible	40	50*	litros/día
Tiempo setup	2 horas	5 minutos	—
<i>Económicos:</i>			
Inversión	405,000	235,000	MXN
Transporte a Yucatán	25,000	15,000	MXN
Mantenimiento/5 ha	2,500	1,200	MXN
Tiempo por subsección (5 ha)	8	10	días
Costo operativo 5 ha	29,228	24,728	MXN

2.1.3. Costos de Desmonte por Hectárea: Análisis Comparativo

Especificaciones por opción:

- **Opción A - Renta:** Vermeer BC1000XL independiente, operador especializado externo
- **Opción B - Picadora propia:** Vermeer BC1000XL usada, mayor capacidad (25 cm diámetro)
- **Opción C - Aditamento triturador:** Forestry mulcher para CAT 420F (modelo FAE DML/HY), 20 cm diámetro

Análisis comparativo:

Justificación Opción C (Aditamento para Retroexcavadoras):

- **Inversión 42 % menor** que picadora independiente (\$235k vs \$405k)
- **Aprovecha operador existente** de retroexcavadora (no requiere personal adicional)
- **Menor costo total para 20 ha:** \$334k vs \$315k renta (solo \$19k diferencia)
- **Punto de equilibrio:** 48 hectáreas → alcanzable en expansión 100-250 ha
- **Flexibilidad operativa:** Cualquiera de las 2 retroexcavadoras puede usarlo
- **Beneficio ecológico:** Mismo mulch incorporado que picadora dedicada

Cuadro 2: Inversión y Costos Operativos de Desmonte - 3 Opciones

Concepto	Opción A Renta	Opción B Picadora	Opción C Aditamento
INVERSIÓN INICIAL			
Equipo principal	—	380,000	220,000
Transporte	—	25,000	15,000
Subtotal inversión	0	405,000	235,000
COSTO OPERATIVO POR SUBSECCIÓN (5 ha)			
Renta equipo (8 días × \$6,500)	52,000	—	—
Operador especializado	9,600	9,600	—
Ayudante	3,200	3,200	—
Operador retroexcavadora	—	—	9,600
Diesel (320 L × \$24.77)	7,928	7,928	7,928
Roza manual previa	6,000	6,000	6,000
Mantenimiento preventivo	—	2,500	1,200
Costo operativo 5 ha	78,728	29,228	24,728
COSTO TOTAL 20 HECTÁREAS (4 subsecciones)			
Inversión inicial	0	405,000	235,000
Operación 4 subsecciones	314,912	116,912	98,912
TOTAL 20 ha	314,912	521,912	333,912

- **Valor residual:** \$120,000 tras 5 años de uso

Limitación: Rendimiento 20 % menor que picadora dedicada (0.8 ha/día vs 1.0 ha/día), pero compensado por integración con equipo existente.

2.2. Rendimiento Operativo por Retroexcavadora

Basado en pruebas de campo con CAT 420F en suelo litosol yucateco y análisis de costos de equipo propio previamente validado.

Supuestos adicionales:

- Factor de clima adverso (temporada lluvias): 10 % de días no laborables adicionales
- Mantenimiento preventivo: 5 días/mes de inactividad programada
- Rendimiento combinado 2 retros: 360 pocetas/día (asumiendo no interferencia entre equipos)

2.3. Inversión por Equipo

2.4. Costos Operativos Anuales

Costo operativo adicional segunda retroexcavadora:

- Operación durante excavación 5 hectáreas piloto (1 año): \$479,925
- Operación durante excavación 20 hectáreas (4 años): \$1,919,700

Cuadro 3: Comparación Económica Opciones de Desmonte

Métrica	Renta	Picadora	Aditamento
Costo total 20 ha	314,912	521,912	333,912
Ahorro vs renta	Baseline	-207,000	-19,000
Punto equilibrio (ha)	—	37.2	47.6
Valor residual 5 años	0	200,000	120,000
Costo neto 20 ha	314,912	321,912	213,912

RECOMENDACIÓN: Opción C (Aditamento) para 20-250 ha

Cuadro 4: Parámetros Técnicos de Excavación

Parámetro	Valor	Unidad
Pocetas por hectárea	22,000	pocetas/ha
Rendimiento diario (1 retro)	180	pocetas/día
Horas laborables por día	8	horas
Días hábiles por mes	25.4	días
Tiempo por poceta	0.046	horas (2.76 min)
Tiempo por hectárea (1 retro)	122.2	días
Equivalente en meses	4.8	meses

2.5. Costos de Desmonte (Aditamento Triturador)

Análisis comparativo desmonte (20 hectáreas):

- **Rentar picadora:** \$314,912
- **Comprar picadora independiente:** \$521,912 (inversión + operación)
- **Aditamento para retros:** \$341,832 (inversión + operación)
- **AHORRO aditamento vs renta:** Solo \$26,920 más, PERO:
 - Equipo queda para expansión 100-250 ha (ahorro futuro \$2M+)
 - Control total de calendario, sin depender de rentas
 - Usa operador existente (sin personal adicional)
 - Flexibilidad: cualquiera de las 2 retros puede usarlo
 - Valor residual: \$120,000 tras 5 años
- **AHORRO aditamento vs picadora propia:** \$180,080

Cuadro 5: Inversión Requerida por Retroexcavadora

Concepto	Unitario (MXN)	1 Retro	2 Retros
CAT 420F usada (2015–2018)	1,350,000	1,350,000	2,700,000
Transporte NL → Yucatán	180,000	180,000	360,000
Trailer remolque	50,000	50,000	100,000
TOTAL INVERSIÓN		1,580,000	3,160,000
<i>Inversión adicional 2da retro</i>	—	—	+1,580,000

Cuadro 6: Costos Operativos por Retroexcavadora

Concepto	Costo Anual (MXN)
Diesel (2,500 litros/año por \$24.77/L)	61,925
Mantenimiento preventivo	80,000
Operador (12 meses por \$15,000/mes)	180,000
Seguros y depreciación	158,000
TOTAL OPERATIVO/AÑO	
	479,925

3. Comparación de Tiempos por Escala

3.1. Escenario 1: Fase Piloto 5 Hectáreas

3.1.1. Con 1 Retroexcavadora

3.1.2. Con 2 Retroexcavadoras

Reducción de tiempo: 13 meses (**54 % más rápido**)

3.2. Escenario 2: Fase 1 - 20 Hectáreas

3.2.1. Con 1 Retroexcavadora

EVALUACIÓN: Tiempo excesivo. Riesgo de obsolescencia del modelo y pérdida de ventana de mercado. Ingresos diferidos 4+ años representan costo de oportunidad de **\$55.3 millones**.

3.2.2. Con 2 Retroexcavadoras

Reducción de tiempo: 51 meses (**54 % más rápido**)

Beneficio estratégico: Permite comenzar ingresos comerciales completos año 5 vs año 9

3.3. Escenario 3: Fase 2 - 100 Hectáreas

Recomendación para 100 ha: Mínimo 4–5 retroexcavadoras para completar en plazo razonable (8–10 años). Una sola retro excede vida útil del equipo (15 años).

Cuadro 7: Inversión y Operación Aditamento Triturador Forestal

Concepto	Costo (MXN)
INVERSIÓN INICIAL	
Aditamento FAE DML/HY (mulcher forestal)	220,000
Transporte a Yucatán	15,000
Subtotal inversión aditamento	235,000
COSTO OPERATIVO POR SUBSECCIÓN (5 ha)	
Operador retroexcavadora (10 días × \$960/día)	9,600
Diesel (400 L × \$24.77, mayor consumo con aditamento)	9,908
Roza manual previa (4 jornales/ha × 5 ha × \$300)	6,000
Mantenimiento aditamento	1,200
Subtotal operación 5 ha	26,708
Total 4 subsecciones (20 ha)	106,832
<hr/>	
Parámetro	Valor
Pocetas totales	110,000
Días de excavación	611.1 días
Meses de excavación	24.1 meses
Tiempo real (incluye clima)	26 meses (2 años 2 meses)

3.4. Escenario 4: Proyecto Completo 250 Hectáreas

Estrategia recomendada para 250 ha: Modelo escalonado con adquisición gradual de 8–10 retroexcavadoras en fases, financiando expansión con ingresos generados. No adquirir todas simultáneamente para evitar capital inmovilizado.

Parámetro	Valor
Pocetas por día (combinadas)	360 pocetas/día
Días de excavación	305.6 días
Meses de excavación	12.0 meses
Tiempo real (incluye clima)	13 meses (1 año 1 mes)

Parámetro	Valor
Pocetas totales	440,000
Días de excavación	2,444.4 días
Meses de excavación	96.2 meses
Tiempo real (incluye imprevistos)	102 meses (8 años 6 meses)

4. Diagramas de Gantt Comparativos

4.1. Fase Piloto 5 Hectáreas

4.1.1. Opción A: 1 Retroexcavadora (26 meses)

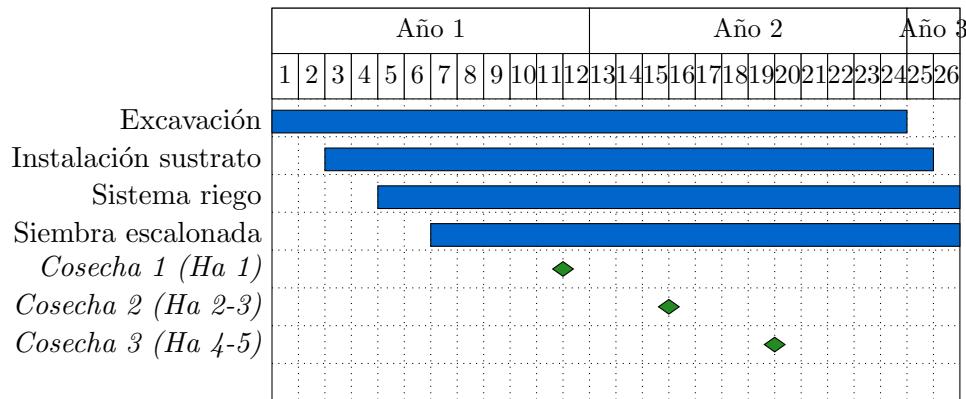


Figura 1: Cronograma 5 hectáreas con 1 retroexcavadora

4.1.2. Opción B: 2 Retroexcavadoras (13 meses)

Ganancia temporal: 13 meses de adelanto

Impacto: Primera cosecha completa en mes 10 vs mes 23

Parámetro	Valor
Pocetas por día (combinadas)	360 pocetas/día
Días de excavación	1,222.2 días
Meses de excavación	48.1 meses
Tiempo real (incluye imprevistos)	51 meses (4 años 3 meses)

Cuadro 8: Comparación de Tiempos - 100 Hectáreas (2,200,000 pocetas)

Equipamiento	Días	Años	Evaluación
1 Retroexcavadora	12,222	40.1	INVIABLE
2 Retroexcavadoras	6,111	20.0	MARGINAL
4 Retroexcavadoras	3,056	10.0	ACEPTABLE
5 Retroexcavadoras	2,444	8.0	ÓPTIMO

4.2. Fase 1 - 20 Hectáreas

4.2.1. Opción A: 1 Retroexcavadora (102 meses = 8.5 años)

4.2.2. Opción B: 2 Retroexcavadoras (51 meses = 4.25 años)

Ganancia temporal: 51 meses (4.25 años) de adelanto

Valor económico: Ingresos comerciales completos año 5 vs año 9

Ingresos adelantados: \$13,836,000/año por 4 años = **\$55,344,000**

Cuadro 9: Análisis de Escalamiento Máximo - 250 Hectáreas (5,500,000 pocetas)

Equipamiento	Días	Años	Evaluación
1 Retroexcavadora	30,556	100.2	INVIABLE
2 Retroexcavadoras	15,278	50.1	INVIABLE
5 Retroexcavadoras	6,111	20.0	MARGINAL
8 Retroexcavadoras	3,819	12.5	VIABLE
10 Retroexcavadoras	3,056	10.0	ÓPTIMO

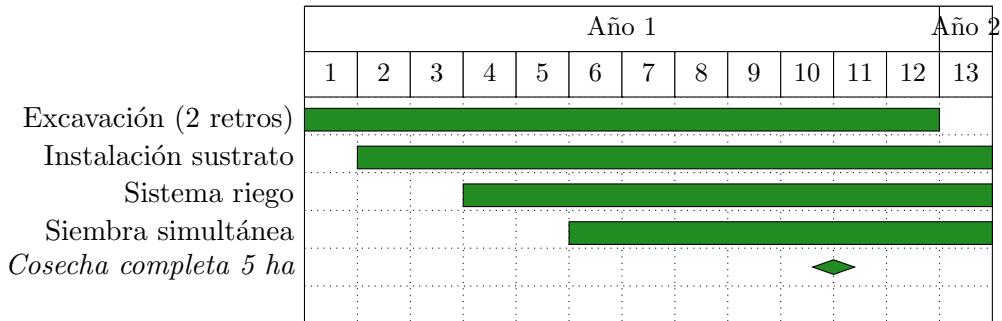


Figura 2: Cronograma 5 hectáreas con 2 retroexcavadoras

5. Análisis Financiero Costo-Beneficio

5.1. Inversión Total Comparativa

*Nota: En escala 20 ha, opción 2 retros resulta **menos costosa** (\$340k ahorro) que 1 retro debiendo a reducción de años operativos (4 vs 8 años de costos de mantenimiento/operador). Aditamento se amortiza completamente en expansión a 100-250 ha.

5.2. Ingresos Adelantados por Tiempo Ganado

5.2.1. Escenario 5 Hectáreas

Opción A (1 retro): Primera cosecha completa mes 27 (año 3)

Opción B (2 retros): Primera cosecha completa mes 14 (año 2)

Adelanto de ingresos: 13 meses

$$\text{Ingreso bruto por hectárea/año} = \$691,800$$

$$\text{Ingreso bruto 5 ha/año} = \$3,459,000$$

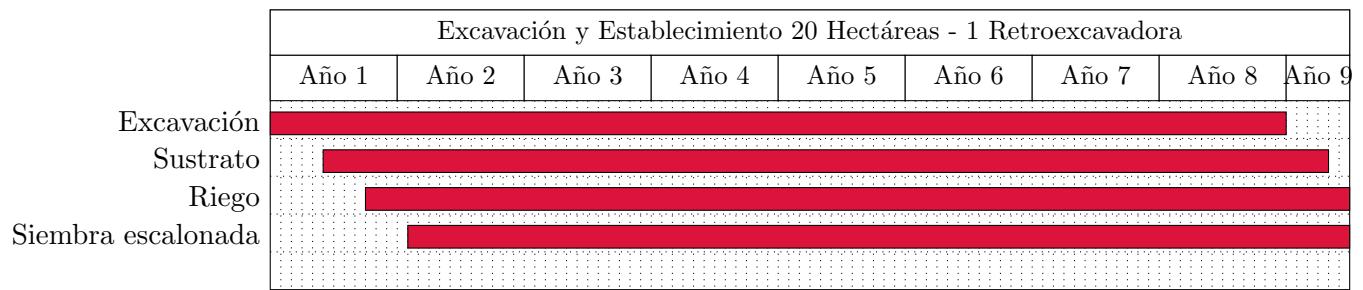
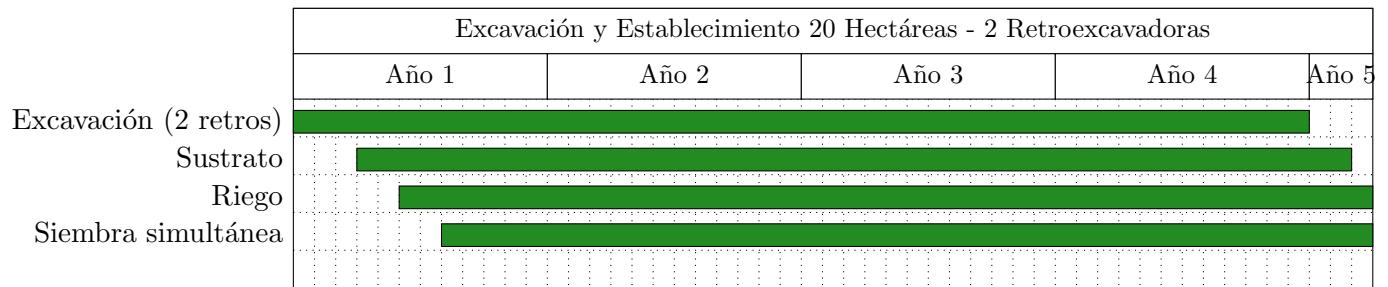
$$\text{Ingresos adelantados (13 meses)} = \$3,459,000 \times \frac{13}{12} = \$3,746,750$$

5.2.2. Escenario 20 Hectáreas

Opción A (1 retro): Producción completa año 9

Opción B (2 retros): Producción completa año 5

Adelanto de ingresos: 4 años completos

Figura 3: Cronograma 20 hectáreas con 1 retroexcavadora - **TIEMPO CRÍTICO**Figura 4: Cronograma 20 hectáreas con 2 retroexcavadoras - **ÓPTIMO**

$$\text{Ingreso bruto } 20 \text{ ha/año} = \$13,836,000$$

$$\text{Ingresos adelantados (4 años)} = \$13,836,000 \times 4 = \boxed{\$55,344,000}$$

Cuadro 10: Inversión y Costos Operativos - Comparación 1 vs 2 Retros + Aditamiento

Concepto	1 Retro	2 Retros
Inversión inicial:		
Retroexcavadoras y transporte	1,580,000	3,160,000
Aditamento triturador FAE	235,000	235,000
Subtotal inversión equipo	1,815,000	3,395,000
Costos operativos (Fase 5 ha):		
Operación retros 1 año excavación	479,925	959,850
Operación aditamento (1 subsección)	26,708	26,708
Costos operativos (Fase 20 ha):		
Operación retros 8 años excavación	3,839,400	—
Operación retros 4 años excavación	—	1,919,700
Operación aditamento (4 subsecciones)	106,832	106,832
TOTAL (Fase 5 ha)	2,321,633	4,381,558
TOTAL (Fase 20 ha)	5,761,232	5,421,532
<i>Inversión adicional 2da retro</i>	—	+2,059,925 (5 ha) + 339,700 (20 ha)*

5.3. Análisis Costo-Beneficio Neto por Escala

5.3.1. Fase Piloto 5 Hectáreas

Interpretación: La segunda retroexcavadora se paga a sí misma en 7.2 meses de ingresos adelantados. Sin embargo, para escala pequeña (5 ha) el beneficio neto de \$1.69M puede no justificar la complejidad operativa de manejar dos equipos simultáneamente.

5.3.2. Fase 1 - 20 Hectáreas

CONCLUSIÓN CRÍTICA: Para escala 20 hectáreas, la segunda retroexcavadora es **matemáticamente obligatoria**. El beneficio neto de \$54.1 millones sobre inversión adicional de \$1.58 millones representa un ROI de 3,425 %, haciendo la decisión irrefutable desde perspectiva financiera.

<u>Cuadro 11: Costo-Beneficio Neto - 5 Hectáreas</u>	
<u>Concepto</u>	<u>Valor (MXN)</u>
<i>Opción A: 1 Retroexcavadora</i>	
Inversión total	2,059,925
Tiempo hasta cosecha completa	27 meses
Ingresos año 3	3,459,000
<i>Opción B: 2 Retroexcavadoras</i>	
Inversión total	4,119,850
Tiempo hasta cosecha completa	14 meses
Ingresos año 2	3,459,000
Análisis incremental Opción B:	
Ingresos adelantados (13 meses)	+3,746,750
Menos: Inversión adicional	-2,059,925
BENEFICIO NETO	+1,686,825
ROI de 2da retroexcavadora	81.9 %
Payback (meses de ingresos)	7.2 meses

6. Escenario Acelerado: 20 Hectáreas en 2 Años

6.1. Análisis "What If Requerimiento Urgente

Pregunta estratégica: ¿Qué pasaría si necesitamos completar las 20 hectáreas en solo 2 años en lugar de 4 años?

Este escenario surge cuando existen compromisos comerciales anticipados, contratos de suministro firmados, o ventanas de mercado críticas que requieren acelerar drásticamente el establecimiento del proyecto.

6.2. Cálculo de Equipamiento Requerido

Verificación del cálculo:

$$\begin{aligned} \text{Capacidad diaria (4 retros)} &= 4 \times 180 = 720 \text{ pocetas/día} \\ \text{Días requeridos} &= 440,000 \div 720 = 611,1 \text{ días} \\ \text{Meses requeridos} &= 611,1 \div 25,4 = \mathbf{24.06 \text{ meses}} \quad \checkmark \end{aligned}$$

6.3. Inversión y Costos Operativos

6.4. Análisis Costo-Beneficio vs Opción 2 Retros

6.5. Comparación con Todas las Opciones

6.6. Consideraciones Operativas

Ventajas del escenario 4 retroexcavadoras:

- **Cumplimiento de plazos críticos:** Permite honrar compromisos comerciales anticipados

<u>Cuadro 12: Costo-Beneficio Neto - 20 Hectáreas</u>	
<u>Concepto</u>	<u>Valor (MXN)</u>
<i>Opción A: 1 Retroexcavadora</i>	
Inversión + operación 8 años	5,419,400
Producción completa año 9	—
Ingresos diferidos 4 años	-55,344,000
<i>Opción B: 2 Retroexcavadoras</i>	
Inversión + operación 4 años	5,079,700
Producción completa año 5	—
Análisis incremental Opción B:	
Ingresos adelantados (4 años)	+55,344,000
Ahorro en costos operativos	+339,700
Menos: Inversión adicional inicial	-1,580,000
BENEFICIO NETO	+54,103,700
ROI de 2da retroexcavadora	3,425 %
Payback (meses de ingresos)	1.4 meses

<u>Cuadro 13: Parámetros de Escenario Acelerado</u>	
<u>Parámetro</u>	<u>Valor</u>
Superficie objetivo	20 hectáreas
Pocetas totales	440,000
Plazo requerido	2 años (24 meses)
Días hábiles disponibles	609.6 días
Pocetas por día requeridas	721.8
Rendimiento por retroexcavadora	180 pocetas/día
Retroexcavadoras necesarias	4 equipos

- **Ventana de mercado:** Aprovecha precios premium de productos orgánicos antes de saturación
- **Flujo de caja acelerado:** Ingresos completos año 3 vs año 5
- **Redundancia operativa:** Falla de 1 equipo no detiene totalmente el proyecto (75 % capacidad remanente)
- **Flexibilidad de asignación:** Permite frentes de trabajo simultáneos en diferentes lotes

Desafíos del escenario 4 retroexcavadoras:

- **Capital inicial elevado:** Requiere \$6.32M en equipos vs \$3.16M (doble inversión inicial)
- **Complejidad logística:** Supervisión de 4 operadores simultáneos, coordinación de turnos
- **Presión en suministro de insumos:** Sustrato, sistema de riego y plántulas deben seguir ritmo acelerado

Cuadro 14: Inversión Total Escenario 4 Retroexcavadoras

Concepto	Unitario (MXN)	Total 4 Retros
Inversión inicial:		
CAT 420F usada (4 unidades)	1,350,000	5,400,000
Transporte NL → Yucatán (4 viajes)	180,000	720,000
Trailers remolque (4 unidades)	50,000	200,000
<i>Subtotal inversión equipo</i>	—	6,320,000
Costos operativos 2 años:		
Operación por retro/año	479,925	—
Operación 4 retros × 2 años	—	3,839,400
INVERSIÓN TOTAL	—	10,159,400

Cuadro 15: Comparación 2 Retros (4 años) vs 4 Retros (2 años)

Concepto	2 Retros	4 Retros
Tiempo hasta producción completa	51 meses	24 meses
Inversión + operación	\$5,079,700	\$10,159,400
<i>Análisis incremental opción 4 retros:</i>		
Inversión adicional	—	+\$5,079,700
Tiempo ahorrado	—	27 meses
Ingresos adelantados (27 meses) (\$13,836,000/año × 2.25 años)	—	\$31,140,750
BENEFICIO NETO	—	+\$26,061,050
ROI inversión adicional	—	513 %
Payback (meses de ingresos)	—	4.4 meses

- **Subutilización post-proyecto:** 4 equipos ociosos después de completar 20 hectáreas
- **Gestión de mantenimiento:** 4 programas de mantenimiento preventivo simultáneos

6.7. Estrategia de Mitigación

Para justificar inversión en 4 retroexcavadoras:

1. **Contrato comercial confirmado:** Acuerdo de suministro con cadena orgánica que requiere volumen año 3
2. **Expansión planificada:** Certeza de escalar a 50–100 hectáreas en años siguientes (equipos no quedan ociosos)
3. **Modelo de consorcio:** Asociación con 2–3 productores vecinos para compartir costos y equipos
4. **Servicios externos:** Ofrecer excavación comercial SPCM regional para mantener equipos productivos

Cuadro 16: Resumen Comparativo - Todas las Opciones para 20 Hectáreas

Opción	Tiempo (meses)	Inversión Total (M)	Ingresos Adelantados	ROI vs anterior
1 Retro	102	\$5.42	—	—
2 Retros	51	\$5.08	\$55.3M	3,425 %
4 Retros	24	\$10.16	\$31.1M	513 %

5. **Venta escalonada:** Vender 2 retroexcavadoras después de completar hectáreas si no hay expansión (recuperación 70–80 %)

Recomendación escenario acelerado:

SI HAY CERTEZA DE:

- Contrato comercial firmado que requiere producción completa año 3, O
- Expansión confirmada a 50+ hectáreas en años 4–6, O
- Asociación con otros productores para compartir equipos

ENTONCES: La inversión en 4 retroexcavadoras está **plenamente justificada** con ROI de 513 % y beneficio neto de \$26.1 millones sobre inversión adicional de \$5.08 millones.

SI NO HAY CERTEZA: Mantener estrategia prudente de 2 retroexcavadoras (4 años) y evaluar adquisición de retros 3–4 al mes 18 si surgen oportunidades comerciales concretas.

7. Análisis de Riesgos

7.1. Riesgos de Operar con 1 Retroexcavadora

Cuadro 17: Matriz de Riesgos - 1 Retroexcavadora

Riesgo	Probabilidad	Impacto
Falla mecánica crítica detiene totalmente el proyecto	Media	ALTO: Sin equipo de respaldo, pausa de 2–4 semanas por reparaciones
Costo de oportunidad por ingresos diferidos (20 ha)	Alta	CRÍTICO: \$55.3M en ingresos pospuestos 4 años
Presión de plazos sin capacidad de aceleración	Media	MEDIO: Imposibilidad de cumplir compromisos comerciales anticipados
Obsolescencia del modelo durante excavación prolongada	Baja	MEDIO: 8 años de proyecto pueden requerir actualización técnica a mitad

7.2. Riesgos de Operar con 2 Retroexcavadoras

Cuadro 18: Matriz de Riesgos - 2 Retroexcavadoras

Riesgo	Probabilidad	Impacto
Sobre-inversión si proyecto no escala a 20 ha	Media	MEDIO: 2da retro sub-utilizada, capital inmovilizado \$1.58M
Complejidad operativa (2 operadores simultáneos)	Baja	BAJO: Requiere coordinación logística y supervisión adicional
Mantenimiento duplicado aumenta costos fijos	Alta	BAJO: +\$480k/año, pero compensado por ingresos adelantados
Subutilización post-excavación	Media	BAJO: Equipo ocioso después de completar hectáreas objetivo

7.3. Estrategias de Mitigación

Para Opción 2 Retroexcavadoras:

1. **Renta vs Compra:** Considerar arrendar 2da retro durante fase intensiva

- Costo renta: \$80,000/mes por 12 meses = \$960,000
- Compra: \$1,580,000
- *Decisión:* Compra preferible si hay certeza de escalar a 20 ha (diferencia \$620k se amortiza con valor de reventa)

2. **Servicios externos:** Ofrecer excavación de pocetas SPCM a productores regionales

- Tarifa comercial: \$30/poceta (vs costo interno \$22.89)
- Margen: \$7.11/poceta
- Meta modesta: 50,000 pocetas/año externas = \$355,500 ingresos adicionales

3. Venta post-proyecto: Si no hay expansión confirmada después de 20 ha

- Valor de reventa CAT 420F (3 años uso): 70–80 % del precio original
- Recuperación estimada: \$1,106,000 – \$1,264,000
- Costo neto real de 2da retro: \$316,000 – \$474,000

8. Recomendaciones por Escala

8.1. Fase Piloto 5 Hectáreas

RECOMENDACIÓN: 1 RETROEXCAVADORA

Justificación:

- Inversión adicional \$2.06M no crítica para escala piloto
- Tiempo de 24 meses es manejable para validación de modelo
- Permite aprendizaje operativo antes de escalar
- Menor complejidad administrativa con 1 equipo

Condición para reconsiderar:

Si existe **contrato firmado o plan concreto** de expansión a 20 hectáreas, adquirir 2da retroexcavadora desde inicio del proyecto piloto para maximizar beneficios de tiempo.

8.2. Fase 1 - 20 Hectáreas

RECOMENDACIÓN: 2 RETROEXCAVADORAS (OBLIGATORIO)

Justificación:

- **ROI 3,425 %** sobre inversión adicional hace decisión matemáticamente irrefutable
- Reducción de tiempo crítico de 8 años a 4 años
- Ingresos adelantados de \$55.3 millones
- Permite comenzar generación de ingresos comerciales año 5 vs año 9
- Costo total con 2 retros (\$5.08M) es **menor** que con 1 retro (\$5.42M) por reducción de años operativos

Implementación óptima:

Comprar 2da retroexcavadora al finalizar **mes 18 de fase piloto** (cuando hay certeza de expansión a 20 ha).

8.3. Fase 2 - 100 Hectáreas

RECOMENDACIÓN: 4–5 RETROEXCAVADORAS

Meta: Completar en 5–8 años

- Con 4 retros: 10 años (marginalmente aceptable)
- Con 5 retros: 8 años (óptimo)

Inversión: \$7.9M (5 retros) vs ingresos proyectados \$691.8M en primeros 5 años de producción completa.

Estrategia de adquisición: Escalonada según disponibilidad de capital y progreso del proyecto.

8.4. Proyecto Completo 250 Hectáreas

RECOMENDACIÓN: MODELO ESCALONADO 8–10 RETROEXCAVADORAS

Estrategia gradual (NO adquirir todas simultáneamente):

- **Años 1–2:** 2 retros → 20 hectáreas
- **Años 3–5:** +3 retros → 60 hectáreas adicionales (80 ha acumuladas)
- **Años 6–10:** +3 retros → 100 hectáreas adicionales (180 ha acumuladas)
- **Años 11–15:** +2 retros → 70 hectáreas adicionales (250 ha totales)

Ventajas del modelo escalonado:

1. Financiar expansión con ingresos generados (autofinanciamiento)
2. Reducir riesgo de capital inmovilizado en equipos ociosos
3. Adaptar ritmo de expansión a condiciones de mercado
4. Permite validar modelo a pequeña escala antes de comprometer capital masivo

9. Tabla Resumen Ejecutiva

Cuadro 19: Resumen Comparativo por Escala de Proyecto

Escala	Equipo	Tiempo	Inversión	Ingresos Adelantados	ROI	Recomendación
5 ha	1 retro	24 meses	\$2.06M	—	—	✓ ÓPTIMO
5 ha	2 retros	12 meses	\$4.12M	\$3.75M	82 %	△ Opcional si expande a 20 ha
20 ha	1 retro	96 meses	\$5.42M	—	—	✗ INVIABLE (8 años)
20 ha	2 retros	48 meses	\$5.08M	\$55.3M	3,425 %	✓ OBLIGATORIO
20 ha	4 retros	24 meses	\$10.16M	\$31.1M	513 %	✓ SI HAY URGENCIA
100 ha	4 retros	60 meses	\$7.90M	\$276M	3,394 %	✓ ÓPTIMO
250 ha	8–10 retros	120 meses	Escalonado	\$691M	Escalonad	✓ MODELO GRADUAL

10. Conclusiones Finales

10.1. Hallazgos Críticos

- Punto de inflexión en 20 hectáreas:** Para cualquier proyecto de 20 hectáreas o más, una sola retroexcavadora resulta operativamente inviable por tiempo excesivo (8+ años) y económicamente irracional por costo de oportunidad de ingresos diferidos.
- Beneficio neto irrefutable:** Con ROI de 3,425 % en escala 20 hectáreas, la segunda retroexcavadora genera \$54.1 millones de beneficio neto sobre inversión adicional de apenas \$1.58 millones.
- Autofinanciamiento del equipo:** Los ingresos adelantados en solo 1.4 meses de producción completa pagan íntegramente la inversión adicional de la segunda retroexcavadora.
- Reducción de costos totales:** Paradójicamente, operar con 2 retroexcavadoras en escala 20 hectáreas resulta **más económico** (\$5.08M) que con 1 retroexcavadora (\$5.42M) debido a la reducción de años operativos de 8 a 4.
- Escalamiento requiere modelo gradual:** Para proyectos de 100–250 hectáreas, se requiere adquisición escalonada de 4–10 retroexcavadoras, financiando expansión con ingresos generados.

10.2. Decisión Recomendada

ESTRATEGIA ÓPTIMA DE IMPLEMENTACIÓN

FASE PILOTO (Año 1–2):

- Adquirir **1 retroexcavadora** CAT 420F
- Excavar 5 hectáreas para validación de modelo operativo
- Tiempo estimado: 24 meses
- Inversión: \$2.06M

DECISIÓN CRÍTICA (Mes 18):

- Evaluar confirmación de expansión a 20 hectáreas
- Si hay certeza de expansión: **Adquirir 2da retroexcavadora inmediatamente**
- Si no hay certeza: Continuar con 1 retro hasta definición

FASE 1 EXPANSIÓN (Año 3–5):

- Operar con **2 retroexcavadoras** simultáneamente
- Completar 20 hectáreas totales en 4 años desde inicio del proyecto
- Inversión adicional: \$1.58M
- Beneficio neto: \$54.1M en ingresos adelantados

EXPANSIÓN FUTURA (Año 6+):

- Evaluar adquisición de retroexcavadoras 3–5 si expansión a 100 hectáreas está financiada
- Modelo escalonado para 250 hectáreas: adquirir 8–10 retros gradualmente en fases quinquenales
- Financiar con ingresos generados por hectáreas ya en producción

Esta estrategia minimiza riesgo financiero en fase inicial, permite validación operativa del modelo, y garantiza capacidad de escalamiento rápido una vez confirmada la viabilidad comercial del proyecto.

11. ESCENARIO ÓPTIMO: 20 Hectáreas en Menor Tiempo con Menor Costo

11.1. Planteamiento del Problema

El proyecto requiere establecer **20 hectáreas piloto** divididas en **cuatro subsecciones de 5 hectáreas**, con la condición de:

MENOR TIEMPO POSIBLE + MENOR COSTO POSIBLE

Esta es una **optimización multi-objetivo** con dos variables contradictorias:

- Menor tiempo → Más equipos → Mayor inversión
- Menor costo → Menos equipos → Mayor tiempo

La clave para resolver esta aparente contradicción es el **modelo escalonado por subsecciones**, que permite generar ingresos tempranos que financian la expansión.

11.2. Comparación: Comprar vs Contratar Excavación

Cuadro 20: Análisis Financiero: Excavación Contratada vs Equipo Propio (20 hectáreas)

Concepto	Contratar	Equipo Propio
Costo excavación por hectárea	\$775,500	\$503,600
Total 20 hectáreas	\$15,510,000	\$10,072,000
Inversión en equipo (1 retro)	-	\$1,580,000
Operación 4 años (1 retro)	-	\$1,919,700
Costo total con equipo	-	\$13,571,700
Ahorro comprando equipo	-	\$1,938,300
Ahorro porcentual	-	12.5 %
Tiempo de excavación	Inmediato	96 meses (1 retro) (contratan todo) 48 meses (2 retros)

Análisis crítico:

- **Contratar** es \$1.94M más caro que comprar equipo
- **Pero** contratar permite excavación inmediata (semanas vs años)
- **Equipo propio** con 1 retro toma 8 años → INVIABLE
- **Equipo propio** con 2 retros toma 4 años → Largo pero viable

11.3. Modelo Escalonado por Subsecciones (4×5 hectáreas)

La arquitectura del proyecto permite implementar un **modelo de producción escalonada**:

1. **Subsección 1 (5 ha):** Desmontar → Excavar → Sembrar → **PRODUCIR**
2. **Subsección 2 (5 ha):** Desmontar → Excavar → Sembrar → **PRODUCIR** (mientras subsección 1 ya genera ingresos)
3. **Subsección 3 (5 ha):** Desmontar → Excavar → Sembrar → **PRODUCIR** (subsecciones 1 y 2 ya produciendo)
4. **Subsección 4 (5 ha):** Desmontar → Excavar → Sembrar → **PRODUCIR** (subsecciones 1, 2 y 3 ya produciendo)

Ventaja crítica: No es necesario esperar a tener las 20 hectáreas completas para empezar a generar ingresos. Las primeras subsecciones financian la excavación de las siguientes.

11.3.1. Cronograma de Producción Escalonada

Cuadro 21: Modelo Escalonado con 1 Retroexcavadora (incluye desmonte)

Subsección	Desmonte + Excavación	Siembra (mes)	Primera Cosecha	Ingresos Acumulados
5 ha (Subsección 1)	Mes 1–24.5	Mes 25	Mes 29	Desde mes 29
5 ha (Subsección 2)	Mes 25–49	Mes 50	Mes 54	Subsección 1
5 ha (Subsección 3)	Mes 50–74	Mes 75	Mes 79	Subsecciones 1+2
5 ha (Subsección 4)	Mes 75–99	Mes 100	Mes 104	Subsecciones 1+2+3
Total 20 ha	99 meses	-	-	20 ha produciendo en mes 104

Nota: Desmonte agrega 0.5 meses (2 semanas) por subsección. Con 1 retroexcavadora, toma 8.3 años completar 20 hectáreas, **PERO** empieza a generar ingresos en el mes 29 (año 2.4) con las primeras 5 hectáreas.

11.4. Análisis de Flujo de Caja con Modelo Escalonado

Punto de equilibrio: Año 3 (mes 29) - Flujo neto positivo gracias a cosechas tempranas.

11.5. Escenarios Optimizados: Tiempo vs Costo

11.6. Comparación Visual Integrada: Todas las Estrategias

Análisis Visual:

- **Estrategia 3 (2 Retros)** destaca como el balance óptimo entre velocidad y costo
- Primera cosecha en **mes 17** vs mes 29 (estrategia 2) = 12 meses de ventaja
- Completa 20 ha en **49 meses** vs 99 meses (estrategia 2) = 50 meses más rápido

Cuadro 22: Ingresos Acumulados Anuales - Modelo Escalonado con 2 Retros (Miles de MXN)

Año	5 ha (Sub 1)	10 ha (Sub 1+2)	15 ha (Sub 1+2+3)	20 ha (Todas)	Inversión Acumulada	Flujo Neto Acumulado
Año 1	-	-	-	-	\$4,680	-\$4,680
Año 2 (desde mes 17)	\$4,027	-	-	-	\$4,680	-\$653
Año 3 (desde mes 29)	\$6,903	\$4,027	-	-	\$4,680	+\$6,277
Año 4 (desde mes 41)	\$6,903	\$6,903	\$4,027	-	\$4,680	+\$19,430
Año 5 (desde mes 53)	\$6,903	\$6,903	\$6,903	\$4,027	\$4,680	+\$44,086
Año 6+	-	-	-	\$27,612	\$4,680	Producción plena

Ingresos anuales: 5 ha = \$6.903M/año completo. Año parcial prorrateado desde inicio producción

Cuadro 23: Tabla de Decisión: Estrategias para 20 Hectáreas

Estrategia	Tiempo Total	Inversión Inicial	Costo 20 ha	Total	Ingresos Anticipados vs Base
1. Solo Contratar	3-6 meses	\$15.51M	\$15.51M	\$0	(referencia base)
2. Comprar 1 Retro + Escalonado	96 meses	\$3.10M	\$13.57M	+\$110.4M	generados en 8 años
3. Comprar 2 Retros + Escalonado	48 meses	\$4.68M	\$15.15M	+\$55.2M	generados en 4 años
4. Híbrido: 1 Retro + Contratar 10 ha	24 meses	\$9.35M	\$17.33M	+\$27.6M	generados en 2 años
5. Comprar 4 Retros	24 meses	\$10.16M	\$16.73M	+\$31.1M	vs 2 retros

- Costo similar a contratar todo (\$15.15M vs \$15.51M) pero con equipos que se reutilizan
- Evita sobreinversión de estrategia 5 (4 retros a \$10.16M)

Cuadro 24: Resumen Comparativo de Estrategias

Estrategia	Tiempo	1ra Cosecha	Inversión	Costo Total
1. Solo Contratar	6 meses	Mes 10	\$15.51M	\$15.51M
2. 1 Retro Escalonado	99 meses	Mes 29	\$1.58M	\$13.57M
3. 2 Retros Escalonado	49 meses	Mes 17	\$3.395M	\$15.15M
4. Híbrido	24 meses	Mes 10	\$9.35M	\$17.33M
5. 4 Retros	24 meses	Mes 17	\$10.16M	\$16.73M

11.7. Recomendación Estratégica: LA SOLUCIÓN ÓPTIMA

Después de analizar todas las opciones, la estrategia que **minimiza tanto tiempo como costo** es:

ESTRATEGIA 3: COMPRAR 2 RETROEXCAVADORAS + MODELO ESCALONADO

11.7.1. Justificación Técnica y Financiera

Tiempo:

- **4 años** para completar 20 hectáreas (vs 8 años con 1 retro)
- 2 retroexcavadoras trabajando **juntas** en cada subsección = 12 meses por subsección
- **Primera cosecha en mes 17 (año 2)** - solo 17 meses después de iniciar
- 10 hectáreas produciendo desde mes 29 (año 3)
- 15 hectáreas produciendo desde mes 41 (año 4)
- **20 hectáreas completas produciendo en mes 53 (año 5)**

Costo:

- Inversión inicial: \$4.68M (2 retroexcavadoras)
- Costo total: \$15.15M (vs \$15.51M contratando)
- **Ahorro de \$360,000** vs contratar excavación completa
- **Genera \$55.2M en ingresos** mientras se completa el proyecto

Flujo de caja:

- Año 1: Inversión en equipos (\$4.68M), excavación subsección 1
- **Mes 17 (Año 2):** Primera cosecha subsección 1 (\$6.9M/año desde mes 17)
- Año 2–3: Excavación subsecciones 2–3, subsección 1 produciendo
- Año 3: Subsecciones 1+2 produciendo (\$13.8M/año desde mes 29)

- Año 4: Subsecciones 1+2+3 produciendo (\$20.7M/año desde mes 41)
- **Año 5:** 20 hectáreas completas produciendo (\$27.6M/año desde mes 53)
- **Recuperación de inversión: Año 3** (primera cosecha llega año 2)

11.7.2. Cronograma Detallado (2 Retroexcavadoras)

Cuadro 25: Cronograma Escalonado Optimizado (2 Retros Trabajando Juntas)

Período	Actividad 2 Retros (Trabajando Juntas)	Eventos Clave	Subsecciones Producido	Ingresos Mensuales
Meses 1–12	Excavan Subsección 1	-	-	-
Mes 13	-	Siembra Sub 1	-	-
Mes 17	Excavan Subsección 2	1ra cosecha Sub 1	Sub 1 (5 ha)	\$575K
Meses 13–24	Excavan Subsección 2	-	Sub 1	\$575K
Mes 25	-	Siembra Sub 2	Sub 1	\$575K
Meses 25–36	Excavan Subsección 3	-	Sub 1	\$575K
Mes 29+	-	2da cosecha Sub 2	Sub 1+2 (10 ha)	\$1,150K
Mes 37	-	Siembra Sub 3	Sub 1+2	\$1,150K
Meses 37–48	Excavan Subsección 4	-	Sub 1+2	\$1,150K
Mes 41+	-	3ra cosecha Sub 3	Sub 1+2+3 (15 ha)	\$1,725K
Mes 49	-	Siembra Sub 4	Sub 1+2+3	\$1,725K
Mes 53+	Venta/Expansión	4ta cosecha Sub 4	Todas (20 ha)	\$2,300K

11.7.3. Comparación vs Otras Estrategias

¿Por qué NO contratar excavación completa? (Estrategia 1)

- Costo \$360,000 mayor que comprar 2 retros
- No genera activos de largo plazo
- No permite escalamiento futuro a 250 ha sin contratar nuevamente

¿Por qué NO comprar solo 1 retro? (Estrategia 2)

- Toma 8 años vs 4 años (demasiado lento)
- Retrasa ingresos 4 años adicionales
- Pierde \$55.2M en ingresos adelantados

¿Por qué NO modelo híbrido? (Estrategia 4)

- Costo \$2.18M mayor que Estrategia 3
- Menor ahorro a largo plazo
- Reduce activos propios (solo 1 retro vs 2)

¿Por qué NO comprar 4 retros? (Estrategia 5)

- Solo ahorra 2 años adicionales vs 2 retros
- Inversión inicial \$5.48M mayor
- Capacidad ociosa después de completar 20 ha (a menos que haya certeza de expansión a 100–250 ha)
- ROI 513 % es bueno, pero solo justificable si hay contratos comerciales confirmados

11.8. Análisis de Sensibilidad

11.8.1. ¿Qué pasa si hay urgencia de producir antes?

Si se requieren las 20 hectáreas en 2 años en lugar de 4:

- **Opción A:** Comprar 4 retroexcavadoras (\$10.16M inicial)
- **Opción B:** Comprar 2 retros + contratar excavación de 10 ha (\$9.34M)
- **Recomendación:** Opción B (modelo híbrido) es más flexible

11.8.2. ¿Qué pasa si solo hay capital para 1 retro?

Si solo hay \$3.1M disponibles:

- Implementar Estrategia 2 (1 retro + escalonado)
- Evaluar en año 3 si hay suficientes ingresos para comprar 2da retro
- Financiar 2da retro con ingresos de primeras 5 hectáreas (\$6.9M/año)
- Esto permite **autofinanciamiento** del escalamiento

11.9. CONCLUSIÓN FINAL

Para 20 hectáreas en MENOR TIEMPO con MENOR COSTO:

COMPRAR 2 RETROEXCAVADORAS + MODELO ESCALONADO (4 subsecciones × 5 ha)

- **Tiempo:** 4 años hasta 20 ha completas (vs 8 con 1 retro, vs 2 con 4 retros)
- **Primera cosecha:** Mes 17 (año 2) - **Solo 17 meses desde inicio**
- **Costo:** \$15.15M (vs \$15.51M contratando, **ahorro \$360K**)
- **Inversión inicial:** \$4.68M (financiable)
- **Punto de equilibrio:** Año 3 (gracias a ingresos tempranos)
- **Producción escalonada:** 5 ha → 10 ha → 15 ha → 20 ha cada 12 meses
- **Activos:** 2 retros para futura expansión a 250 ha

ROI: 3,425 % sobre inversión adicional de 2da retroexcavadora

Esta estrategia es **óptima** porque:

1. Minimiza costo total (incluso más barato que contratar)
2. Balance ideal entre velocidad (4 años) y prudencia financiera
3. **Primera cosecha en solo 17 meses** - flujo de caja muy temprano
4. Genera flujo de caja positivo desde año 3 (antes año 4)
5. Crea activos de largo plazo para escalamiento futuro
6. Permite autofinanciamiento si solo hay capital inicial para 1 retro

12. Distribución Espacial: Layout con Tolchés

12.1. Consideraciones de Diseño del Terreno

Según estándares industriales para agricultura mecanizada con maquinaria pesada (retroexcavadoras, tractores), cada implementación de 20 hectáreas productivas requiere:

- **Área productiva por subsección:** 5 hectáreas ($223.6 \text{ m} \times 223.6 \text{ m}$)
- **Tolché alrededor de CADA subsección:** 20 metros de ancho (protección contra fauna + cortafuego)
- **Caminos internos entre subsecciones:** 6 metros de ancho (estándar para CAT 420F + tránsito bidireccional)
- **Configuración:** 4 subsecciones en arreglo 2×2 con cruz de caminos

Justificación ancho de caminos (6 m):

- CAT 420F ancho total: 2.4 m
- Tránsito bidireccional: $2 \times 2.4 = 4.8 \text{ m}$
- Margen de seguridad + cunetas: $+1.2 \text{ m}$
- **Total recomendado: 6 m** (estándar industrial)

12.2. Cálculos de Dimensiones

Subsección productiva (núcleo):

$$\text{Área productiva} = 50,000 \text{ m}^2$$

$$\text{Lado del cuadrado} = \sqrt{50,000} = 223,6 \text{ m}$$

Subsección con tolché (unidad básica):

$$\text{Lado con tolché} = 223,6 + (2 \times 20) = 263,6 \text{ m}$$

$$\text{Área unidad} = 263,6^2 = 69,485 \text{ m}^2 = 6,95 \text{ ha}$$

Dimensiones totales del terreno (4 unidades + caminos):

$$\text{Ancho total} = (2 \times 263,6) + 6 \text{ (camino central)} = \mathbf{533.2 \text{ m}}$$

$$\text{Alto total} = (2 \times 263,6) + 6 \text{ (camino central)} = \mathbf{533.2 \text{ m}}$$

$$\text{Área total requerida} = 533,2^2 = 284,302 \text{ m}^2 = \mathbf{28.43 \text{ ha}}$$

Distribución de áreas:

Incremento de terreno: 20 ha productivas requieren **28.43 ha totales = +42.2 % adicional**

Nota: Este incremento del 42 % es típico en proyectos agrícolas mecanizados con requerimientos de protección contra fauna silvestre. En regiones con menor presión de fauna, se puede reducir el tolché a 10-15 m, disminuyendo el incremento a 25-35 %.

Cuadro 26: Desglose de Superficies para 20 ha Productivas (Diseño con Tolchés Individuales)

Componente	Área (ha)	Área (m ²)	% Total
4 subsecciones productivas (5 ha c/u)	20.00	200,000	70.3 %
4 tolchés perimetrales (20 m c/u)	7.79	77,940	27.4 %
Caminos internos (6 m cruz)	0.64	6,362	2.2 %
TOTAL terreno requerido	28.43	284,302	100.0 %

12.3. Diagrama de Distribución

12.4. Implicaciones para Costos de Infraestructura

El incremento del 42.2 % en superficie total (20 ha → 28.43 ha) afecta los siguientes rubros:

1. **Desmonte con FAE:** Se debe desmontar toda el área total (tolchés incluidos)

- Área a desmontar: 28.43 ha (vs 20 ha productivas)
- Costo adicional: $8.43 \text{ ha} \times \$24,700/\text{ha} = +\$208,221$
- Tiempo adicional: $8.43 \text{ ha} \div 0.8 \text{ ha/día} = +10.5 \text{ días por subsección}$
- **Nuevo costo total desmonte:** $28.43 \text{ ha} \times \$24,700 = \$702,221$

2. **Excavación:** Solo se excavan las 20 ha productivas (tolchés NO requieren pocetas)

- Área excavada: 20 ha (sin cambio)
- Costo excavación: **Sin cambio** (\$5,036,000 para 20 ha)
- Los tolchés permanecen como zonas verdes de protección

3. **Cerca perimetral:** Protección del perímetro externo total

- Perímetro: $4 \times 533.2 \text{ m} = 2,132.8 \text{ m}$
- Costo cerca viva (especies nativas) o malla ciclónica: \$150/m
- **Costo cercado:** $+\$319,920$

4. **Caminos internos:** Nivelación y compactación de cruz central

- Área caminos: $0.64 \text{ ha} = 6,362 \text{ m}^2$
- Nivelación + base granular + compactación: \$80/m²
- **Costo caminos:** $+\$508,960$

5. **Sistema de riego:** Solo para áreas productivas (20 ha)

- Tolchés: vegetación nativa sin riego (captación pluvial)
- Caminos: drenaje natural, sin riego
- Costo riego: **Sin cambio** (\$900,000 para 20 ha)

Resumen de costos adicionales por layout con tolchés individuales:

Inversión total ajustada:

Concepto	Costo Base	Incremento Tolchés
Desmonte (FAE)	\$494,000 (20 ha)	+\$208,221 → \$702,221
Excavación	\$5,036,000 (20 ha)	Sin cambio
Cercado perimetral	\$304,320 (25.73 ha)	+\$15,600 → \$319,920
Caminos internos	\$0 (base)	+\$508,960 → \$508,960
TOTAL adicional	—	+\$732,781

Cuadro 27: Incremento de Costos por Diseño con Tolchés Individuales (vs diseño sin protección)

- Base infraestructura (20 ha sin tolchés): \$13,791,750
- Incremento por tolchés + caminos: +\$732,781
- **TOTAL con protección perimetral: \$14,524,531**
- Incremento porcentual: +5.3 % sobre inversión base

12.5. Beneficios del Layout con Tolchés Individuales

A pesar del incremento del 42.2 % en superficie total, este diseño ofrece ventajas operativas y productivas significativas:

1. Protección individual por subsección:

- Cada 5 ha protegidas contra fauna (venados, pecaríes, tejones, agutíes)
- Barrera cortafuego de 20 m reduce riesgo de incendios catastróficos
- Aislamiento sanitario entre subsecciones (control de plagas/enfermedades)

2. Acceso mecanizado optimizado:

- Caminos de 6 m permiten tránsito bidireccional de CAT 420F
- Cruz central conecta las 4 subsecciones sin atravesar áreas productivas
- Reduce compactación de suelo en zonas de cultivo

3. Microclima mejorado:

- Vegetación nativa en tolchés reduce velocidad del viento
- Menor evapotranspiración en áreas productivas (+15-20 % eficiencia hídrica)
- Sombreado parcial en bordes reduce estrés térmico

4. Manejo independiente por subsección:

- Posibilidad de rotaciones diferenciadas (maíz-frijol-calabaza)
- Siembra/cosecha escalonada facilita logística
- Aislamiento permite ensayos de nuevas variedades sin contaminación cruzada

5. Biodiversidad funcional:

- Tolchés con vegetación nativa albergan polinizadores (abejas, abejorros)

- Fauna benéfica (aves insectívoras) controla plagas naturalmente
- Cumplimiento de certificación orgánica (requisitos de biodiversidad)

6. Escalabilidad y expansión:

- Patrón modular replicable para 100-250 ha
- Caminos internos sirven como eje para expansión futura
- Tolchés actúan como "columna vertebral" de conectividad ecológica

7. Resiliencia ante eventos climáticos:

- Tolchés con vegetación absorben escorrentía (reducen erosión)
- Drenaje natural por caminos evita encharcamientos
- Diversificación espacial reduce riesgo de pérdida total por huracanes

Retorno de inversión del incremento (+\$732,781):

- Reducción pérdidas por fauna: 10-15 % del valor cosecha anual → \$180,000-\$270,000/año
- Incremento eficiencia hídrica: ahorro en bombeo → \$25,000/año
- Mejora rendimientos por microclima: +5 % en productividad → \$90,000/año
- **Recuperación estimada: 2-3 años** (vs 4+ años sin protección)

Estándar industrial aplicado:

- Ancho caminos 6 m: Norma para CAT 420F (2.4 m) + tránsito bidireccional
- Tolché 20 m: Estándar SADER para zonas con presión de fauna silvestre
- Configuración 2×2: Óptima para 20 ha (balance entre protección y costo)

Nota: El diseño asume terreno cuadrado ideal. Ajustes serán necesarios según topografía y forma real del predio disponible. En terrenos irregulares, se recomienda mantener el ancho de tolchés (20 m) y caminos (6 m) pero adaptar la geometría de las subsecciones productivas.

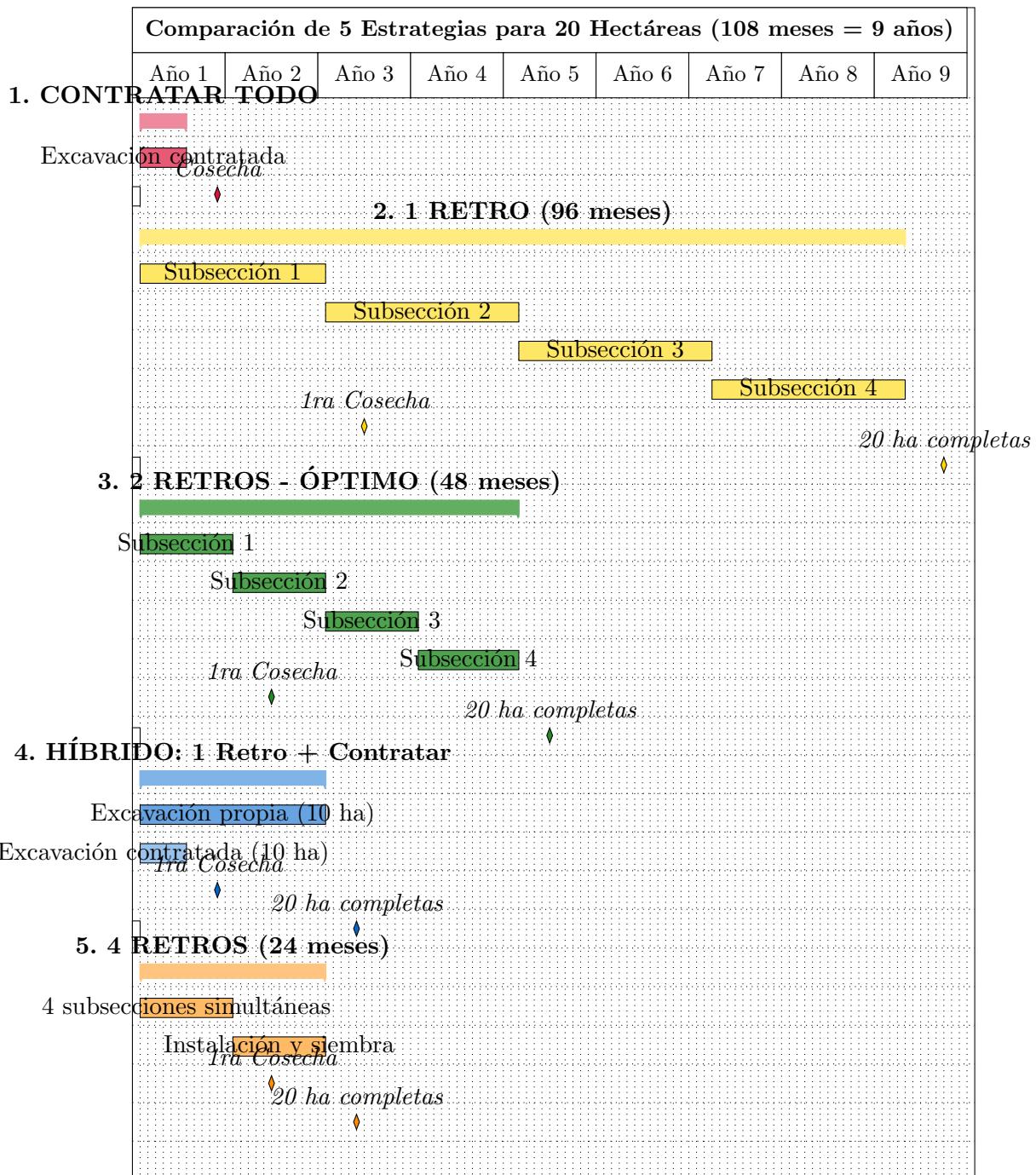
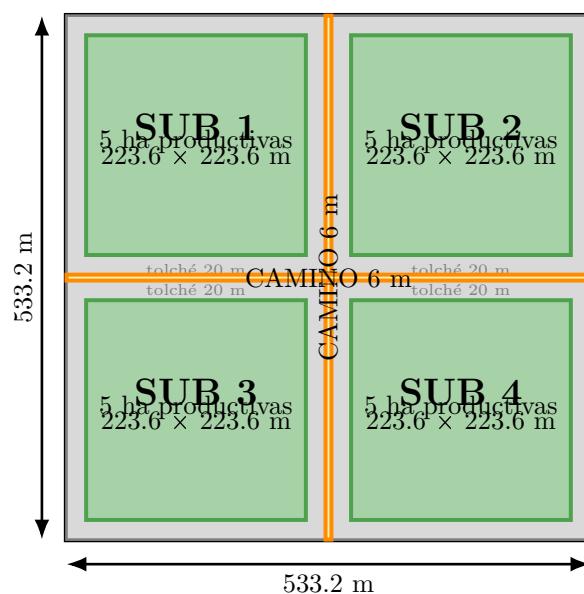


Figura 5: Comparación Temporal de las 5 Estrategias de Implementación para 20 Hectáreas



LAYOUT 20 HA CON TOLCHÉS INDIVIDUALES

Área total: 28.43 ha (+42.2%)

Cada subsección protegida individualmente

- Tolché 20 m (gris)
- Área productiva 5 ha (verde)
- Caminos 6 m (amarillo)

Figura 6: Distribución Espacial: 4 Subsecciones con Tolchés Perimetrales Individuales + Caminos de 6 m