

DISEÑO DE UNA SIMULACIÓN COMPARATIVA PARA LA TRANSICIÓN DE PRODUCCIÓN CONVENCIONAL A ORGÁNICA EN PALMASOL S.A.S. UBICADA EN SAN MARTÍN, META



Ing. Carol Yuleimy Baquero Nieto
Ing. German Camilo Pacheco Moreno

Pontificia Universidad Javeriana
Faculta de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial
Maestría Ingeniería Industrial
Unidad de Posgrados
Bogotá – Colombia
2021



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Bogotá

**DISEÑO DE UNA SIMULACIÓN COMPARATIVA PARA LA TRANSICIÓN DE PRODUCCIÓN
CONVENCIONAL A ORGÁNICA EN PALMASOL S.A.S. UBICADA EN SAN MARTÍN, META**

**Ing. Carol Yuleimy Baquero Nieto
Ing. German Camilo Pacheco Moreno**

**Director: PhD. Raúl Fabián Roldán
Codirector: PhD. Luisa Fernanda Posada U.**

Programa Maestría en Ingeniería Industrial

Trabajo Final

CONTENIDO

RESUMEN	6
2. INTRODUCCIÓN	7
2.1 Justificación	9
3. OBJETIVO GENERAL.....	12
4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
Fase I. Caracterización de especificaciones y determinación de requerimientos	12
Fase II. Diseño del modelo de simulación.....	13
Fase III. Implementación del diseño y validación de la herramienta.....	13
6. CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES Y LOS PROCESOS	14
6.1 Generalidades del caso estudio Palmasol SAS	16
6.2 Descripción del proceso.....	19
7. DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN	28
7.1 Parametrización del modelo de simulación	28
7.2 Definición de escenarios.....	32
8. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO	33
8.1 Costos de producción del cultivo de palma de aceite	34
8.2 Precios de venta del cultivo de palma de aceite	36
8.3 Hipótesis de productividad orgánica.....	37
9. RESULTADOS Y ANÁLISIS	39
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42
11. BIBLIOGRAFÍA.....	1

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica Palmasol SAS	14
Figura 2. Plantaciones Palmasol SAS	14
Figura 3. Cultivos rangos de edad Palmasol, Malasia, Caracoli.....	15
Figura 4. Cultivos de rango de edad Manpure	15
Figura 5. Participación Lotes – Hectáreas – Palmas por Plantación	17
Figura 6. Producción (kg) por año	17
Figura 7. Producción (kg) por año y plantación	18
Figura 8. Total, costos (kg) por año.....	18
Figura 9. Procesos del cultivo de palma de aceite en empresa Palmasol S.A.S.....	19
Figura 10. Proceso de previvero / vivero	21
Figura 11. Proceso de siembra / renovación	21
Figura 12. Proceso de polinización.....	21
Figura 13. Proceso Control fitosanitario.....	23
Figura 14. Proceso de fertilización	23
Figura 15. Proceso de mantenimiento del cultivo	26
Figura 16. Proceso de cosecha	26
Figura 17. Proceso de logística	26
Figura 18. VSM cultivo palma de aceite	27
Figura 19. Modelo 3D FlexSim	30
Figura 20. Flujo de proceso.....	30
Figura 21. Resultados de prueba validación (miles)	35
Figura 22. Comparación de Resultados Netos (Hipótesis 3)	39
Figura 23. Comparación de Costos (Hipótesis 1,2,3)	40

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Detalles por plantación etapa: P (En producción), D (En desarrollo).....	16
Tabla 2. Frecuencias proceso de polinización / hectárea / año.....	20
Tabla 3. Frecuencias proceso de control fitosanitario / hectárea / año	22
Tabla 4. Frecuencias proceso de fertilización / hectárea / año	24
Tabla 5. Frecuencias proceso de mantenimiento del cultivo / hectárea / año	24
Tabla 6. Frecuencias proceso de cosecha / hectárea / año.....	25
Tabla 7. Parametrización de variables por proceso	31
Tabla 8. Hectáreas por plantación, material y etapa.....	32
Tabla 9. Escenarios propuestos: 1 (Orgánico), 0 (Convencional)	32
Tabla 10. Edad de la siembra por etapa.....	34
Tabla 11. Costos convencional vivero/siembra/renovación	34
Tabla 12. Costos orgánica vivero/siembra/renovación.....	35
Tabla 13. Costos convencional etapas (en desarrollo / en producción)	36
Tabla 14. Costos orgánica etapas (En desarrollo / En producción)	36
Tabla 15. Precios semestrales 2016 – 2020 del Fondo Fomento Palmero.	37
Tabla 16. Hipótesis 1. Nivel de producción orgánico inferior al convencional	38
Tabla 17. Hipótesis 2. Nivel de producción orgánica igual al convencional	38
Tabla 18. Hipótesis 3. Nivel de producción orgánico superior al convencional	38
Tabla 19. Tabla porcentaje de confianza de Resultados Netos (Hipótesis 3)	39

GLOSARIO

Aceite de palma: El aceite de palma se extrae del mesocarpio del fruto de la semilla de la palma africana *Elaeis guineensis* a través de procedimientos mecánicos. El aceite de palma está compuesto de: 40 – 48% ácidos grasos saturados, principalmente palmítico, 37-46% ácidos grasos monoinsaturados, principalmente oleico y 10% ácidos grasos poliinsaturados.

Aceite de Palmiste: El aceite de palmiste es un aceite de origen vegetal obtenido por prensado mecánico de la almendra de palma o por solventes, normalmente utilizado el hexano. El aceite de palmiste se caracteriza por ser bastante saturado (> 80%) y rico en ácidos grasos de cadena media (60-65% de láurico + mirístico)

***Elaeis guineensis*:** Es una variedad de palma de aceitera, originaria de África occidental, de ella ya se obtenía aceite hace cinco milenios, especialmente en la Guinea Occidental.

Palma de aceite: La palma de aceite es una monocotiledónea, incluida en el orden Palmales, familia Palmaceae. La palma de aceite es el cultivo oleaginoso que mayor cantidad de aceite produce por unidad de superficie; con un contenido del 50% en el fruto.

Palma híbrida: Un híbrido es un cruzamiento controlado entre la palma americana y la palma africana. Estos componentes provienen generalmente de madres de palmas de aceite americana y polen de padres africanos. Traen garantías como el peso del RFF y porcentaje de extracción de aceite

Palmiste: Es el endospermo que se encuentra en el fruto de palma de aceite, también conocida como la almendra del fruto.

RFF: Los Racimos de Fruta Fresca son el producto final del proceso de productivo del cultivo de palma de aceite, el cual es entregado a plantas refinadoras encargadas del proceso de extracción del aceite crudo de palma.

Transición: Acción y efecto de pasar de un modelo de producción actual a otro distinto.

RESUMEN

La potencialidad de la producción agrícola en Colombia, y la participación del cultivo de palma de aceite en este sector, es relevante en la economía del país. Aunque ha tenido avances importantes en tecnificación y producción sostenible, no se evidencia la toma de decisiones estratégicas, tácticas u operativas apoyadas con herramientas de simulación. Se realiza un estudio de caso en la empresa Palmasol SAS ubicada en San Martín de los Llanos, departamento del Meta, con un área aproximada de 3.000 hectáreas, donde se implementa la herramienta de simulación para evaluar la viabilidad en la transición del modelo de producción actual convencional a una orgánica; y de esta manera contribuir al direccionamiento estratégico empresarial en el marco de las certificaciones orgánicas internacionales, para el desarrollo sostenible del sector. Para diseñar el modelo simulación, es necesario recopilar información partiendo de características propias de la producción de racimos de fruto fresco y hacer un análisis de las variables involucradas en el proceso de producción desde el vivero hasta la cosecha. Se realiza una revisión de datos de la empresa de un periodo de siete años con el fin de identificar las variables aleatorias que intervienen en el proceso. Algunas de las variables que se estudian son la duración, frecuencias y costos. El resultado permite identificar los impactos económicos de la transición entre los diferentes escenarios. Además, se diseña una herramienta para analizar hipótesis y escenarios de mejoras de los procesos del cultivo, que permite a los tomadores de decisiones identificar las mejores alternativas para el negocio.

2. INTRODUCCIÓN

La agricultura convencional ha demostrado tener una serie de falencias en sus procesos ecológicos y socioeconómicos, haciendo urgente la necesidad de integrar estos términos y evaluarlos para identificar las mejores alternativas en su transición a una agricultura orgánica o con mejores prácticas productivas sostenibles. A partir del diagnóstico sectorial (Voronkova et al., 2019), se recomienda que dicha transición sea fundamental para dar solución a mitigar los impactos ambientales de la actualidad, calidad del producto y eficiencia económica.

Existen varios estudios a nivel mundial, entre ellos se resalta el de Voronkova et al (2019), realizado en Rusia, y específicamente enfocado a la producción de cereales. En este trabajo, se explora el potencial de cada una de las regiones del país a nivel agrícola, y se presenta el objetivo a largo plazo para adopción de una alternativa de transición a una agricultura orgánica; aportando además de los beneficios sociales, en la reducción de enfermedades, trastornos genéticos. Se identifica un potencial desarrollo económico teniendo en cuenta su ventaja competitiva, ya que este país representa el 20% de las reservas de agua dulce y el 9% de la tierra cultivable del planeta.

Para analizar los contrastes entre la agricultura orgánica y la convencional, se debe tener en cuenta además el método de producción adoptada, la cual según Patil et al (2014) puede ser evaluado por medio de indicadores económicos (rendimiento, costos de insumos, retornos netos) y ambientales (pérdida de nutrientes, balance de nutrientes, uso del agua, índice de biocidas); logrando evidenciar su comportamiento en distintas variables. En el trabajo realizado por los autores, se comparó la sostenibilidad de las prácticas agrícolas orgánicas y convencionales en una región seca (Chitradurga, India), y una región más húmeda (Mysore, India) para el año 2009 y 2015, donde se demuestra que la agricultura orgánica tiene potencial para aumentar los retornos netos, reducir los riesgos de malas cosechas y reducir los impactos ambientales; la sostenibilidad en ambas regiones puede incrementarse con una mejor gestión de los nutrientes.

El proceso de transición de la agricultura orgánica a la convencional regularmente se da como resultado por la necesidad de adquirir o continuar con certificaciones de sostenibilidad ambiental como RSPO (The Roundtable on Sustainable Palm Oil). Este fenómeno puede ser el resultado de distintas prácticas, como el caso en donde los consumidores y productores de los países desarrollados, y especialmente de Europa, se están familiarizando con las normas que definen la calidad y el origen geográfico de los productos alimenticios. Estos consumidores están dispuestos a pagar el precio más alto por un producto con etiqueta DOP (Denominación de origen protegida) o procedente de la agricultura ecológica (Rival et al., 2016).

Acosta et al (2019) realizaron una evaluación de la producción orgánica mediante Voluntary Sustainability Standards (VSS), en las cadenas de valor de aceite de coco en Filipinas, identificando la importancia del desarrollo sostenible, económico y social y el cual se encuentra integrado con las nuevas perspectivas del mercado nacional e internacional. En su estudio, logran identificar la cadena de valor y la incidencia de cada uno de sus agentes para que la certificación sea mucho más efectiva. De modo similar, en términos socioeconómicos, se han identificado los factores que afectan la adopción de las certificaciones orgánicas en cultivos como el del árbol del té en Nepal. El estudio de Mishra et al (2019) rescata la importancia de adoptar la certificación para la expansión internacional, fortalecimiento de la marca y el adecuado manejo bajo los estándares ambientales. Con referencia a las barreras identificadas en la adopción de la misma se rescata: el bajo poder de negociación de los agricultores, problemas de transporte local, escasez de mano de obra y en la claridad de esquemas de certificación.

Ahora bien, el estudio titulado “Agricultura orgánica: oportunidades y desafíos” (Eguillor, 2018), define que, el interés de los agricultores para entrar al negocio de la agricultura orgánica, requiere acompañamiento técnico y económico, en especial en el período de transición entre la práctica convencional y la nueva práctica. Adicionalmente, se menciona que, aunque Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea han logrado acuerdos bilaterales, los productores fuera de estos bloques económicos tienen dificultad para cumplir con los múltiples estándares y certificaciones para poder exportar sus productos, ante el desafío de homogeneizar a nivel global los estándares de producción y de certificación orgánica. Así mismo, Oelofse et al (2010) afirman que las condiciones de acceso a la agricultura orgánica certificada dependen en gran medida del tipo de apoyo externo que se ofrece a los agricultores, ya sea por parte de empresas contratistas u otras partes interesadas.

A nivel general, en la literatura no se evidencia el uso de herramientas de modelado o simulación para representar procesos agrícolas. La simulación de eventos discretos se considera como una técnica factible en el análisis de operaciones agrícolas según lo mencionado por Aracena et al (2007), quienes en su aplicación analizaron una variedad de alternativas de la operación que serían impracticables de llevar a cabo por los altos costos que esto involucraría. Algunos aspectos relevantes en el uso de la herramienta son: la captura de datos, la generación del modelo, la verificación de la simulación, la factibilidad y facilidad de modificación de datos para la ejecución de una corrida experimental. Por otro lado, el modelo propuesto por Olabisi et al (2015) identifica múltiples conjuntos de variables de entrada que denotan características socioeconómicas, de comportamiento y ecológicas de los agricultores y del sistema agrícola. Este estudio reveló un alto grado de complejidad en la toma de decisiones de los agricultores, a través de la simulación basada en agentes con efectos interactivos entre las variables de decisión que explican un tercio de la variación en las tasas de adopción orgánica. Las mejoras de rendimiento y la difusión de información a través de las redes sociales parecen ser los principales impulsores de la adopción orgánica, lo que justifica una mayor investigación y atención de modelos.

De modo similar Aggarwal et al. (2006), propone el modelo InfoCrop de cultivo dinámico genérico, el cual proporciona una evaluación de elementos como el clima, la variedad, las plagas, el suelo y las prácticas de manejo sobre el crecimiento y el rendimiento de los cultivos; así como la dinámica del nitrógeno y el carbono orgánico presente en el suelo y las emisiones de gases de efecto invernadero. El modelo básico está escrito en el lenguaje de programación Fortran Simulation Translator, y aunque este modelo no fue aplicado en contextos de agricultura orgánica, demuestra a través de herramientas de simulación es posible evaluar indicadores como los rendimientos de los cultivos y los impactos ambientales. Con relación a la academia, como actor impulsador en certificaciones y metodologías de simulación, Utomo et al (2018) dedica una revisión de literatura sobre la cadena de suministro agroalimentario (ASC) y su uso en la simulación como principal herramienta de modelado. Los hallazgos de esta investigación demuestran que la cantidad de artículos que abordan las políticas de ASC ha aumentado, lo que sugiere que los investigadores han comenzado a aplicar la simulación para la toma de decisiones en el mundo real.

El proceso de transición de la agricultura convencional a orgánica demuestra beneficios en factores ambientales y socioeconómicos para los productores, teniendo como elemento clave las certificaciones de los procesos para un adecuado desarrollo; sin embargo, se resaltan algunas series de restricciones relacionadas al costo técnico y financiero de su aplicación, es por ello que, la aplicación de simulaciones permite caracterizar el sistema y cada uno de los procesos internos que lo conforman para así lograr evidenciar a través de escenarios los beneficios de la transición y posibles restricciones del proceso. La simulación y posterior comparación de ambos escenarios

(convencional y orgánico) ha sido aplicado en diversos cultivos y por lo tanto resulta pertinente aplicarlo en el cultivo de palma.

2.1 Justificación

La capacidad de aprovechamiento del suelo para la explotación agrícola del país, es demostrada en el Censo Nacional Agropecuario 2014 “Hay campo para todos” (DANE, 2014), que presenta resultados importantes en el uso del suelo en Colombia. El área total para uso agropecuario asciende a 42.3 millones de ha (hectáreas), de ellas, el 80% se destinaron a pastos (33.8 millones de ha.) y las restantes 8.4 millones de ha (19.8%) tuvieron un uso agrícola. Del total de hectáreas de uso agrícola, el 83.9% pertenece a cultivos; 5.3 millones de ha. a cultivos permanentes (74.8%) y 1.1 millones de ha a cultivos transitorios (16.0%),

El estudio titulado “construcción de un modelo de agricultura competitiva en Colombia”, realizado por (Technoserve, 2015)¹ es desarrollado para impulsar el sector y al máximo las capacidades del país, buscando priorizar los cultivos que tendrían un mayor potencial para promover el crecimiento del sector, según el resultado, la palma africana es un cultivo de interés en la economía nacional debido a la creciente demanda a nivel mundial de sus productos; generando la necesidad de ser priorizado en el sector agrícola nacional por la cantidad de derivados que suplen las necesidades de un gran número de industrias, el aumento del uso de los biocombustibles, los precios al alza y la disponibilidad de la tierra en el país hacen de este cultivo un blanco a priorizar (Revista Dinero, 2018).

Colombia es el cuarto productor de aceite de palma en el mundo y el primer productor en América, seguido por Ecuador y Honduras. En la actualidad el país cuenta con 500 mil hectáreas destinadas a este tipo de cultivo, ubicadas en 152 municipios de 21 departamentos. Así mismo, hay 64 núcleos con planta extractora activa que congregan alrededor de 6.000 productores (Fedepalma, 2017). La agroindustria de la palma de aceite es uno de los grandes actores en el agro nacional, que se ha destacado por su desarrollo económico, social y sostenible. Según datos (Fedepalma, 2019) el sector palmero produce 1,8 millones de toneladas de aceite de palma y de palmiste, con un valor de producción en cerca de USD 1.2 billones, considerándose como el producto nacional de mayor impacto después del cultivo de café y ocupando el sexto lugar en el sector agrícola teniendo una participación del 8% en el PIB agrícola nacional. En términos socioeconómicos, el sector genera alrededor de 180.000 empleos directos e indirectos, siendo un factor primordial para el desarrollo económico de las regiones donde se realiza esta actividad; sin embargo, uno de los elementos de mayor controversia es el impacto ambiental que puede traer su desarrollo.

Los procesos de producción agrícola convencional traen efectos negativos para el medio ambiente, aportando en la emisión de gases efecto invernadero y siendo un factor clave en el cambio climático (Balogh & Jámbor, 2020). Además, se reportan daños en la salud pública por el exceso de agroquímicos, impactos en la calidad física y microbiológica del suelo (Burbano-figueroa et al., 2020), una elevada participación en el consumo de agua en la irrigación, etc.; lo que indica la necesidad de reducir el uso de agroquímicos en el sector y hacer un uso racional de los recursos no renovables (Zhao et al., 2020). En consecuencia, alternativas de certificación son fundamentales en la búsqueda de la producción orgánica, los productos orgánicos certificados satisfacen las opciones de ingresos más altos para los agricultores y, por lo tanto, pueden servir como promotores de prácticas agrícolas respetuosas con el clima en todo el mundo. Así mismo, se pueden rescatar elementos como: una correcta trazabilidad de producción, una

¹ Organización sin ánimo de lucro en pro de soluciones comerciales para disminuir la pobreza.

alta visualización por su valor agregado en el mercado nacional e internacional, esquemas de producción mejor administrados que conllevan a tener facilidades en asociatividad y gerencia empresarial, beneficios ambientales con la implementación de metodologías regidas bajo una normatividad ambiental (Guevara Ibarra, 2019).

Dado que los pequeños agricultores representan el 40% de la producción mundial de aceite de palma, el financiamiento de los esquemas de certificación para los pequeños agricultores adquiere más importancia que nunca. Para obtener credibilidad pública, los esquemas de certificación deben basarse en pruebas científicas sólidas, evaluadas y compartidas (Rival et al., 2016). Es por esta razón que se propone, a través de este proyecto, una respuesta basada en el diseño de un modelo de simulación para el análisis de toma de decisiones estratégica. La nueva agricultura aplicada en Colombia debe dejar a un lado el pensamiento de tecnología como el uso de herramientas dura o maquinaria robusta, y alinearse con los enfoques internacionales que proponen tecnologías no solo tangibles; sino además intangibles que logren obtener una producción agrícola competente por medio de modelación, sistemas inteligentes, planeación estratégica, entre otras.

A través de la revisión de la aplicación de modelos de simulación en la agricultura, (Martínez et al., 2011) recomienda la aplicación de la simulación cuando se pretende modificar un sistema que involucra un gran número de componentes y relaciones, para experimentar los cambios a través de distintos escenarios antes de llevarlos a la práctica, especialmente cuando estos impactan objetivos críticos, como la seguridad agroalimentaria, el manejo y conservación de recursos naturales, rentabilidad de los sistemas, entre otros. Además, es una herramienta que permite tomar decisiones rápidas sobre un sistema que en su implementación tomaría un periodo de tiempo considerable. La aplicación de normas y el acceso a mercados certificados, impacta de una manera compleja la economía de los productores agrícolas. Además puede afectar positiva o negativamente los costos de producción, los rendimientos y los precios al productor, los que deben ser analizados en conjunto (Mishra et al., 2019).

El propósito de este trabajo va direccionado diseñar la simulación de un modelo que permita analizar la transición de una producción agrícola convencional a una producción orgánica, como contribución al proceso de toma de decisiones estratégicas. Partiendo del análisis de los factores o aspectos más significativos de la producción de racimos de fruto fresco (RFF) en el cultivo de palma de aceite; con base en el modelo actual de producción convencional, y por otra parte considerando las practicas comunes de producción orgánica requeridas por las certificaciones *Japanese Agricultural Standard For organic Processed foods* (JAS), *USDA- AMS National Organic Program* y el *Reglamento (CE) N° 889/2008*; certificaciones que permiten el acceso a mercados internacionales para la exportación de aceite certificado para el uso en la industria de alimentos en Japón, Estados Unidos y la Unión Europea, respectivamente. Analizando la relación costo - beneficio de dicha implementación en consideración a las primas concedidas en la venta; las cuales se establecen en función de la oferta y la demanda, y que para el año 2019 estuvieron el promedio de USD\$150 por tonelada de aceite.

Para la selección del caso de estudio, se analizó que la estrategia empresarial estuviera direccionada al compromiso de desarrollo socioeconómico y a la aplicación de herramientas y prácticas de cultivo, que se encuentren en armonía con el medio ambiente, Palmasol a través de su misión, visión y objetivos empresariales. Actualmente la empresa cuenta con certificaciones internacionales que demuestran su responsabilidad con una producción amigable con el medio ambiental a través de *ISSC (International Sustainability Carbon Certification)* y *RSPO (The Roundtable on Sustainable Palm Oil)*.

Según García Jacobo (2020), el comportamiento de un sistema que progresa a través del tiempo se puede experimentar mediante el desarrollo de un modelo de simulación. Es por ello que se considera apropiada la implementación de una simulación de escenarios planteados que muestren un proceso de transición de un modelo de producción convencional a un modelo de producción orgánica. Adicionalmente, menciona que software de simulación, como el de eventos discretos permiten simular escenarios y alternativas para la toma de decisiones, validar la planificación de la producción y la capacidad de trabajo.

El desarrollo de esta temática se alinea con distintos elementos de la ingeniería industrial, teniendo en cuenta que la modelación y la simulación hacen parte de una metodología que permite diseñar y evaluar distintos escenarios, para la identificación de factores que serán vitales para un proyecto de este alcance. También se busca hacer una revisión a diferentes herramientas como el diseño de procesos, el VSM (Value Stream Mapping) para la toma de decisiones de alto impacto como el cambio de producción en la agroindustria, promoviendo a un avance en temas incipientes en el país como lo es la producción orgánica en el cultivo de palma de aceite.

Estos temas resultan fundamentales en la maestría en ingeniería industrial de la Pontificia Universidad Javeriana, dado que se enfoca en el desarrollo de conocimientos para abordar, analizar, evaluar y planear soluciones a problemas disciplinarios, interdisciplinarios o profesionales desde la perspectiva de la ingeniería industrial y específicamente para el beneficio del sector productivo. El cual requiere cada día, mayor innovación en pro del desarrollo sostenible. Colombia y el mundo, están llamados a mejorar sus prácticas productivas, y este trabajo sin duda responde al objetivo 12 de los objetivos de desarrollo sostenible, que tiene como propósito la producción y consumo responsables (DNP Departamento Nacional de Planeación, 2015), pues, la simulación proyectando escenarios de transición a la producción orgánica sustentaría algunas hipótesis sobre la viabilidad de la agroindustria en la implementación de buenas prácticas amigables con el medio ambiente.

3. OBJETIVO GENERAL

Diseñar la simulación de un modelo que permita analizar la transición de una producción agrícola convencional a una producción orgánica, como contribución al proceso de toma de decisiones estratégicas. Caso de estudio Palmasol SAS.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las variables y los procesos que permitan el desarrollo de una simulación del proceso productivo de la palma de aceite.
- Diseñar el modelo de simulación para escenarios planteados en el proceso de transición del modelo de producción, que permita integrar los componentes relacionados con: áreas de cultivo, aspectos logísticos e insumos de información técnica agronómica.
- Implementar la simulación en el caso de estudio Palmasol SAS y evaluar la viabilidad financiera en el proceso de transición del modelo de producción.

5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Fase I. Caracterización de especificaciones y determinación de requerimientos

Esta primera fase se basó en la descripción del proceso general del cultivo de palma de aceite, determinando las entradas y salidas de cada proceso de manera que se identificara los elementos claves y diferenciadores de la transición del modelo productivo convencional a uno orgánico. La herramienta utilizada para la descripción del flujo de proceso fue Bizagi, la cual permite identificar el flujograma de actividades que se presentan en cada proceso, soportado por un diagrama de entradas y salidas.

La primera fase fue direccionada a una caracterización del proceso productivo desde el punto de vista técnico del cultivo de palma de aceite en Colombia, y específicamente de acuerdo con las condiciones de la Zona Oriental; donde se describen de manera general aspectos como: suelo, especificaciones del cultivo, planes de fertilización, control de malezas, control de enfermedades y plagas, cosecha, entre otros. Es importante tener en cuenta que la información de aspectos técnicos del cultivo fue un insumo de información proporcionada por profesionales agrónomos, los cuales para el desarrollo del proyecto no fueron determinados, ni evaluados en el alcance definido. Los aspectos y diferencias que se enfrentan en la transición del modelo productivo convencional al orgánico se realizaron por medio de la consulta a expertos, profesionales agrónomos, e investigaciones relacionadas al ciclo de vida de la palma de aceite.

El resultado de esta primera fase sirvió como marco de referencia de los procesos, características del cultivo y frecuencias genéricas del modelo convencional y orgánico, aplicadas para el desarrollo del modelo de simulación. La herramienta VSM (Value Stream Mapping) fue utilizada para conglomerar la información de esta primera fase, y permitir dar una secuencia y estructura a la simulación en la segunda fase.

Fase II. Diseño del modelo de simulación

Teniendo en cuenta las ventajas de la aplicación de los modelos de simulación en la planificación y gestión estratégica de las empresas (Martínez et al., 2011), el propósito es continuar en esta línea de simulación en empresas del sector agrícola de Colombia, y más específicamente en el sector palmicultor.

De acuerdo con el VSM realizado en la anterior fase, se procedió inicialmente a plasmar la estructura del proceso productivo de la palma de aceite en el software FlexSim, (FlexSim , 2021) esta herramienta de simulación de eventos discretos permite por medio de la representación de los procesos y variables tener un acercamiento de un escenario real de la producción de palma de aceite. Entendiendo que el proceso de cultivo presenta dinamismo y cambios constantes se identificaron las frecuencias y distribuciones de los procesos a través de datos históricos de Palmasol.

Fase III. Implementación del diseño y validación de la herramienta

Con el propósito de analizar e implementar el prototipo, se ejecuta la simulación a al caso de estudio Palmasol SAS, donde se puedan validar escenarios propuestos, así como la estrategia de transición adaptando la producción orgánica.

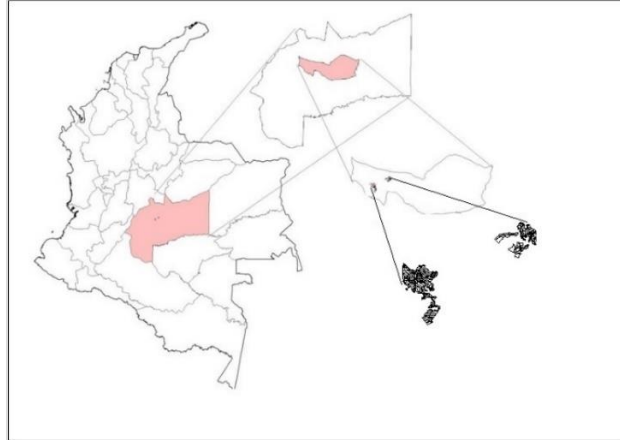
Para la definición de escenarios se tuvo en cuenta criterios de decisión por plantaciones, cantidad de hectáreas y material. Adicionalmente la consideración de tres hipótesis afectando la productividad en el modelo orgánico, disminuyendo, manteniendo y aumentando la producción frente al modelo convencional. Este proceso se realizó por medio del módulo Experimenter del software FlexSim.

Los resultados entregados por el trabajo de simulación corresponden a un análisis financiero basado en indicadores de costos, ingresos y resultados netos, dirigido a generar conclusiones relacionadas con la viabilidad de la transición del modelo convencional a orgánico, con la finalidad de acogerse a certificaciones de producción orgánica.

6. CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES Y LOS PROCESOS

Palmasol S.A.S. es una empresa cultivadora de palma de aceite, con aproximadamente 3.000 hectáreas sembradas en la zona oriental de Colombia, en el municipio de San Martín de los Llanos, Meta. Está constituida en cuatro plantaciones: Palmasol, Malasia, Caracolí y Manapure. Con 28 cultivos de siembras entre los años 1988 y 2020. La plantación produce alrededor de 40.000 toneladas de RFF/año. La plantación es gestionada a través de la sincronización de los aspectos técnicos agronómicos, logísticos y de talento humano.

Figura 1. Ubicación geográfica Palmasol SAS



Fuente: Palmasol S.A.S.

Figura 2. Plantaciones Palmasol SAS

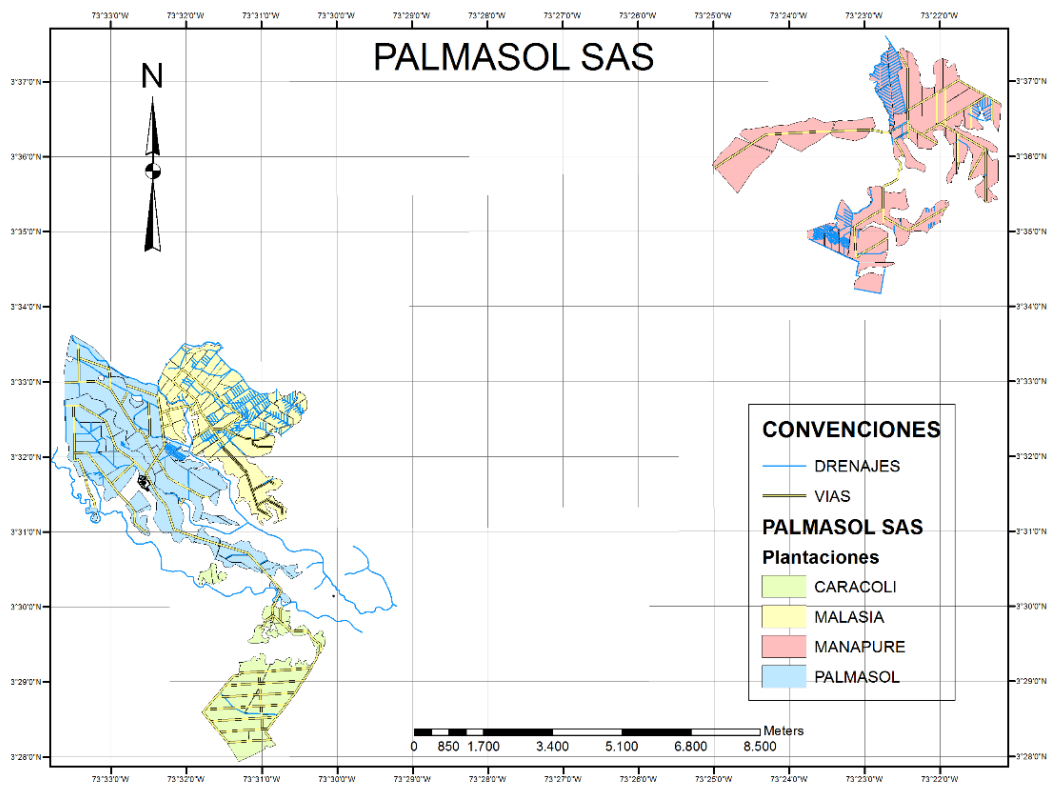


Figura 3. Cultivos rangos de edad Palmasol, Malasia, Caracoli

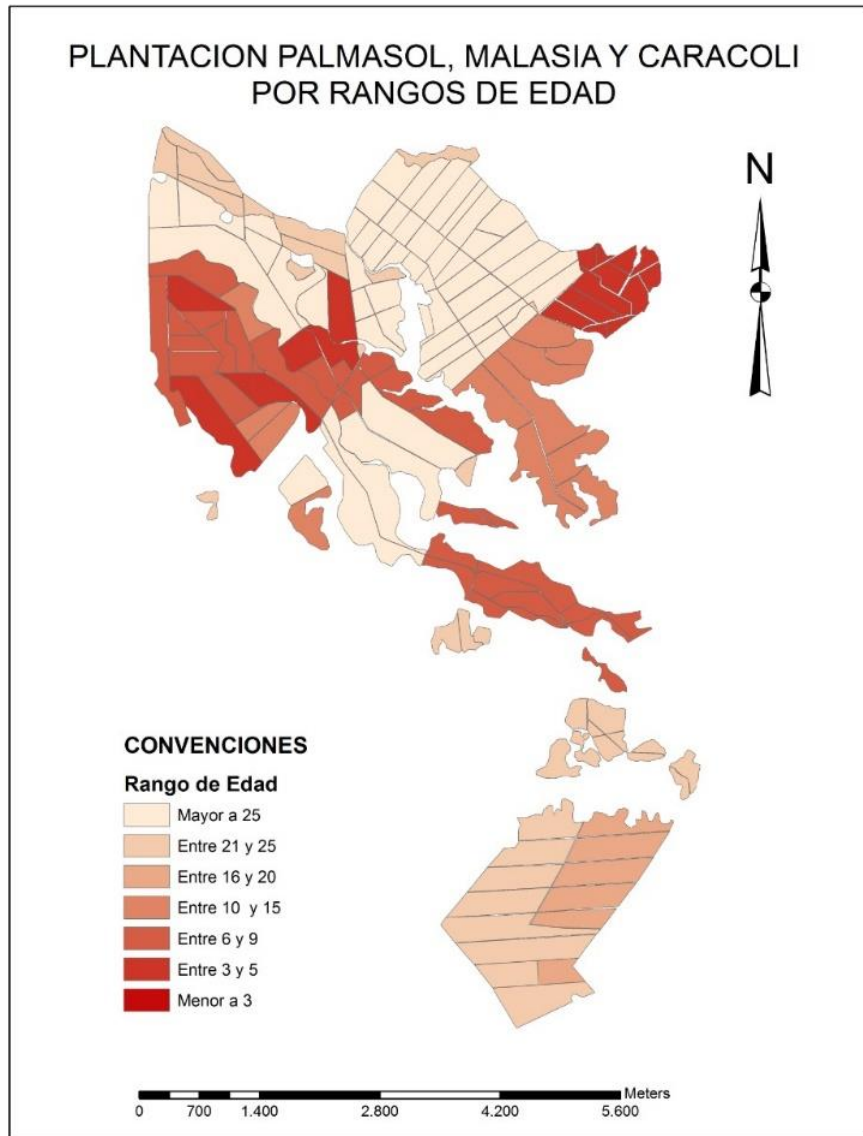
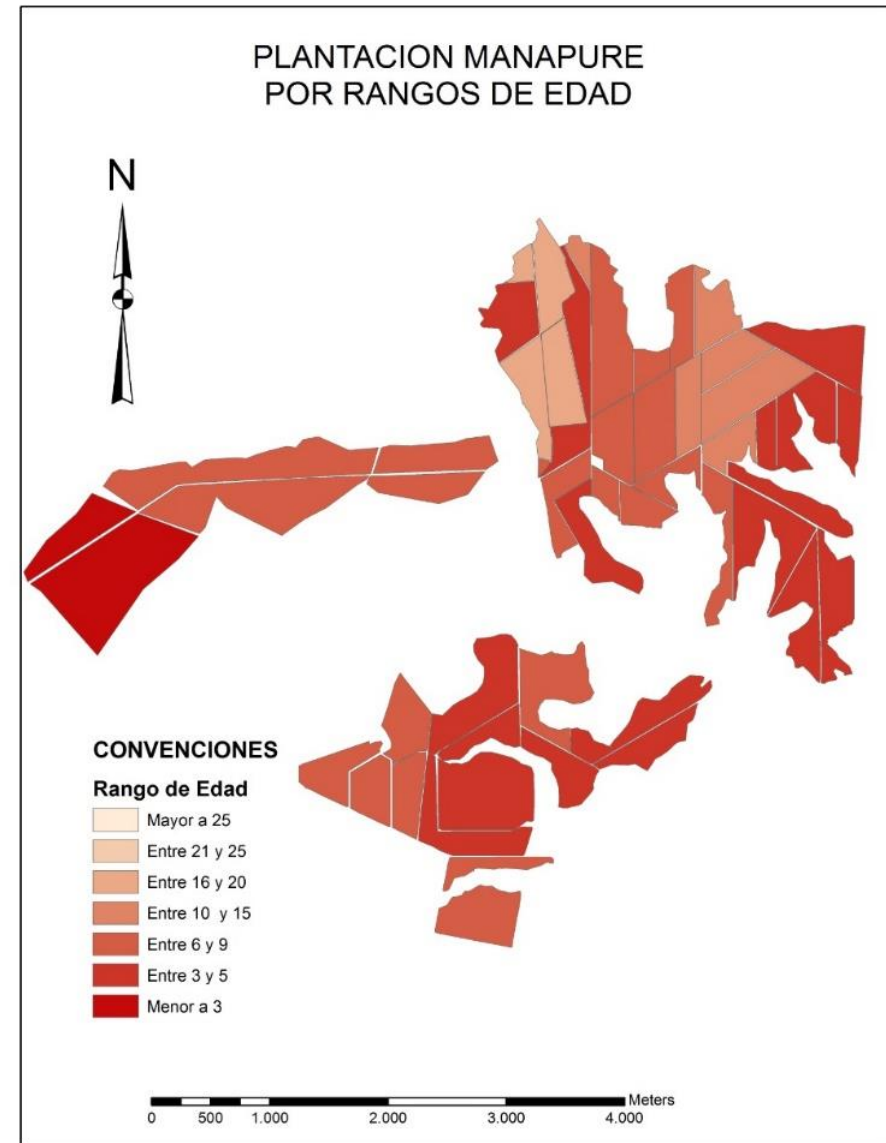


Figura 4. Cultivos rango de edad Manapure



6.1 Generalidades del caso estudio Palmasol SAS

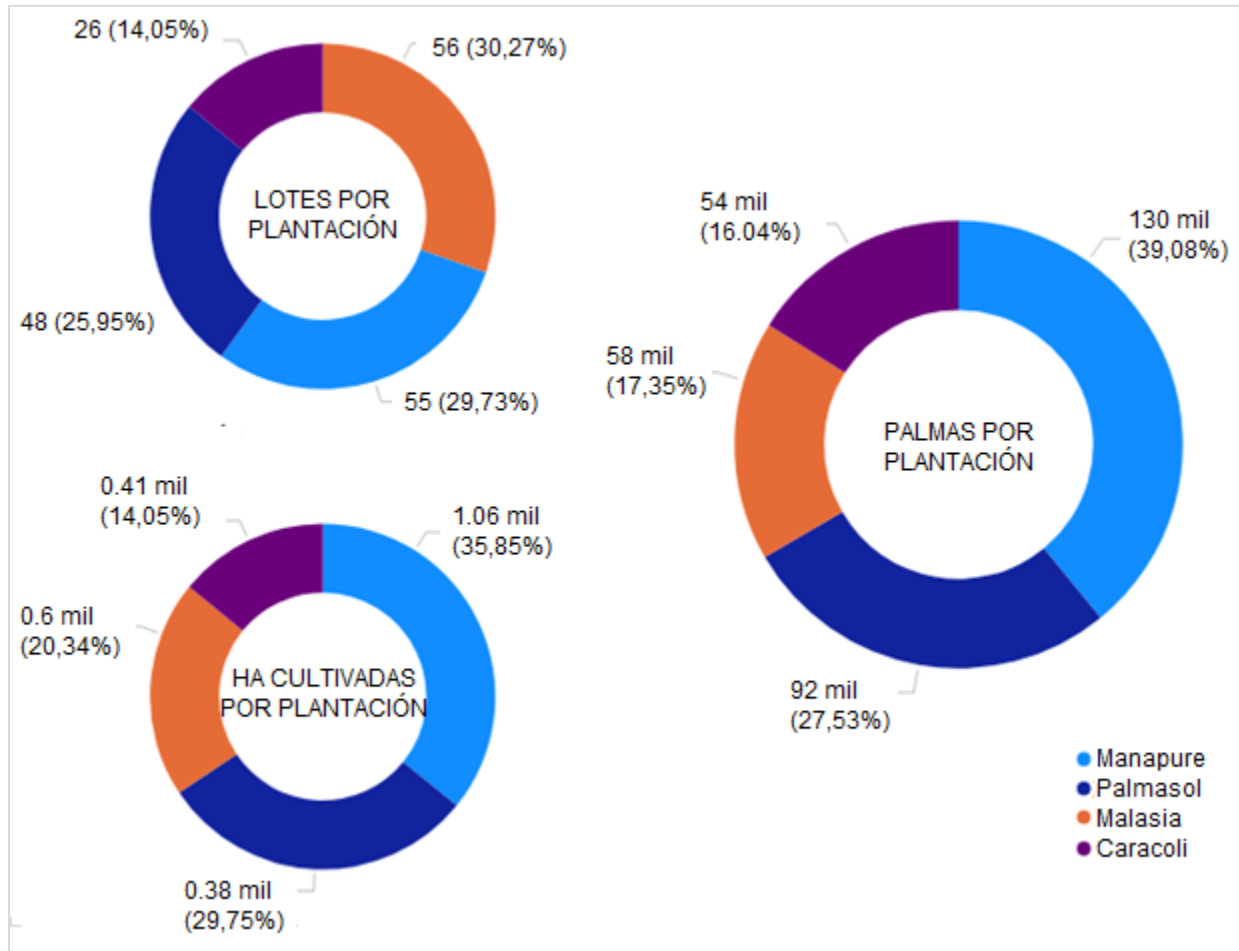
El detalle de la información sobre componentes relacionados a las plantaciones (Caracoli, Malasia, Manapure y Palmasol) fue tomado de la información financiera de Palmasol SAS entre los periodos 2014 al 2020, la cual se encuentra catalogada por plantación, centros de costos y cultivo, y se detalla la información de producción, precios de venta y costos directos e indirectos de cada una de las actividades. Adicional se cuenta con fuentes de información agronómica sobre las plantaciones y su distribución en relación con la siembra (año cultivo), hectáreas, palmas cultivadas y cantidad de lotes. El detalle de esta información es dado en la tabla 1.

Tabla 1. Detalles por plantación etapa: P (En producción), D (En desarrollo)

Plantación	Siembra	Etapa	Guineensis		Hibrido		Total, Lotes	Total, HA
			Cantidad Lotes	Cantidad HA	Cantidad Lotes	Cantidad HA		
Caracoli	1999	P	8	209,53			8	209,53
	2000	P	17	198,87			17	198,87
	2005	P			1	5,47	1	5,470
Malasia	1993	P	26	265,70			26	265,70
	2000	P	4	17,81	1	0,30	5	18,11
	2011	P			8	189,65	8	189,65
	2016	P			8	64,60	8	64,60
	2016	P	3	21,00			3	21,00
	2018	D			6	40,20	6	40,20
Manapure	2005	P			4	43,08	4	43,08
	2009	P	2	64,15			2	64,15
	2010	P	2	37,80			2	37,80
	2010	P			1	4,40	1	4,40
	2012	P			6	105,75	6	105,75
	2013	P			4	142,71	4	142,71
	2015	P			12	230,31	12	230,31
	2016	P			11	225,67	11	225,67
	2017	P			7	75,04	7	75,04
	2018	D			3	52,50	3	52,50
	2018	D	1	28,80			1	28,80
2020	D	2	50,10			2	50,10	
Palmasol	1988	P	7	258,72			7	258,72
	1997	P	10	87,55			10	87,55
	2010	P			4	55,15	4	55,15
	2012	P			5	77,87	5	77,87
	2013	P			2	57,40	2	57,40
	2014	P			13	215,02	13	215,02
	2016	P			2	42,27	2	42,27
	2017	P			5	82,25	5	82,25

La figura 5, muestra la participación porcentual de acuerdo a lotes, hectáreas y número de palmas en cada una de las cuatro plantaciones (Caracoli, Malasia, Manapure, Palmasol) siendo las dos últimas las de mayor participación en las variables mencionadas.

Figura 5. Participación lotes – hectáreas – palmas por plantación



La figura 6 y 7, muestran el nivel de producción de kg de RFF de las diferentes palmas a través de los siete años, esta información determina la producción que fue generada por cada una de las plantaciones, identificando el año 2017 como el de mayor nivel de producción en los años evaluados.

Figura 6. Producción (kg) por año



Figura 7. Producción (kg) por año y plantación

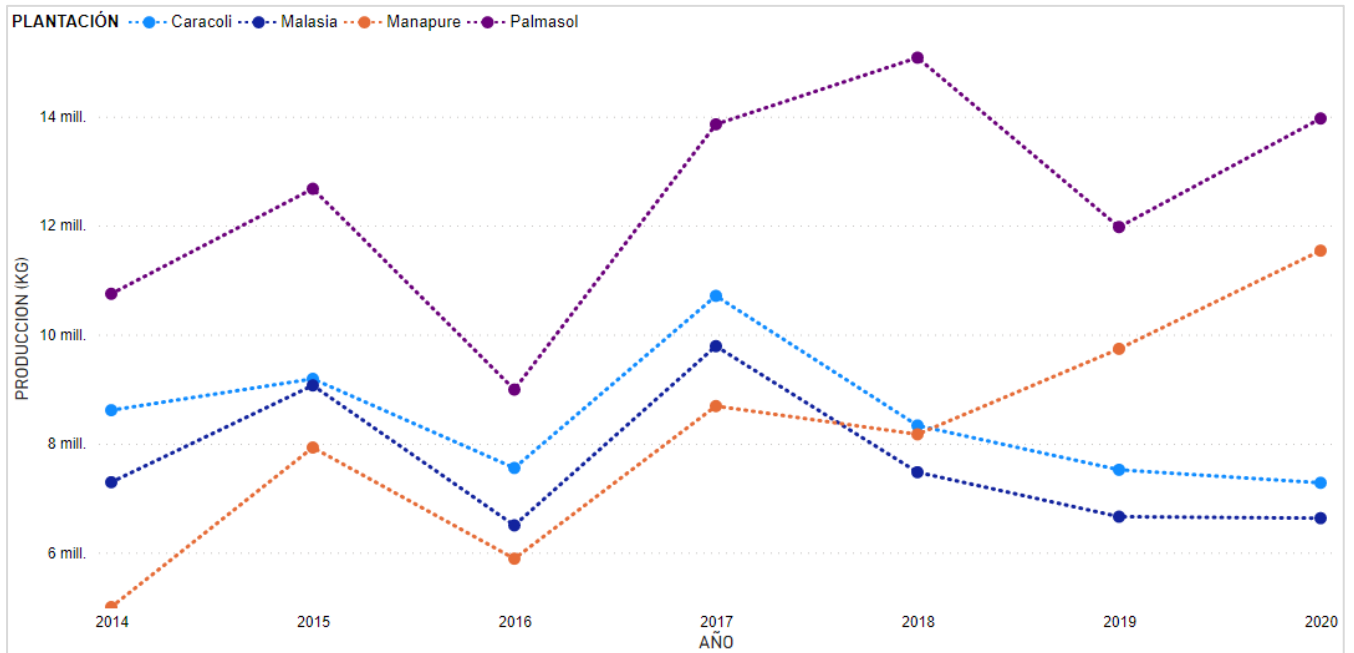


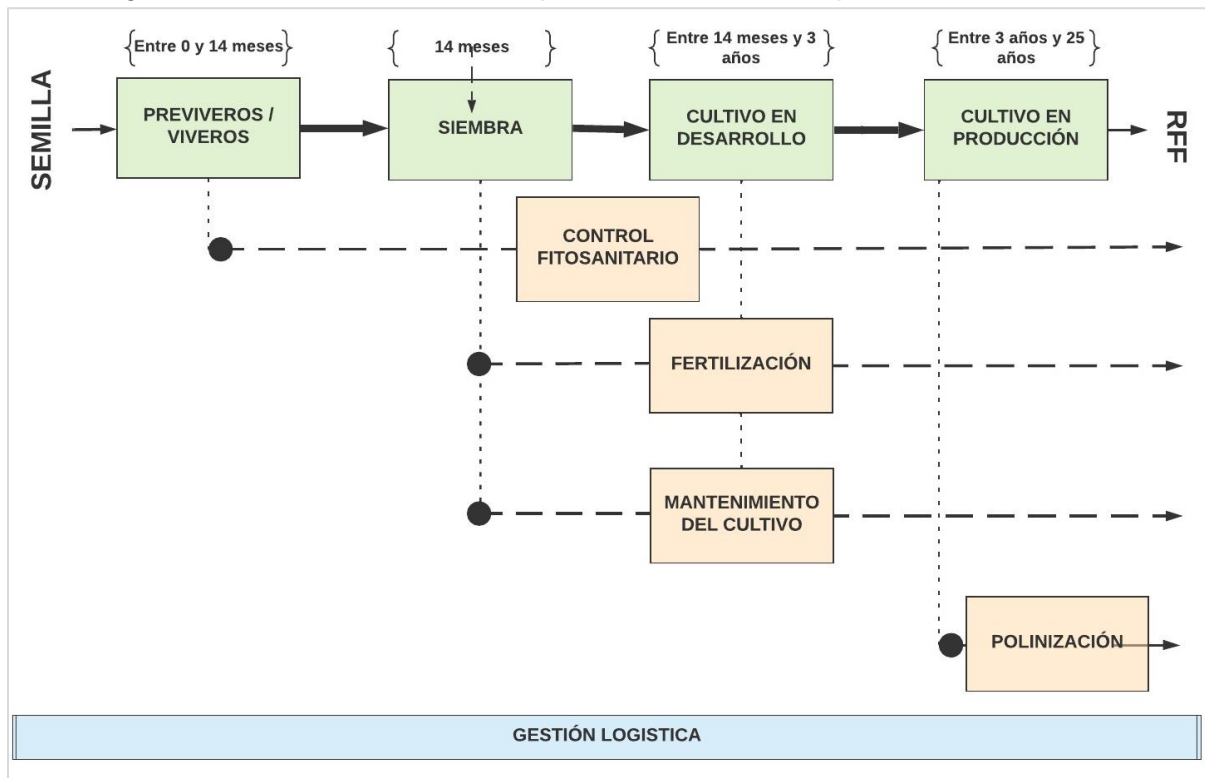
Figura 8. Total, costos (kg) por año



6.2 Descripción del proceso

El cultivo de palma de aceite inicia con la entrada al proceso de una semilla la cual atravesara una serie de procesos (previvero, viveres, siembra, controles fitosanitarios, fertilización, mantenimiento y cosecha), teniendo como resultado la obtención de RFF. Cada uno de los procesos mencionados interacciona en diferentes etapas del cultivo, que son visualizados por medio de la figura 9. A continuación, se presenta para cada uno de los procesos enunciados una descripción detallada que permite comprender con mayor claridad el proceso productivo, de acuerdo con las necesidades del cultivo. (Anexo 1)

Figura 9. Procesos del cultivo de palma de aceite en empresa Palmasol S.A.S



a) Previvero / Vivero

Este proceso es de gran importancia para los productores de RFF de palma de aceite, como fase inicial de su cultivo, al considerarse su punto de partida cuenta con actividades desde la compra de la semilla hasta la selección y clasificación de esta. Una vez se cumple con los términos de calidad necesarios para garantizar un cultivo productivo, se procede a realizar la siembra en el previvero. Satisfactoria la fase de previvero, se realiza el trasplante a vivero, como se visualiza en la figura 10.

En el caso de estudio Palmasol SAS, ha realizado compra de semillas para los últimos viveros con características híbridas, que a diferencia del material *Elaeis guineensis*, garantiza protección contra agentes patógenos que han atacado al cultivo de palma fuertemente en los últimos años como *Phytophthora palmivora* (agente causal de la pudrición de cogollo) y el insecto *Haplaxius crudus*, causante de la Marchitez letal.

b) Siembra / Renovación

Para continuar con el proceso de siembra del vivero se realiza un estudio del diseño de la plantación de acuerdo con análisis de suelos, para esto se deben tener en cuenta algunas condiciones especiales respecto al suelo donde se realizará la siembra. En el caso de suelos que cuenten con cultivos existentes se debe realizar un proceso de renovación por medio de una erradicación y picado de las palmas existentes, que servirán como base orgánica para el nuevo cultivo. Caso contrario si son nuevas áreas, se procede con la siembra de manera automática.

Para continuar con la siembra de los viveros se realiza un trazado basado en el diseño de plantación ya definido, en donde se comprende los principios de alineación, orientación y distancia de la siembra, como parte del trazado se realiza un estaquillado, se procede con el ahoyado de la palma para generar los orificios y facilitar la siembra, se aplica el compost definido y finalmente se siembra la palma, el proceso se detalla por medio de la figura 11. Es importante tener en cuenta que para esta fase se debe contar con el proceso logístico del traslado de las palmas del vivero al lote definido para la siembra. También es importante resaltar, que para el caso de estudio al no haber compra de nuevos terrenos, este proceso solo se ejecuta en cultivos de renovación, donde siembras ya establecidas cumplen su ciclo de vida aproximadamente a los 25 años. Las frecuencias entonces, en el modelo corresponden a la necesidad de renovación de cultivos.

c) Polinización

La palma de aceite es una planta monoica (con inflorescencias separadas de macho y hembra) y requiere polinización cruzada para la formación y producción de RFF. La polinización puede darse de manera natural, artificial o asistida; se presenta de manera natural a través de insectos y el viento en cultivos de material *Elaeis guineensis* y de manera asistida o artificial, es decir, con intervención humana en la aplicación de polen a la flor, en cultivos de material *hibrido*; producción que se ve reflejada de 5,5 a 6 meses después de la aplicación.

Por medio de la figura 12 se define la polinización, el cual se da como un proceso de manejo agronómico importante en el caso de estudio de Palmasol donde se tienen 1.611 hectáreas, las cuales son atendidas por operarios agrícolas quienes polinizan las flores manualmente en campo. Este proceso de polinización inicia con un levantamiento de información cada 45 días a través del conteo de inflorescencias en campo, sobre esto se realiza un análisis para la planificación del personal. A partir de los insumos utilizados se tienen dos tipos de polinización de flores femeninas, lo cuales son: artificial y asistida, donde la diferencia potencial está dada por el producto utilizado. En el primer caso se emplea el producto "Poliniza 6", producto con polen y mezclado con componentes químicos, el cual ha mostrado eficiencia mejorando los porcentajes de extracción de aceite en un 25% de los RFF. Para el segundo caso se considera un producto orgánico constituido de una mezcla de talco más polen; aunque no garantiza el mismo porcentaje de extracción, si tiene menores costos por hectárea. Para ambos casos se requiere de repolinar la flor. En la tabla 2, se definen las frecuencias para el caso convencional y orgánico.

Tabla 2. Frecuencias proceso de polinización / hectárea / año

Proceso	Frecuencias por proceso / HA / año	
	Convencional	Orgánico
Polinización	8 veces / mes / ha 96 veces / años / ha	12 veces / mes / ha 144 veces / año / ha

Figura 10. Proceso de previvero / vivero

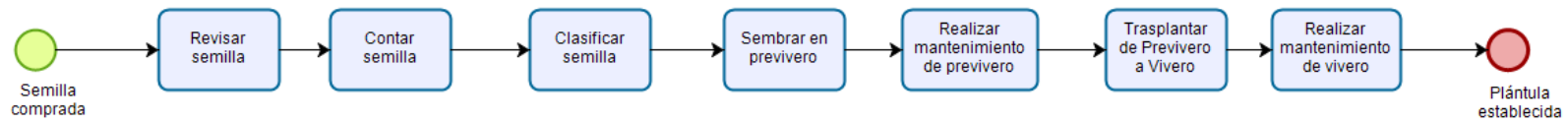


Figura 11. Proceso de siembra / renovación

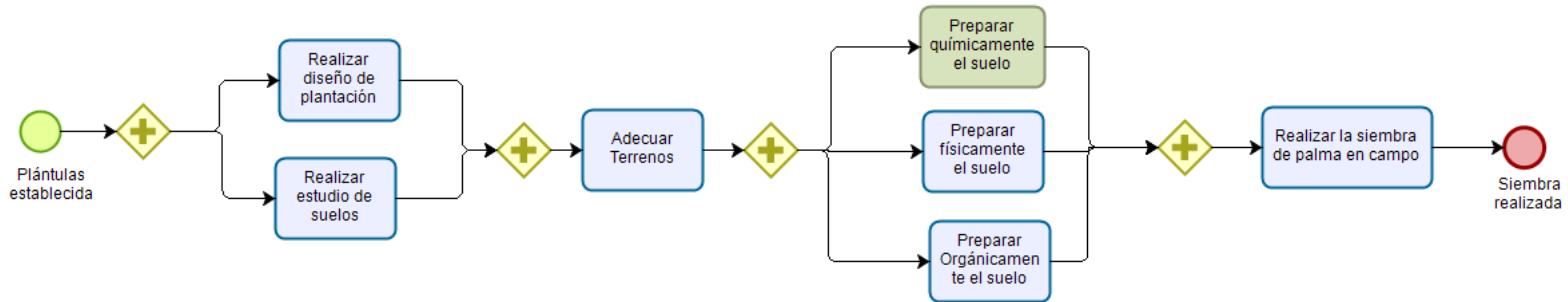
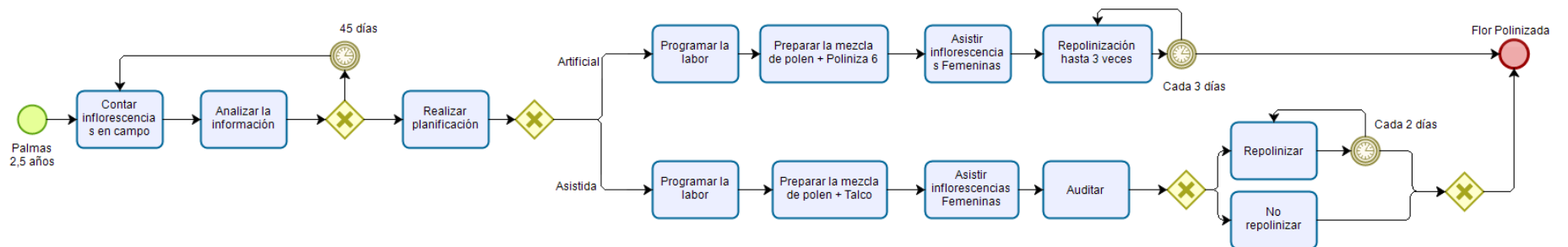


Figura 12. Proceso de polinización



d) Control Fitosanitario

Manejar la sanidad del cultivo se considera de igual manera uno de los procesos transversales que son necesarios en todas las etapas del cultivo, principalmente en desarrollo y productivo, para la efectividad de este se realizan una serie de actividades preventivas y correctivas. Para el caso de las preventivas se caracterizan actividades como eliminación de gramíneas, siembra de plantas nectaríferas, aplicación de materia orgánica (MO) en el plato, aplicación de biológicos y siembra de coberturas. En el caso de las correctivas se da inicio cuando se programan verificaciones de campo y se identifica una problemática sanitaria que no puede ser resuelta con las actividades preventivas, a partir de allí se debe analizar los tratamientos adecuados, la posterior ejecución del tratamiento y las auditorias de la tarea hasta que la problemática sea solucionada, dentro de los tratamientos más comunes se pueden identificar: realizar poda, erradicación, fumigación, control manual y cirugías, ver figura 13.

Para el caso de estudio, de acuerdo con lo definido en la tabla 3. el control fitosanitario en el modelo se plantea basado en características propias de la plantación, donde se estima acorde con la información histórica que entre el 15% y el 20% de las hectáreas sembradas son atacadas por plagas o enfermedades que afectan el cultivo, donde las más comunes corresponden a (ML) marchitez letal y (PC) pudrición de cogollo. Así mismo, se identifica que el control utilizado con mayor frecuencia es la fumigación.

Tabla 3. Frecuencias proceso de control fitosanitario / hectárea / año

Proceso	Frecuencias por proceso / HA / año	
	Convencional	Orgánico
Control fitosanitario	4 veces / año (para el 20% de ha totales)	4 veces / año (para el 15% de ha totales)

e) Fertilización

La fertilización es un proceso que tiene como objetivo garantizar los requerimientos nutricionales necesarios para que el cultivo alcance su mejor productividad en producción de RFF, de acuerdo con su edad, material, y recursos disponibles en el suelo o sustrato para el caso de previvero y vivero. En los cultivos establecidos ya sembrados en campo el punto de partida se da con tomas de muestras foliares y de suelos de cada cultivo, para con base a esta información de manera técnica el proceso agronómico pueda construir planes nutricionales. Una vez definido el plan, se realiza el requerimiento de insumos, donde una de las medidas más importantes corresponde al NPK (Nitrógeno, Fosforo, Potasio). En fertilización convencional se utilizan algunos productos de procedencia o tratamiento químico, por el contrario, para la producción orgánica se debe garantizar fertilización sin productos químicos, como el compost. Luego de contar con los insumos necesarios se realiza la programación y seguimiento de la labor de fertilización por cultivos como lo defina el plan nutricional, el proceso de fertilización se identifica por medio de la figura 14.

En el caso de estudio, la fertilización orgánica con compost se plantea como una ventaja competitiva. Esto teniendo en cuenta que el compost es elaborado a partir de los mismos subproductos de la palma que quedan del resultado de la extracción del aceite de los RFF entregados a la planta extractora que son sometidos a un proceso biológico aerobio (con presencia de oxígeno) que, bajo condiciones de ventilación, humedad y temperatura controladas, transforma los residuos orgánicos degradables en un material estable e higienizado rico nutricionalmente. Las frecuencias del proceso de fertilización se definen en la tabla 4.

Figura 13. Proceso Control fitosanitario

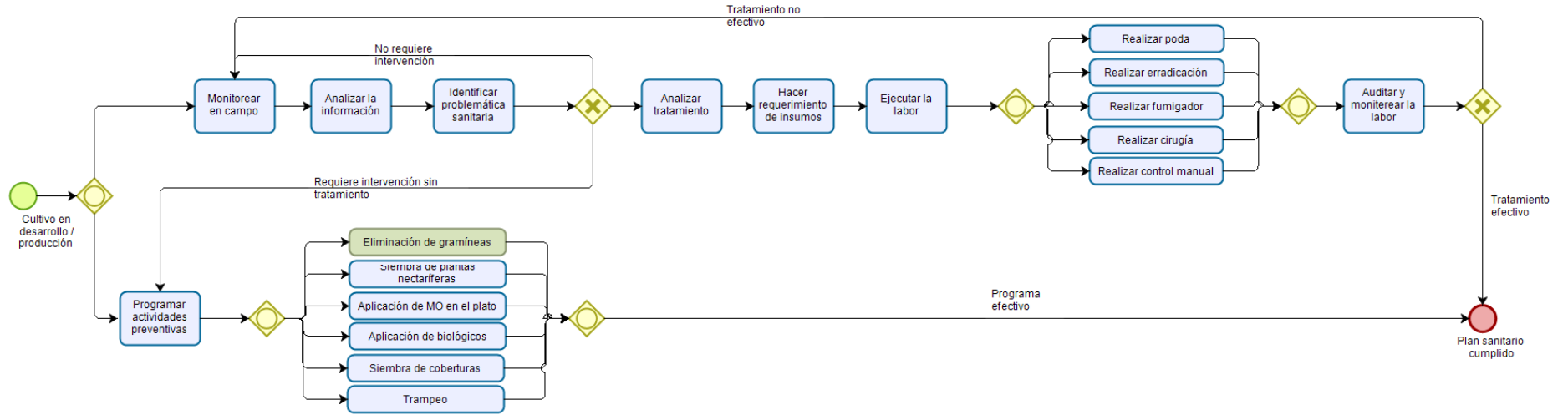


Figura 14. Proceso de fertilización

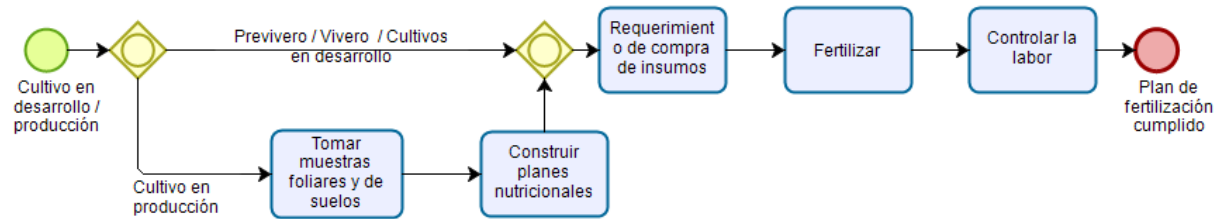


Tabla 4. Frecuencias proceso de fertilización / hectárea / año

Proceso	Frecuencias por proceso / HA / año	
	Convencional	Orgánico
Fertilización	Entre 1 y 3 veces / año (moda: 2)	Entre 1 y 2 veces año (moda:1)

f) Mantenimiento del cultivo

El principal objetivo del mantenimiento del cultivo es mantener las características óptimas de la palma para lograr rendimientos productivos y ser base para el desarrollo adecuado de otras actividades (polinización, fertilización, fitosanitarios), es por ello que se generan actividades como plateo mecánico o químico, poda, despalille y castración. Para el caso de estudio, se contemplan las dos actividades más relevantes del mantenimiento del cultivo, podas y plateos. Actividades que se dan en los cultivos en desarrollo y producción, ver figura 15. La frecuencia de las actividades de podas y plateos se identifica por medio de la tabla 5.

- El plateo busca mantener un círculo libre de maleza que impidan la recolección de los frutos que se desprenden cuando cae el racimo (RFF), esta actividad se puede realizar mecánicamente (guadaña) o químico por medio de aplicación de herbicidas que no afecten el tallo y no tengan contacto con la hoja de la palma.
- La poda se realiza periódicamente y consiste en cortar y apilar las hojas excedentes, adicional para eliminar hojas secas, hojas viejas y también despejar de la palma inflorescencias masculinas secas o racimos podridos.
- La castración consiste en eliminar inflorescencias femeninas o masculinas que se realiza en los primeros años de cultivo y que busca aumentar el tamaño de los racimos y la producción, se decide realizar cuando más del 50% de las plantas están produciendo inflorescencias.
- Despalille o limpieza general de las interlineas del lote, lo cual facilita el desplazamiento del personal y de la maquinaria agrícola.

Tabla 5. Frecuencias proceso de mantenimiento del cultivo / hectárea / año

Proceso	Frecuencias por proceso / HA / año	
	Convencional	Orgánico
Podas	Semestral x ha 2 veces / ha / año	Semestral x ha 2 veces / ha / año
Plateos	Bimensual x ha 6 veces / ha / año	Mensual x ha 12 veces / ha / año

g) Cosecha

La cosecha como fase final de la gestión agronómica del cultivo, podría considerarse la más importante, delicada y costosa en el proceso de producción. Este proceso caracterizado en la figura 16 es el determinante para el paso de un cultivo en desarrollo a un cultivo en producción. Se da desde los 3 años de la palma después de sembrada en campo hasta aproximadamente los 25 años. La medición normal de rendimientos de este proceso está dada por las unidades Ton RFF/ha/año. Para este caso de estudio, el procedimiento está definido iniciando con censos de producción realizados en campo dos veces por año que permiten estimar la producción y abrir camino a la planificación y programación de labores de cosecha por parte del equipo técnico.

La cosecha se realiza en intervalos que oscilan entre 8-15 días dependiendo de la variedad y edad del cultivo. Esta labor se constituye de corte (corte del racimo de la planta), aliste (corte el pedúnculo a ras de los hombros del racimo), alce (disponer el fruto en el punto de acopio) y pepeo/repepeo (recolección de frutos sueltos, producto del golpe físico que sufre el racimo al ser

cortado). Finalmente, la calidad del fruto debe ser evaluada ya que es un criterio de gran importancia para el cliente (planta extractora) en términos de acidez y punto óptimo de cosecha para la mayor extracción de aceite posible, estos tienen parámetros establecidos. Una vez calificado el fruto es transportado a la planta extractora. Para el caso de estudio se considera el 23% de extracción, esto con base a los promedios de información histórica y lo pactado con el cliente, la tabla 6 define las frecuencias determinadas para este proceso.

Tabla 6. Frecuencias proceso de cosecha / hectárea / año

Proceso	Frecuencias por proceso / HA / año	
	Convencional	Orgánico
Cosecha	Cada 8 días guineensis 46 veces / HA / año	Cada 8 días guineensis 46 veces / HA / año
	Cada 15 días híbridos 24 veces / HA / año	Cada 15 días híbridos 24 veces / HA / año

h) Gestión Logística

El proceso logístico del cultivo de palma de aceite involucra actividades que guardan relación a planear y programar requerimientos de transporte de insumos, que permitirá conectar y ser la entrada para cada una de las fases generales del proceso productivo de la palma hasta finalizar con la entrega del producto final, considerándose, así como un proceso transversal que se encuentra disponible para cada una de las fases. El éxito de su proceso se basa en una programación eficiente de la maquinaria agrícola de acuerdo con las necesidades de la plantación y los diferentes movimientos de insumos que debe realizar entre cultivos y plantaciones.

Podría considerarse el aspecto más relevante de la logística al transporte de RFF cosechados desde las diferentes plantaciones hasta la planta extractora (cliente). Los costos logísticos se basan en el uso de la máquina, personal y costos de fletes por km recorrido, teniendo en cuenta que, para el caso en estudio, los diferentes cultivos y plantaciones funcionan como nodos distribuidos de diversas formas en el plano general de Palmasol, ver figura 17.

El proceso de caracterización se encuentra conglomerado por medio de la herramienta VSM, por medio de la figura 18, se identifican los ocho principales procesos productivos del cultivo desde el previvero hasta la cosecha, con una mención relacionada a los km y tiempos del transporte de los centros de acopios de cosecha de cada plantación hasta la planta extractora. En referencia a la secuencia del cultivo, los tres primeros procesos (previvero, vivero y siembra) son actividades secuenciales de manera lineal, el previvero es antecesor del vivero y este mismo pasa hacer precedente para la siembra. Por otro lado, la fertilización, control fitosanitario, mantenimiento, polinización y cosecha, son procesos que, si bien tienen una frecuencia determinada, y en el caso de la polinización y cosecha comienza desde los tres años de la palma, son actividades cuya secuencia no se define de manera lineal si no paralela, debido a que van ligados a la necesidad del cultivo y actividades que se pueden presentar en cualquier etapa de la palma (previo a los tres años de la misma)

Figura 15. Proceso de mantenimiento del cultivo

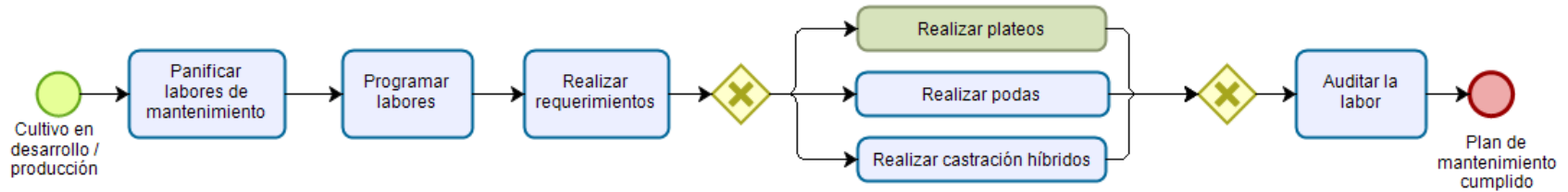


Figura 16. Proceso de cosecha

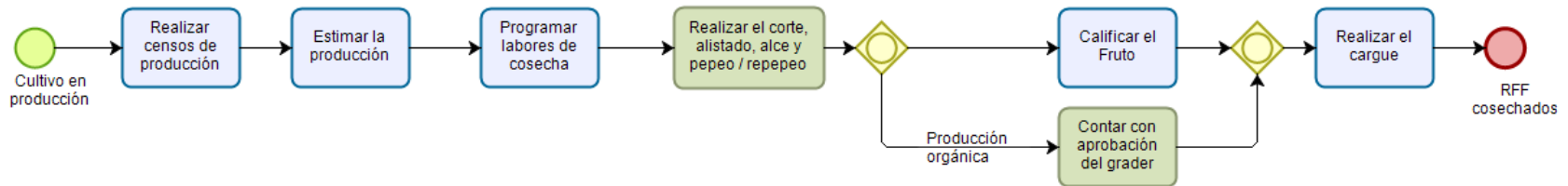


Figura 17. Proceso de logística

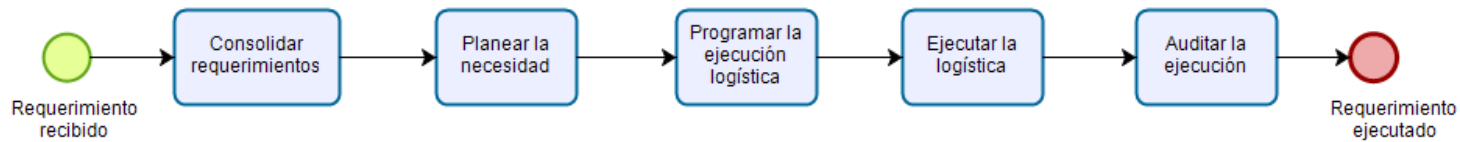
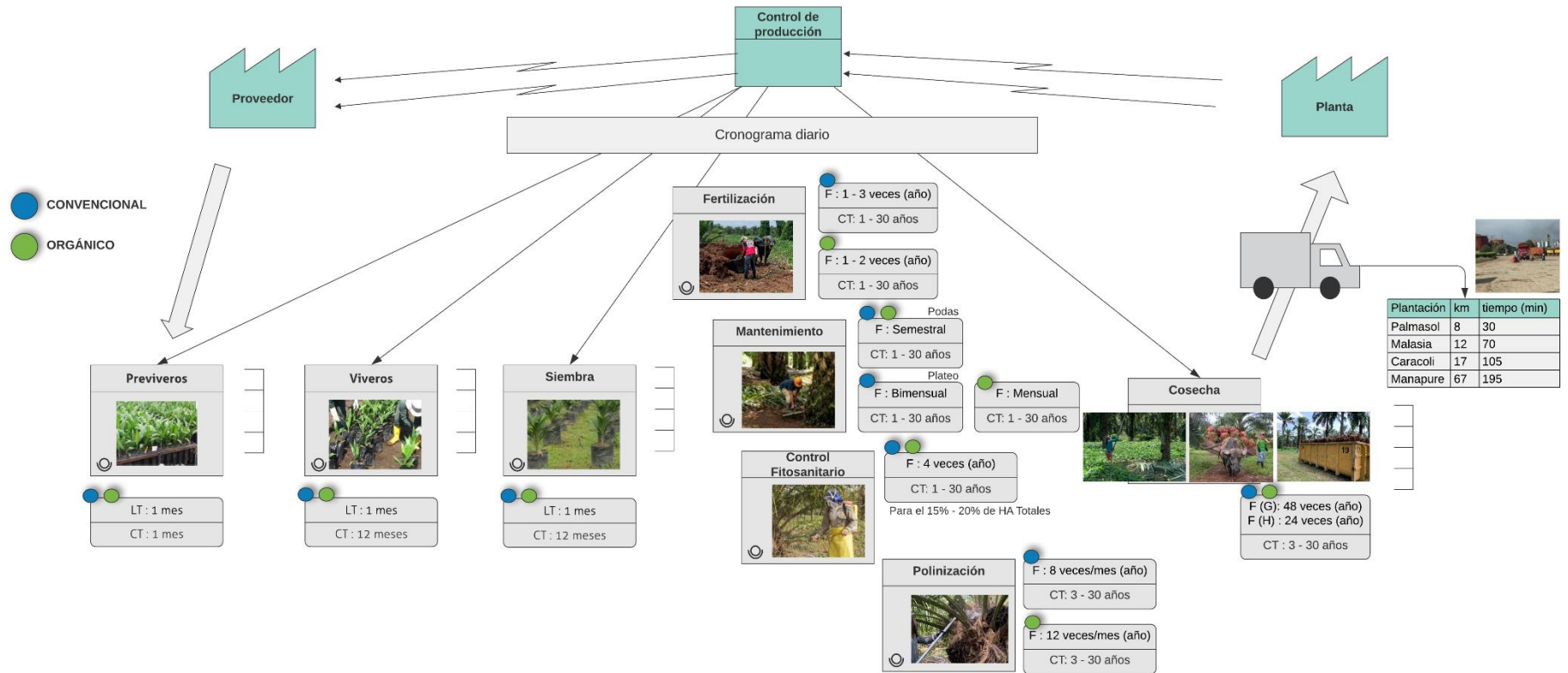


Figura 18. V SM cultivo palma de aceite



7. DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Una vez realizada la caracterización del proceso productivo, se procede a diseñar el modelo de simulación en el software FlexSim. El cual está distribuido en tres partes importantes, que encierran globalmente el desarrollo de los objetivos planteados para este proyecto. Para el desarrollo de la simulación se realizó un proceso de recolección de información que guarda relación con los procesos involucrados en la producción de palma de aceite mencionados y descritos con anterioridad, en donde se identifica la frecuencia y el tiempo de los eventos realizados en cada uno de los procesos, esta información es el resumen de datos históricos de cada uno de los procesos.

7.1 Parametrización del modelo de simulación

El modelo 3D consiste básicamente en el planteamiento de lo estudiado del proceso productivo a través de Flow ítems: entradas (*source*), almacenes (*queue*), procesos (*processor*) y salidas (*sink*); así como sus respectivas conexiones que generan la secuencia del proceso hasta la salida del producto final RFF. Las generalidades del modelo consisten en la entrada diferenciada de hectáreas de cultivo establecido entre materiales *Eleais guineensis e híbridos*, a partir de los inventarios del caso de estudio, o de semilla también diferenciada por el material de acuerdo con la necesidad de renovación. A partir de esto se realiza la parametrización de los siguientes desencadenadores de eventos en la creación de los ítems:

- Identificar convencional y orgánico: se definieron etiquetas con los nombres de las plantaciones: Palmasol, Manapure, Caracolí y Malasia, donde 0 corresponde a producción convencional, y 1 corresponde a producción orgánica. Lo anterior actualiza la etiqueta “ORGANICO” usada en los procesos.
- Edades de siembras y etapas: se parametrizan los tiempos en años, dada la necesidad de correr 10 años para visualizar la transición como tiempo proyectado por la dirección estratégica de la empresa caso de estudio. La siembra corresponde al año de siembra del cultivo, se parametriza para que calcule a medida que corre el modelo y la edad se actualice, característica que es de importancia tanto para la clasificación de la etapa, como para definir los rangos de producción.

Las siembras mayores de 25 años consideran la orden de renovación a los 35 años, por otro lado, las menores de 25 años cumplirán la regla de renovarse a los 25 años; esto basado en lo identificado en análisis financieros del sector palmicultor como la edad donde se cumple con el ciclo de vida del cultivo con resultados de producción aceptables.

- Iniciar conteo de frecuencias: se crean dos etiquetas para cada proceso, esta genera la orden de iniciar anualmente con frecuencias 0 en la primera etiqueta y para la segunda etiqueta se llevarán los conteos de frecuencia acumulada a medida que el modelo este corriendo.
- Frecuencias convencionales: se define el número de veces que se debe hacer cada proceso al año bajo el modelo convencional.
- Frecuencias orgánico: se define el número de veces que se debe hacer cada proceso al año bajo el modelo orgánico.

- Cosecha por edad: se definen rangos de edades, así como el material y la etapa; identificados con la etiqueta “GRUPOEDAD”, la cual más adelante soporta la parametrización de la productividad en el proceso de cosecha.
- Costos para los gráficos financieros: se crea la etiqueta “TIPOCOSTO” que tiene en cuenta las variables etapa (en desarrollo, en producción) y tipo de material (hibrido, guineensis), la cual soporta el tablero de control “General”

Estas entradas están conectadas al almacén “palmas” que se conecta al almacén “pendiente” el cual genera una espera para las hectáreas que deben pasar por cada uno de los procesos; así mismo, se conectan estas entradas al almacén “semilla” el cual genera la ruta de procesos previvero, vivero y siembra, que como se menciona, solo se desarrolla al ser necesaria la renovación de cultivos, continuando a su vez al almacén “pendiente”. Todas las unidades que llegan al almacén pendiente tienen la parametrización de recibir las hectáreas totales hasta que hayan cumplido las frecuencias / año necesarias por cada uno de los procesos (fertilización, podas y plateos, control fitosanitario, polinización y cosecha); de lo contrario, el modelo genera la orden de enviar las hectáreas al almacén “continuar” quien tendrá conexión con la finalización del proceso a “cultivo_listo” y a sus respectivas salidas. Para cada uno de los procesos se establecieron los tiempos de duración de la ejecución de estos, y por medio de los desencadenadores de eventos a la salida se definen costos y precios de venta orgánicos y costos convencionales.

Adicionalmente, se hace importante resaltar algunas configuraciones de procesos de relevancia en la transición del modelo entre la producción convencional y orgánica.

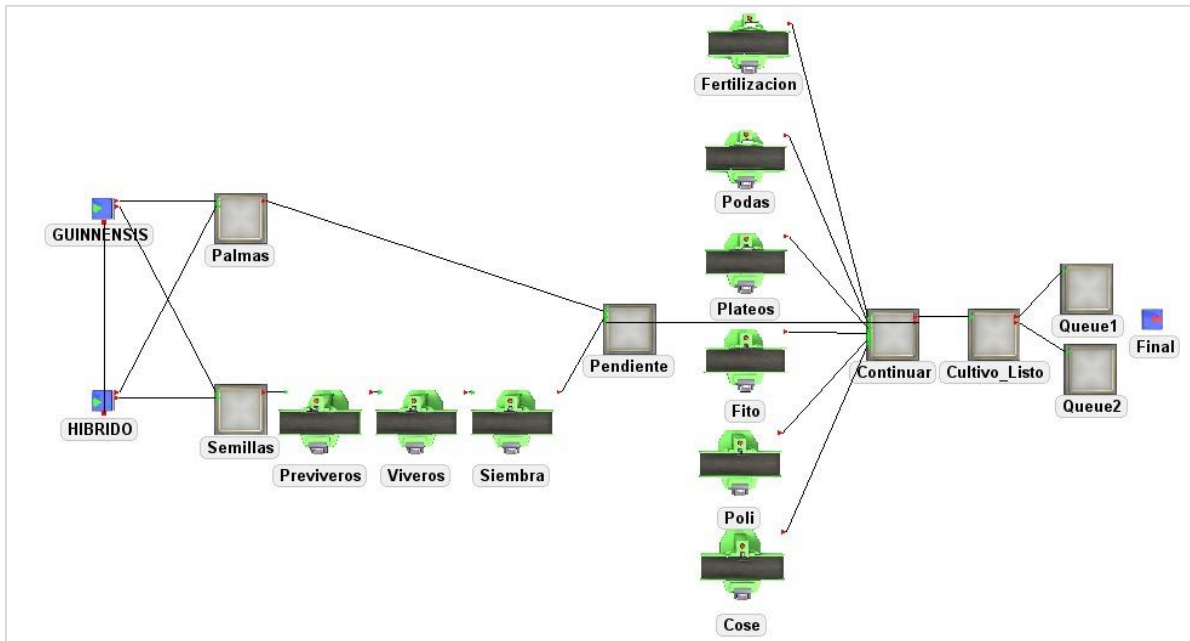
Fertilización: considera cambios en las distribuciones estadísticas donde sus frecuencias anuales para convencional varían de una distribución triangular donde el mínimo (1) máximo (3) y moda (2); a una distribución Bernoulli para orgánico con porcentaje de ocurrencia del 80% para el mínimo de veces considerado (1) y 20% para el valor máximo (2).

Plateo: presenta cambios significativos en la forma de realizar la labor para el caso convencional de una manera manual a través de fumigación con productos químicos bimensual; al doble de frecuencias pasando a una necesidad mensual para el caso de orgánico, esto dada la forma de establecer la labor manual de manera mecánica a través de plateos con guadaña.

Control fitosanitario: estima variación en el porcentaje de alcance del 20% sobre la cantidad total de hectáreas con prácticas convencionales a una reducción significativa del 5% presentando un 15% de alcance con prácticas orgánicas; lo anterior, con base a proyecciones estudiadas y analizadas por el grupo de expertos técnicos de la empresa caso de estudio.

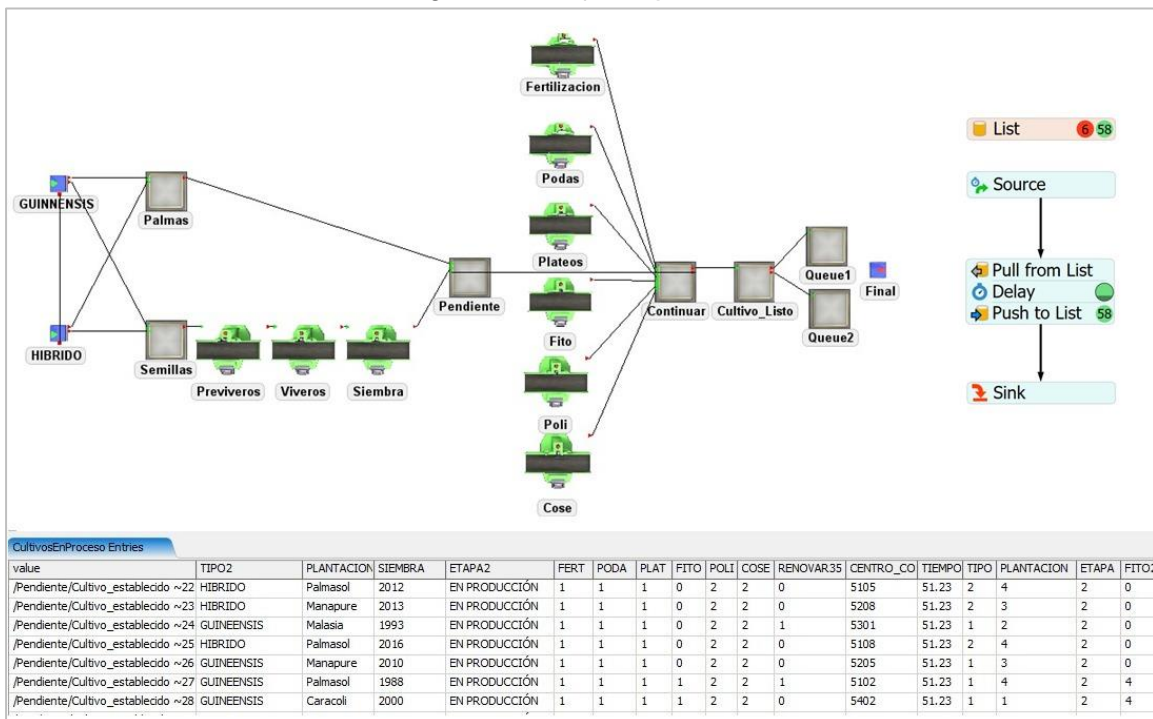
Cosecha: para el caso de este proceso, más que desde la perspectiva de frecuencias anuales, teniendo en cuenta que se mantienen en ambos modelos de producción, convencional y orgánico; se considera un cambio significativo de las distribuciones establecidas en la productividad de los cultivos, de acuerdo con seis rangos de edad que fueron determinados en el “source” bajo la etiqueta “GRUPOEDAD” y que adicionalmente en la cosecha, contemplan rendimientos en el aspecto convencional basados en la información histórica de cinco años (2015 a 2020) y en el orgánico, contemplan tres hipótesis de producción que se explicaran en detalle en el siguiente capítulo. A su vez, tienen en cuenta el tipo de material de cada cultivo sembrado, evidenciando mayor eficiencia en el material *hibrido*, sobre el *guineensis*, ver figura 19.

Figura 19. Modelo 3D FlexSim



El flujo de proceso representa la lógica de la secuencia paralela de los procesos, el cual puede ser considerado uno de los retos de la simulación de este proceso productivo de RFF. Este actualiza un ItemList llamado “CultivoEnProceso” que permite llevar el seguimiento a las hectáreas que van pasando por cada uno de los procesos mostrando sus frecuencias a medida que se va ejecutando la simulación, lo que a su vez genera la posibilidad de analizar durante la simulación el comportamiento de cada elemento del flujo, ver figura 20.

Figura 20. Flujo de proceso



Resumen de variables utilizadas en la parametrización del modelo: Con el ánimo de presentar de manera general las variables encontradas para el caso de estudio Palmasol SAS utilizadas en la simulación, se presenta la tabla 7 en la cual se relaciona el tipo de parametrización de cada proceso.

Tabla 7. Parametrización de variables por proceso

Proceso	FRECUENCIAS		INGRESOS	
	Convencional	Orgánico	Convencional	Orgánico
Previvero / Vivero / Siembra	Frecuencias fijas	Frecuencias fijas	N/A	N/A
Fertilización	Distribución triangular	Bernoulli		
Poda / Plateo	Frecuencias fijas	Frecuencias fijas		
Control Fitosanitario	Distribución uniforme	Distribución uniforme		
Polinización	Frecuencias fijas	Frecuencias fijas		
Cosecha	Frecuencias fijas	Frecuencias fijas	Distribución triangular	Distribución triangular

Para la primera secuencia de procesos (previvero, vivero, siembra) la cual se ejecuta en la simulación solo bajo la necesidad de renovación de cultivos que han culminado su ciclo de vida útil entre los 25 y 35 años, se ha definido establecer frecuencias fijas a través de la consulta a expertos dado la falta de datos dentro del caso de estudio, pues, para la información histórica estudiada de los últimos 6 años (2015 a 2020), solo se encontró información de renovación de dos cultivos.

Con relación a la fertilización, se encuentra un insumo de información técnica más precisa y con mayor seguimiento, sin embargo, no se genera confianza sobre estos datos ya que una vez analizados con el grupo de expertos se identificó, las frecuencias de la ejecución para los últimos años arrojaban una falta de cumplimiento al plan anual justificada por un caso atípico de crisis económica que atravesó el sector en los años 2018 y 2019, donde los precios de venta generaron pérdidas para el negocio, llevando a tomar decisiones estratégicas, como no fertilizar para poder soportar los costos de producción; esta decisión no puede ser considerada dentro de los datos de información pues sería una consideración errónea para el futuro de la producción no garantizar los requerimientos nutricionales para el cultivo, lo que conlleva a la decisión de considerar a través de la consulta expertos las buenas prácticas, soportada también a través del análisis de ciclo de vida según Rodríguez & Noriega (2019).

Esta misma situación genera un punto de quiebre en la información para procesos como mantenimiento del cultivo (podas y plateos) y control fitosanitario, donde fue analizada la información técnica del grupo de años considerados para cada uno de los procesos de manera individual y con el profesional experto encargado en la empresa, encontrando que no se ejecutaron de acuerdo con las necesidades del cultivo, sino en base a decisiones estratégicas para la superación de una crisis económica del sector. Por otro lado, procesos como polinización y plateo, si lograron cumplir con la ejecución de lo requerido por el cultivo, pero, no con la precisión requerida. En última instancia la consideración de variables triangulares para el proceso de cosecha se evalúa a partir de la información de los años 2017 a 2020, por grupos de edad como se describe anteriormente.

En conclusión, las parametrizaciones basadas en frecuencias fijas corresponden a la consulta a expertos basados en las buenas prácticas para el cultivo de palma de aceite, esto con el propósito de ya que se cuenta con una estabilidad y mejor proyección del negocio según informes y estudios de Fedepalma, generar una simulación futura basada en el cumplimiento de los requerimientos del cultivo. En el análisis general, se encuentra oportunidad de mejora para futuros estudios en la aleatoriedad de la simulación contando con mayor confianza de los datos en estudio.

7.2 Definición de escenarios

Para el desarrollo de la simulación se plantean dieciséis escenarios de acuerdo con variables de decisión que tiene en cuenta Palmasol, que buscan tener el menor nivel de riesgo en el proceso de transición en relación con los costos asociados, y la cantidad y calidad de producción generada de RFF. Se edificaron algunas condiciones y variables que permitirán estructurar los escenarios planteados, cada una de ellas ya se encuentran inmersas en la configuración del modelo de simulación. En el estado actual de la compañía caso de estudio, solo la plantación malasia cuenta con desarrollo de procesos orgánicos, lo cual tiene su punto de partida como un proyecto piloto, es por lo que se define en uno de los escenarios que esta plantación es la apertura para la transición. El estado actual de hectáreas ya consideradas orgánicas es de (283,11 Hectáreas), el cual corresponde el 9,63% de la plantación. Cuando se da inicio al proyecto de certificación orgánica a una plantación en particular, el proceso de certificación exige que se dé continuidad de transición en la plantación completa en un término máximo de cinco años, bajo esta condición se plantea tomar decisiones sobre cada plantación y no por fracciones de ella.

Adicionalmente de los escenarios planteados, se consideran tres hipótesis; una de las hipótesis planteadas es que la productividad por hectárea/año del cultivo de palma se reduzca con el modelo de producción orgánica, por lo cual la transición toma en cuenta en una primera fase que solo una plantación cuente con producción orgánica, mientras que las demás continúen con la producción convencional. Esta decisión va ligada directamente al impacto financiero que tuviera la compañía en la transición por cultivos, la secuencia de transición de las demás plantaciones va a determinada por la cantidad de hectáreas.

Durante el proceso de simulación, los cultivos en desarrollo pasaran en algún momento del tiempo a la etapa en producción, por lo cual generaran una variación en el comportamiento e interacción con procesos involucrados en esta nueva etapa, esto obliga a que los escenarios de transición tengan en cuenta la etapa de cada plantación. Por medio de la tabla 8, se visualiza el estado actual y porcentaje de hectáreas referente a la plantación en general. El tipo de material en cada plantación se identifica de manera particular en los escenarios definidos, teniendo en cuenta que varían de acuerdo con frecuencias en el proceso de cosecha y su interacción en algunos de los procesos, por ejemplo: el cultivo guineensis a diferencia del híbrido no realiza polinización.

Tabla 8. Hectáreas por plantación, material y etapa

Plantación	Guineensis	Híbrido	Total	% H Cultivadas	Plantación	Guineensis	Híbrido	Total	% H Cultivadas
Malasia	304,24	294,64	598,88	20,34%	Palmasol	346,27	529,96	876,23	29,80%
Desarrollo		40,16	40,16		Producción	346,27	529,96	876,23	
Producción	304,24	254,48	558,72		Manapure	176,33	879,53	1055,86	35,90%
Caracoli	408,41	5,48	413,89	14,10%	Desarrollo	78,81	52,54	131,35	
Producción	408,41	5,48	413,89		Producción	97,52	826,99	924,51	

De acuerdo con lo anterior se establecen los siguientes escenarios, que buscan acaparar todas las posibles alternativas, ver tabla 9.

Tabla 9. Escenarios propuestos: 1 (Orgánico), 0 (Convencional)

Plantación	Escenarios															
	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_12	S_13	S_14	S_23	S_24	S_34	S_123	S_124	S_134	S_234	S_1234
Caracoli	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1
Malasia	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1
Manapure	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1
Palmasol	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1

8. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO

La validación del modelo de simulación se realizó por medio de datos históricos del caso estudio Palmasol de los años 2015 al 2020, los datos fueron agrupados por años y unificados por millones de pesos para hacer una comparación bajo la misma unidad de medida; donde fueron tenidos en cuenta los promedios para este grupo de años considerando dos estimaciones importantes del proceso productivo; en primera instancia el cultivo de palma de aceite cuenta con un proceso de producción a largo plazo como se identificó en la primera fase metodológica, la palma de aceite es cultivo tropical de tardío rendimiento con un ciclo de vida comercial entre los 25 y 30 años (Fedepalma, 2015), adicionalmente características fisiológicas del cultivo consideran que la conformación de RFF desde la parte técnica siempre son proyectadas a 27 meses como respuesta del cultivo; por otro lado, la segunda consideración corresponde a la apreciación de quinquenios con relación a aspectos climatológicos como el fenómeno del Niño y la Niña que tienen frecuencias entre 2 a 3 años y duraciones entre 12 y 14 meses (Caicedo & Bocanegra, 2017) que afectan la productividad en cultivos como nuestro caso de estudio el cual no cuenta con un sistema de riego para la plantación haciendo que se dependa de la oferta climática.

De acuerdo con la Figura 21 los datos con menor nivel de variabilidad fueron los relacionados al indicador de producción con un porcentaje del (-0,3%), resultado de un adecuado ajuste del rango de edades por cosecha. Razón por la cual para nuestro proceso de validación del modelo este será considerado el indicador de mayor confianza en cual nos permitirá avanzar en los cálculos de los costos, ingresos y resultados netos para el análisis final de proyecto.

En relación con los costos la variabilidad se encuentra en (-1,75%), la variación dada en estos datos no se considera significativa teniendo en cuenta que en este indicador lo parametrizado en la simulación es resultado de un análisis global del sector palmicultor en el país según (Mosquera et al., 2020), comparándolos con valores propios de la empresa Palmasol, que fueron descartados en la parametrización dado que en el rango de años estudiados surgió un cambio considerable en la forma como la empresa agrupaba la información de costos por cultivos y materiales, generando un punto de quiebre en los datos.

Por otra parte, en el indicador de Ingresos obtuvo como resultado una variación de (-3,91%), lo que hace importante mencionar que para este indicador existen consideraciones importantes a tener en cuenta como que la producción de aceite de palma en Colombia y el consumo interno de este commodity, son variables de mercado que no alcanzan a influir en las condiciones de oferta y demanda mundial de este aceite vegetal, efecto de lo cual Colombia es tomador de precios del mercado internacional. En el contexto de la oferta, las expectativas de precio se ven influenciadas por los efectos del comportamiento climático en Indonesia y Malasia (los dos líderes mundiales con el 51% y 34% respectivamente) más no por cambios climáticos que afecten la producción nacional de aceite de palma; y en el contexto de la demanda, la tendencia al alza en el consumo mundial de alimentos (jalonada por el crecimiento de economías emergentes como India y China) y la demanda de biodiesel son, entre otros, factores que inciden sobre el precio final del aceite de palma crudo en el mercado internacional, y de esta forma en el mercado Colombiano (Fedepalma, 2015).

Por otro último, como se evidencia en la figura 21, los resultados netos presentan el mayor nivel de variabilidad con un porcentaje del (31%) considerando los promedios de los años en estudio diferencia de ingresos menos costos, en este caso se identificaron una serie de datos atípicos en la información histórica, que generaba una mayor desviación y por consiguiente mayor variación frente al modelo. Un elemento importante para rescatar es que a medida que corren los años en la simulación, los datos arrojados tienden a nivelarse con la información histórica.

8.1 Costos de producción del cultivo de palma de aceite

Los costos utilizados en el desarrollo de la simulación son recopilados de una evaluación de datos históricos de la compañía Palmasol, y soportados por medio de informes realizados por Fedepalma (Mosquera et al., 2020). El informe en referencia cuenta con la participación de 29 plantaciones de palma de aceite y 18 plantas de beneficio de aceite, quienes se encuentran referenciadas y reconocidas como implementadoras de las mejores prácticas agrícolas en la industria colombiana.

Se contemplan costos fijos y variables relacionados con la actividad productiva de la palma durante el año 2019, y estima los costos unitarios en los que incurren las empresas para la producción de una tonelada de racimos de fruta fresca (RFF). Los costos se encuentran definidos a largo plazo, considerando un periodo de 30 años que corresponde al ciclo de vida del cultivo, y separado por las etapas definidas en la caracterización (previvero/renovación/siembra, en desarrollo y en producción), y de acuerdo con el material *guineensis* e *hibrido*. La edad de las siembras es una variable que se incluye en el análisis de los costos de producción y se encuentra agrupada de acuerdo con las etapas, ver tabla 10.

Tabla 10. Edad de la siembra por etapa

Etapa	Edad de la siembra
Previvero/Renovación - Siembra	1 – 12 meses
En desarrollo	0 – 3 años
En producción	Mayor a 3 años

En el estudio realizado se cuenta con los costos anuales, desde el primero hasta el último de la etapa adulta (en el cual se procede a la renovación), se contempla la información de acuerdo con las etapas ya definidas, cultivos en desarrollo y cultivos en producción.

Los valores de siembra/renovación se cuenta con los costos en los que incurre poder sembrar la palma, se incluye el valor de la eliminación de las palmas (renovación) y los valores relacionados para preparar el suelo para que se constituya un nuevo cultivo (siembra), ver tabla 11, adicionalmente incluye el diseño y montaje de la infraestructura de producción como vías, alcantarillas, puentes, canales de drenaje y sistema de riego, es importante mencionar que, para el caso de estudio, estas actividades solo se considerarían con la adquisición de nuevas hectáreas, ya que las actuales ya se encuentran con la infraestructura adecuada para siembra/renovación. Se incluyen los costos relacionados al material de siembra, es decir del vivero o la compra de plántulas.

Tabla 11. Costos convencional vivero/siembra/renovación

Etapa – Semilla / Proceso	Producción Convencional (millones de pesos x hectárea x año)					
	Siembra/renovación		En desarrollo		En producción	
	Guineensis	Hibrido	Guineensis	Hibrido	Guineensis	Hibrido
Preparación del terreno	3,00	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00
Vivero	2,00	1,72	0,00	0,00	0,00	0,00
Siembra de palma	0,40	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00

En referencia con los costos en la producción orgánica, se identifican en la tabla 12 de la etapa de siembra/renovación, el nivel de gastos en los que incurre poder sembrar la palma y las demás actividades no tienen una afectación con respecto a la producción convencional.

Figura 21. Resultados de prueba validación (miles)

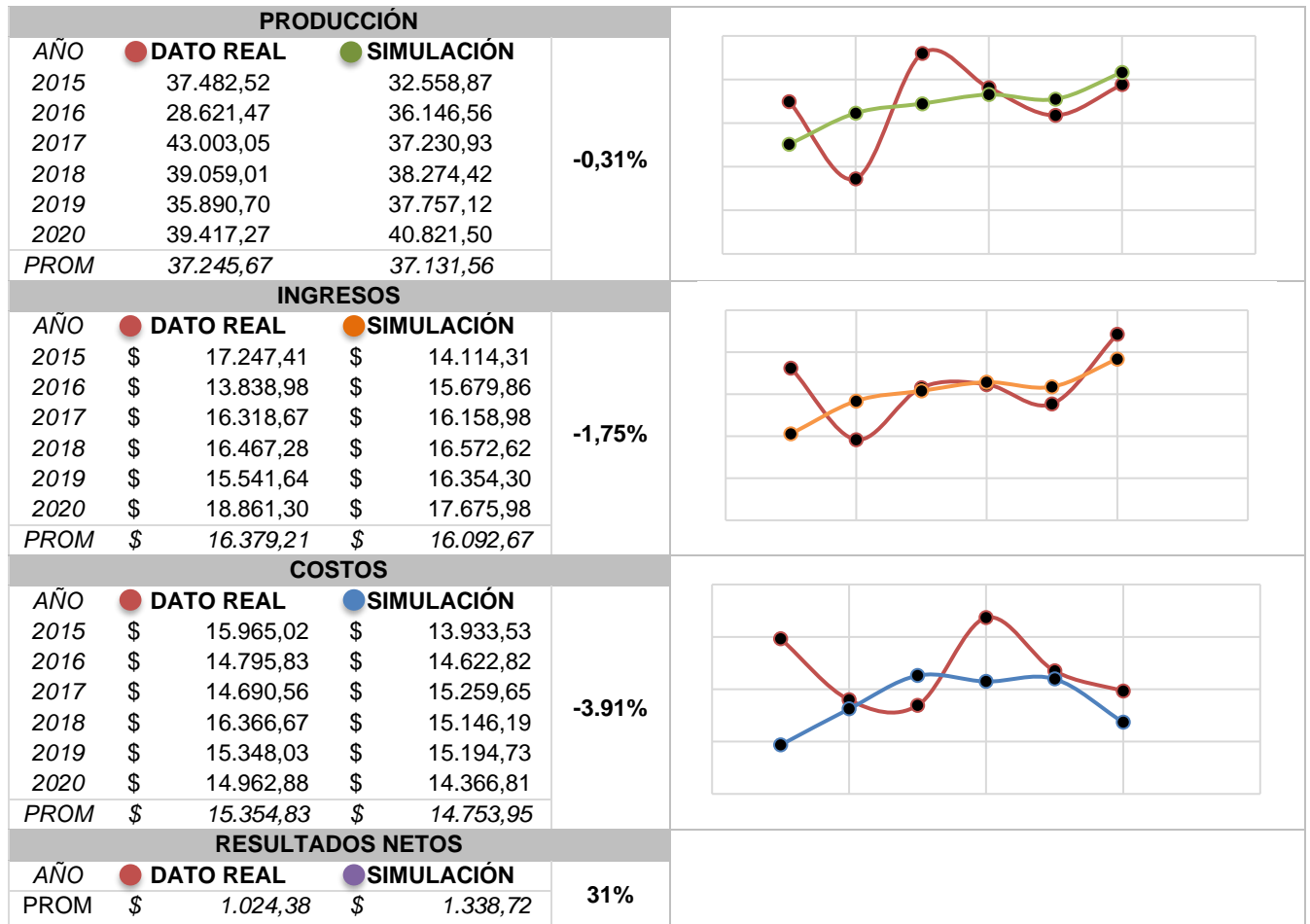


Tabla 12. Costos orgánica vivero/siembra/renovación

Etapa – Semilla / Proceso	Producción Orgánica (millones de pesos x hectárea x año)					
	Siembra/renovación		En desarrollo		En producción	
	Guineensis	Hibrido	Guineensis	Hibrido	Guineensis	Hibrido
Preparación del terreno	3,00	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00
Vivero	2,00	1,72	0,00	0,00	0,00	0,00
Siembra de palma	0,40	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00

La evaluación de costos de producción según etapa del cultivo (en desarrollo, en producción), agrupa los costos en los que se incurre para mantener una plantación, como se evidencia en la tabla 13. Para cada labor del cultivo, se consideró información sobre su frecuencia de ejecución, producción e insumo, considerando el valor de las herramientas y la maquinaria. Es decir, mantenimiento del cultivo (podas, control de malezas), sanidad, polinización (si es el caso) y, el cuidado de la infraestructura de la plantación (canales, vías) y de los animales que laboran en la misma (búfalos, bueyes, entre otros). Así mismo, estos valores incluyen los costos de cosecha y transporte a la planta extractora.

Los costos de planeación y supervisión de labores abarcan los pagos al personal operativo que se encarga de las plantaciones y del seguimiento de las labores del cultivo. Para el desarrollo

del ejercicio este rubro fue contemplado en cada uno de los procesos definidos en la caracterización (fertilización, mantenimiento, fitosanitario, polinización y cosechas), teniendo en cuenta que cada actividad cuenta con personal operativo propio y con mallas definidas para su actividad. Los costos relacionados al mantenimiento fueron diferenciados entre plateos y podas, debido a que estas labores poseen una frecuencia independiente tal como se desarrolló en la simulación aplicada.

Tabla 13. Costos convencional etapas (en desarrollo / en producción)

Producción Convencional (millones de pesos x hectárea x año)						
Etapa – Semilla / Proceso	Siembra/renovación		En desarrollo		En producción	
	Guineensis	Hibrido	Guineensis	Hibrido	Guineensis	Hibrido
Fertilización	0,00	0,00	0,99	1,00	1,81	1,43
Plateos (malezas)	0,00	0,00	0,52	0,56	0,33	0,40
Podas	0,00	0,00	0,21	0,19	0,22	0,22
Fitosanitario	0,00	0,00	0,39	0,24	0,37	0,29
Polinización	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,53
Cosecha	0,00	0,00	0,33	0,34	1,44	1,97

Los costos de la producción orgánica en las etapas en desarrollo y en producción varían de acuerdo con la frecuencia por proceso/hectárea/año y los insumos utilizados en cada proceso. Partiendo de la premisa que la producción orgánica es un tema incipiente en el sector palmicultor en el país y que no se encuentra suficiente información documentada, se realiza la consulta a expertos al equipo de especialistas para cada proceso de la empresa Palmasol SAS para definir los estimados de costos bajo este modelo, ver tabla 13.

Tabla 14. Costos orgánica etapas (En desarrollo / En producción)

Producción Orgánica (millones de pesos x hectárea x año)						
Etapa – Semilla / Proceso	Siembra/renovación		En desarrollo		En producción	
	Guineensis	Hibrido	Guineensis	Hibrido	Guineensis	Hibrido
Fertilización	0	0	0,63	0,72	1,14	1,02
Plateos (malezas)	0	0	0,78	0,84	0,49	0,60
Podas	0	0	0,21	0,19	0,22	0,22
Fitosanitario	0	0	0,59	0,36	0,55	0,43
Polinización	0	0	0	0,54	0	1,15
Cosecha	0	0	0,33	0,34	1,44	1,97

8.2 Precios de venta del cultivo de palma de aceite

Para el caso de estudio Palmasol SAS los ingresos totales corresponden a la venta de único producto, RFF; adicionalmente, es importante mencionar sobre la ventaja competitiva de la empresa, donde la alianza en sociedad del 50% sobre la extractora Entrepalmas SAS garantiza la venta total del fruto bajo unas negociaciones del porcentaje de extracción de aceite y el costo de maquila por el procesamiento de RFF para la obtención de aceite crudo de palma (CPO).

La tabla 15, presenta los precios de venta correspondientes al modelo de producción actual (convencional) para los años 2016 al 2020 (cortes semestrales), los cuales sirven como referencia para las distribuciones estadísticas de parametrización del modelo de simulación, adicionalmente esta información se encuentra en concordancia con los precios de referencia del Fondo de Fomento Palmero (Fedepalma, 2021).

Tabla 15. Precios semestrales 2016 – 2020 del Fondo Fomento Palmero.

Periodo (Semestral)	Precio aceite (kilo)	Precio aceite (kilo) + bonificación	Fondo de fomento	Precio aceite final	Tasa de extracción	Precios RFF (kilo)	Costo de maquila	Precio RFF liquidación (kilo)
2020-2	\$ 2.592,00	\$ 2.656,80	\$ 38,88	\$ 2.617,92	23,62%	\$ 618,35	\$ 70,00	\$ 548,35
2020-1	\$ 2.261,00	\$ 2.317,53	\$ 33,92	\$ 2.283,61	23,62%	\$ 539,39	\$ 70,00	\$ 469,39
2019-2	\$ 1.986,00	\$ 2.035,65	\$ 29,79	\$ 2.005,86	23,20%	\$ 465,36	\$ 45,00	\$ 420,36
2019-1	\$ 1.682,00	\$ 1.724,05	\$ 25,23	\$ 1.698,82	23,20%	\$ 394,13	\$ 45,00	\$ 349,13
2018-2	\$ 1.755,00	\$ 1.798,88	\$ 26,33	\$ 1.772,55	22,96%	\$ 406,98	\$ 45,00	\$ 361,98
2018-1	\$ 1.913,00	\$ 1.960,83	\$ 28,70	\$ 1.932,13	22,96%	\$ 443,62	\$ 45,00	\$ 398,62
2017-2	\$ 1.994,00	\$ 2.043,85	\$ 29,91	\$ 2.013,94	22,52%	\$ 453,54	\$ 45,00	\$ 408,54
2017-1	\$ 1.968,00	\$ 2.017,20	\$ 29,52	\$ 1.987,68	22,52%	\$ 447,63	\$ 45,00	\$ 402,63
2016-2	\$ 2.108,00	\$ 2.160,70	\$ 31,62	\$ 2.129,08	21,37%	\$ 454,98	\$ 45,00	\$ 409,98
2016-1	\$ 2.186,00	\$ 2.240,65	\$ 32,79	\$ 2.207,86	21,37%	\$ 471,82	\$ 45,00	\$ 426,82
PROM	\$ 1.949,00	\$ 2.069,35	\$ 30,28	\$ 2.039,06	23,08%	\$ 471,12	\$ 51,25	\$ 419,87

Fuente. Fedepalma

Por otro lado, en cuanto a los precios de venta para el modelo de producción orgánica, es importante resaltar que en nuestro país solo una empresa del sector palmicultor cuenta con certificaciones de producción orgánica, la empresa DAABON se identifica en Colombia como única en la producción y oferta de aceite orgánico de palma, cuyas características y cualidades son reconocidas por sus bondades y preferencias en la industria alimenticia (DAABON, 2018), por lo cual la información disponible para proyecciones con primas de compensación por este modelo de producción se encuentra limitada. Para el modelo de simulación de este proyecto se consideran estimaciones frente al precio de venta de RFF con certificación orgánica basadas en consideraciones del caso estudio, donde se establece una distribución triangular que considera el precio de venta mínimo (\$ 470.000), el máx. (\$ 590.000) y moda (\$ 530.000).

8.3 Hipótesis de productividad orgánica

Con la finalidad de realizar un análisis financiero de costos, ingresos y resultados netos, se plantean tres hipótesis bajo diferentes criterios de productividad en la producción orgánica, buscando presentar las alternativas y posibles estrategias frente a la transición del proceso productivo en el caso de estudio Palmasol.

La primera hipótesis de acuerdo a la tabla 16, se basa en la estimación de un modelo en el cual la productividad orgánica disminuye en un 12% frente al modelo convencional, este porcentaje se proyecta por el impacto dado por el cambio de insumos en la fertilización y en la polinización. En la tabla 17 se define la segunda hipótesis en donde se propone que el cambio adecuado y proporcional de insumos y productos no debería afectar el nivel de productividad del cultivo en el modelo orgánico.



Tabla 16. Hipótesis 1. Nivel de producción orgánico inferior al convencional

Nivel de producción Convencional (toneladas x hectárea x año)												
Año / Rangos (Edad)	Hibrido						Guineensis					
	3 -5	6 -9	10 - 15	16 - 20	21 - 25	25 -	3 -5	6 -9	10 - 15	16 - 20	21 - 25	25 -
2020	5	13	18	23	20	13	4	16	15	16	13,0	7
2019	5	18	19	22	16	11	2	15	12	17	12,0	5
2018	7	16	20	24	18	12	5	16	13	20	15,0	5
Nivel de producción Hibrido (toneladas x hectárea x año)												
Año / Rangos (Edad)	Hibrido						Guineensis					
	3 -5	6 -9	10 - 15	16 - 20	21 - 25	25 -	3 -5	6 -9	10 - 15	16 - 20	21 - 25	25 -
2020	4	11,4	15,8	21	17	12	3	14	13	14	11,4	6,2
2019	4	15,8	16,7	19	14	9	2	13	10	15	10,6	4,4
2018	6	14,1	17,6	21	16	11	4	14	11	17	13,2	4,4

Tabla 17. Hipótesis 2. Nivel de producción orgánica igual al convencional

Nivel de producción Convencional (toneladas x hectárea x año)												
Año / Rangos (Edad)	Hibrido						Guineensis					
	3 -5	6 -9	10 - 15	16 - 20	21 - 25	25 -	3 -5	6 -9	10 - 15	16 - 20	21 - 25	25 -
2020	5	13	18	23	20	13	4	16	15	16	13	7
2019	5	18	19	22	16	11	2	15	12	17	12	5
2018	7	16	20	24	18	12	5	16	13	20	15	5
Nivel de producción Hibrido (toneladas x hectárea x año)												
Año / Rangos (Edad)	Hibrido						Guineensis					
	3 -5	6 -9	10 - 15	16 - 20	21 - 25	25 -	3 -5	6 -9	10 - 15	16 - 20	21 - 25	25 -
2020	6	15	20	26	22	15	4	18	17	18	15	8
2019	6	20	21	25	18	12	2	17	13	19	13	6
2018	8	18	22	27	20	14	6	18	15	22	17	6

Finalmente, la tercera hipótesis de acuerdo a la tabla 18, se fundamenta en pequeños pilotos realizados en el caso estudio Palmasol, en los cuales se ha obtenido mejores niveles de productividad en la plantación de malasia, sin embargo, no se descarta evaluar las demás hipótesis, ya que estos pilotos solo se realizaron en una edad de cultivo y material determinado.

Tabla 18. Hipótesis 3. Nivel de producción orgánico superior al convencional

Nivel de producción Convencional (toneladas x hectárea x año)												
Año / Rangos (Edad)	Hibrido						Guineensis					
	3 -5	6 -9	10 - 15	16 - 20	21 - 25	25 -	3 -5	6 -9	10 - 15	16 - 20	21 - 25	25 -
2020	5	13	18	23	20	13	4	16	15	16	13	7
2019	5	18	19	22	16	11	2	15	12	17	12	5
2018	7	16	20	24	18	12	5	16	13	20	15	5
Nivel de producción Hibrido (toneladas x hectárea x año)												
Año / Rangos (Edad)	Hibrido						Guineensis					
	3 -5	6 -9	10 - 15	16 - 20	21 - 25	25 -	3 -5	6 -9	10 - 15	16 - 20	21 - 25	25 -
2020	5	13,0	18	23	20	13	4	16	15	16	13	7
2019	5	18,0	19	22	16	11	2	15	12	17	12	5
2018	7	16,0	20	24	18	12	5	16	13	20	15	5

9. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Las hipótesis planteadas fueron procesadas en los (16) escenarios con el objetivo de tener una visual más completa de las alternativas. En las siguientes tablas y figuras se resume la información resultado de la simulación en la que realizaron (30) iteraciones con la finalidad de obtener datos probabilísticos confiables. (Anexo 2,3,4). Conforme al resultado de la simulación realizada, del análisis financiero podemos determinar que la compañía presenta cifras razonables en modelo de producción actual (convencional), en todos sus aspectos relacionados a costos, ingresos y resultados netos, en el periodo evaluado para los diez años estimados en la simulación y bajo las tres hipótesis planteadas.

En la figura 22, se puede visualizar los datos de la variable de seguimiento Resultados Netos, de la hipótesis tres, en la que se evidencia el comportamiento en cada uno de los dieciséis escenarios, y donde adicionalmente con la estructura de diagrama de cajas se observa el bajo nivel de variabilidad de los cuartiles de los datos obtenidos.

Figura 22. Comparación de Resultados Netos (Hipótesis 3)

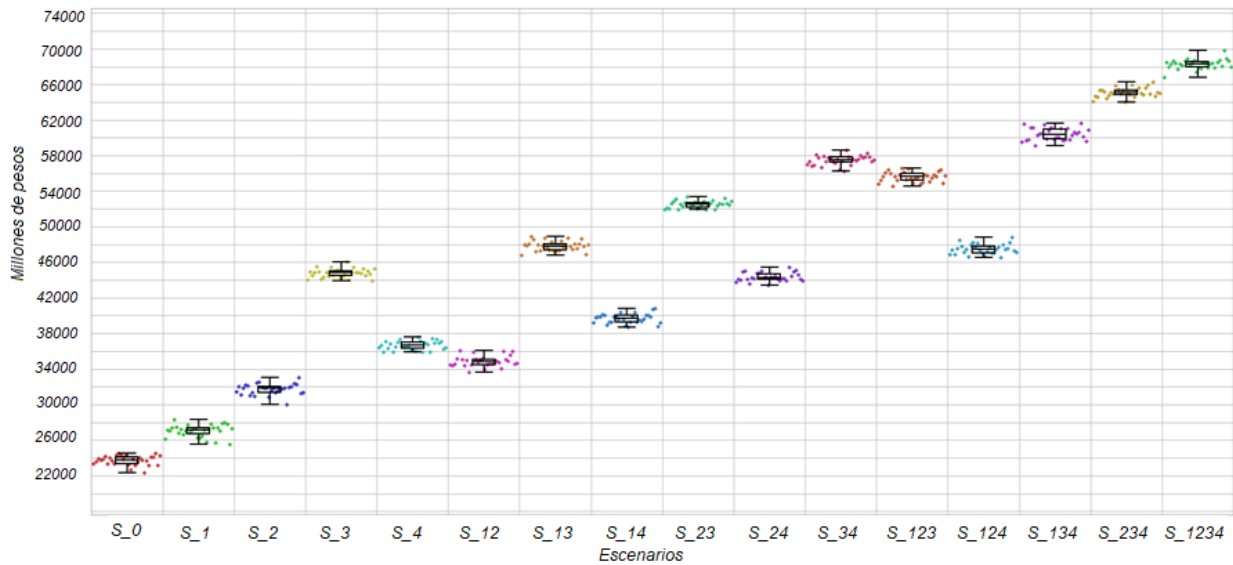
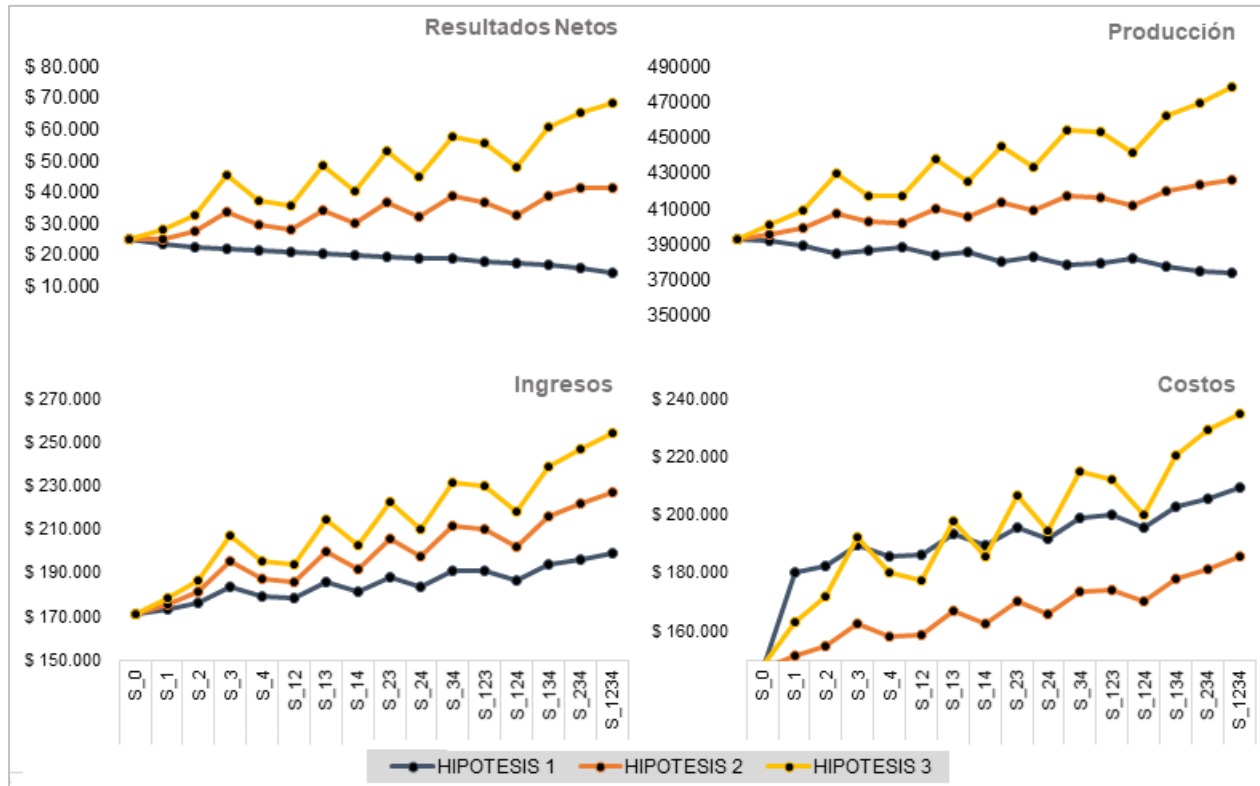


Tabla 19. Tabla porcentaje de confianza de Resultados Netos (Hipótesis 3)

	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
S_0	23568	< 23731	< 23895	528	22341	24524
S_1	26824	< 27036	< 27248	684	25525	28269
S_2	31529	< 31715	< 31900	597	30017	33022
S_3	44624	< 44778	< 44931	495	43940	45985
S_4	36478	< 36632	< 36786	497	35877	37607
S_12	34681	< 34864	< 35046	589	33652	36092
S_13	47660	< 47831	< 48002	551	46767	48903
S_14	39502	< 39667	< 39832	533	38707	40756
S_23	52372	< 52496	< 52620	400	51898	53381
S_24	44189	< 44337	< 44485	478	43399	45430
S_34	57308	< 57473	< 57638	532	56263	58559
S_123	55424	< 55592	< 55760	542	54569	56609
S_124	47310	< 47479	< 47649	547	46572	48809
S_134	60196	< 60402	< 60608	664	59145	61610
S_234	64927	< 65089	< 65252	525	64015	66252
S_1234	68102	< 68271	< 68440	544	66752	69797

Figura 23. Comparación de Costos (Hipótesis 1,2,3)



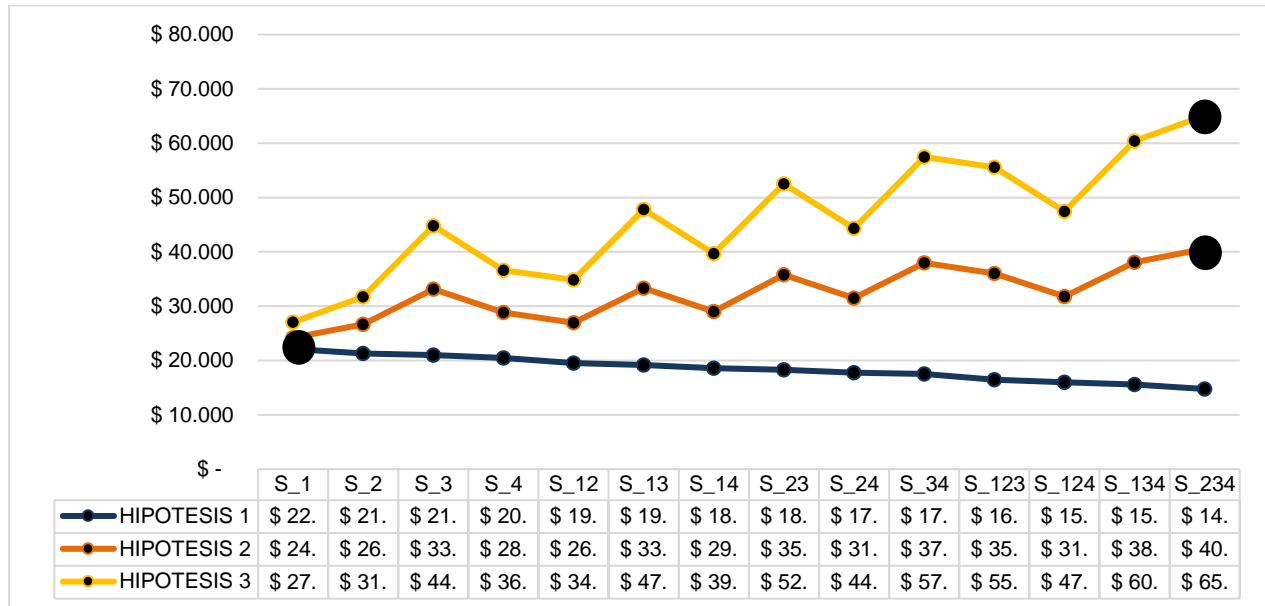
De acuerdo con los resultados obtenidos de la simulación para cada una de las hipótesis sobre la productividad, ver figura 23, en primera instancia se evidencia el comportamiento general con las mismas tendencias de los indicadores para las tres hipótesis, sin embargo, lo que es importante de resaltar para este planteamiento, es una mejor viabilidad en los resultados netos en la hipótesis 3; y que aunque parezcan lógicos los resultados al afectar la productividad en el escenario orgánico, en el detalle permite apreciar, que no existe viabilidad de transición en las hipótesis 1 y 2 pues, para el primer caso se reducen los resultados netos en (72%), lo que demuestra que actualmente en el aspecto convencional se tiene una mejor estrategia sobre el negocio con la producción convencional.

En el segundo caso, se evidencia también en detalle que, aunque, se mantenga la productividad, hay un incremento de costos significativo sobre algunos procesos, que, aunque no es en todos, es suficiente para concluir que las primas por ventas de fruto certificado no compensan dicho incremento.

Otra estrategia para abordar que las hipótesis 1 y 2 obtengan resultados que agreguen valor frente al escenario actual (convencional), es considerar que algunos procesos sobre los cuales se hizo la proyección para la simulación estimaron, solo una forma de desarrollar la labor en cumplimiento de los requisitos de las certificaciones, sin embargo estas consideraciones para los procesos como el ploteo, tienen un sobre costo tan significativo que debería considerarse desde el punto técnico, plantear nuevas estrategias que cumplan con los requisitos pero que tengan costos no tan distantes frente a la forma como se desarrolla actualmente la labor en el modelo convencional, pues no se puede actuar simplemente sobre la premisa que la prima compensa los sobrecostos en la transición.

Adicionalmente, otro aspecto a considerar de los beneficios a largo plazo de la transición es la sanidad del cultivo pues, el control de plagas y enfermedades como está establecido en la simulación tiene un impacto positivo en la reducción de las hectáreas afectadas, lo que logra compensar el costo adicional que se debe asumir por la adquisición de insumos orgánicos para el control de estas.

Figura 24. Resultados Netos Modelos Mixtos



También se puede resaltar que una posible alternativa, en vista de disminuir el nivel de riesgo de no tener asegurado un cliente potencial, que garantice reconocer el valor agregado frente al producto certificado, podría ser un modelo mixto (Figura 24) que contemple ambos modelos de producción, manteniendo la trazabilidad del producto final que se encuentre certificado. En este orden de ideas, bajo la hipótesis 1, el mejor escenario mixto es realizar la transición de la plantación más pequeña (Caracolí), 14,10% de cultivo al modelo orgánico, plantación que a su vez tiene menor rango de edades de siembra y con cultivos adultos de producción más estable, mientras las demás plantaciones permanezcan en el modelo convencional, bajo este panorama la compañía puede realizar sus primeros acercamientos a la metodología orgánica, permitiéndole mejorar y aprender la efectividad de los procesos especiales que este involucre.

Respecto a las hipótesis 2 y 3, se plantea como mejor escenario mixto realizar la transición de las plantaciones más grandes (Malasia, Palmasol y Manapure) 20,34%, 29,80% y 35,90% respectivamente a el modelo de producción orgánica, bajo la primicia que la productividad orgánica igual o superior a la convencional, generando que la prima otorgada por estos modelos sea viable para la empresa caso de estudio.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La caracterización de las variables permitió describir el proceso del cultivo de palma de aceite, con la identificación de los aspectos generales y sus procesos como: fertilización, mantenimiento, controles fitosanitarios, polinización y cosechas. Este ejercicio permitió una visualización detallada desde dos enfoques productivos (orgánico y convencional), lo que se volvió un insumo de alta importancia para el desarrollo del modelo establecido en la segunda fase de este proyecto, pues el entendimiento claro de los procesos garantizó la efectividad del modelo desde el primer prototipo.

El modelo de simulación fue diseñado con la estructura planteada en la caracterización, logrando integrar los componentes relacionados con las áreas de cultivo por medio del inventario actual de hectáreas sembradas del caso estudio Palmasol, aspectos logísticos parametrizados en la estructura del VSM, e insumos de información técnica agronómica. El proceso productivo de la palma de aceite fue simulado a través del software FlexSim, logrando obtener exitosamente una aplicación de modelos de simulación en una empresa colombiana del sector palmicultor, lo que permite tener un primer acercamiento a un proceso de transición del modelo de producción convencional a orgánico, siendo una ventaja considerable en la planificación y gestión estratégica de Palmasol, brindando herramientas para la toma de decisiones. Adicionalmente se logra entregar una herramienta a la empresa caso estudio, de fácil parametrización para consideraciones o hipótesis que puedan resolver inquietudes futuras.

El proceso de implementación en el caso de estudio evaluó la viabilidad de tres hipótesis frente a la transición a un modelo orgánico, identificando que como mínimo se debe garantizar nivelar o superar la producción de RFF para encontrar el beneficio económico de las primas obtenidas por certificaciones de producto orgánico, adicional a los beneficios medio ambientales en la mitigación de impacto en la producción de aceite. Sin embargo, bajo una hipótesis de producción inferior, la eficiencia dentro de los procesos y un adecuado estudio y aplicación de materiales puede favorecer la transición encontrando un punto de equilibrio entre la producción convencional y orgánica. Adicionalmente, desde el punto de vista estratégico existe la oportunidad de direccionar ambos tipos de producción entre plantaciones, analizando los escenarios planteados; esto con el propósito de mitigar riesgos frente a la estabilidad de la prima compensatoria que por ser un tema incipiente aun no es considerado su valor agregado por todos los clientes.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, L., Eugenio, E., & Sales, J. (2019). Assessment of organic certification in the coconut oil value chain in the Philippines. January.
- Aggarwal, P. K., Kalra, N., Chander, S., & Pathak, H. (2006). InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description. *Agricultural Systems*, 89(1), 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2005.08.001>
- Balogh, J. M., & Jámbor, A. (2020). The environmental impacts of agricultural trade: A systematic literature review. *Sustainability (Switzerland)*, 12(3), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su12031152>
- Burbano-figueroa, O., Sierra-monroy, J. A., Hinestroza, A. D., Westphalia, N. R., Helena, B. S., & Westphalia, N. R. (2020). Simulación probabilística de ingresos monetarios obtenidos en cultivos del sistema irrigado de producción de hortalizas Resumen. 1–21.
- Caicedo, J. D., & Bocanegra, J. E. (2017). Los fenómenos de El Niño y de La Niña, su efecto climático e impactos socioeconómicos. Bogotá: Academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales colección Jorge Álvarez Lleras No. 34 .
- DAABON. (17 de 10 de 2018). Obtenido de http://www.daabon.com/es/full_post_news.php?id=127
- DANE. (2014). Uso, cobertura y tenencia del suelo 3.er Censo Nacional Agropecuario 2014. 2014, 74. <https://www.dane.gov.co/files/CensoAgropecuario/entrega-definitiva/Boletin-1-Uso-del-suelo/1-Presentacion.pdf>
- Eguillor, P. (2018). Agricultura orgánica: oportunidades y desafíos. Odepa, 1–30. www.odepa.gob.cl
- Fedepalma. (2015). Análisis financiero del sector palmicultor y la industria relacionada. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite.
- Fedepalma, D. (2019). La consolidación de la agroindustria de la palma de aceite y su institucionalidad , un proceso de construcción permanente. 40(2), 65–75.
- Fedepalma. (01 de 04 de 2021). Obtenido de <http://web.fedepalma.org/precios-de-referencia-del-fondo-de-fomento-palmero>
- FlexSim . (28 de 02 de 2021). Obtenido de <https://www.flexsim.com/es/>
- García Jacobo, F. (2020). Diseño de un modelo de simulación de eventos discretos, para la mejora en la línea de producción de tejido industrial Sección C, en la empresa Guantes Internacionales.
- Guevara Ibarra, R. M. (2019). Producción de panela . caso producción de panela . caso asopropanoc (Cundinamarca).
- Martínez, B. C., Rosado, O. R., López, F. G., Hernández, P. P., Becerra, Á. M., & Villamil, L. V. (2011). Aplicación de modelos de simulación en el estudio y planificación de la agricultura, una revisión. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(3), 999–1010.
- Mishra, P., Kattel, R. R., Dhakal, S. C., & Bhandari, P. L. (2019). Factors Affecting the Adoption

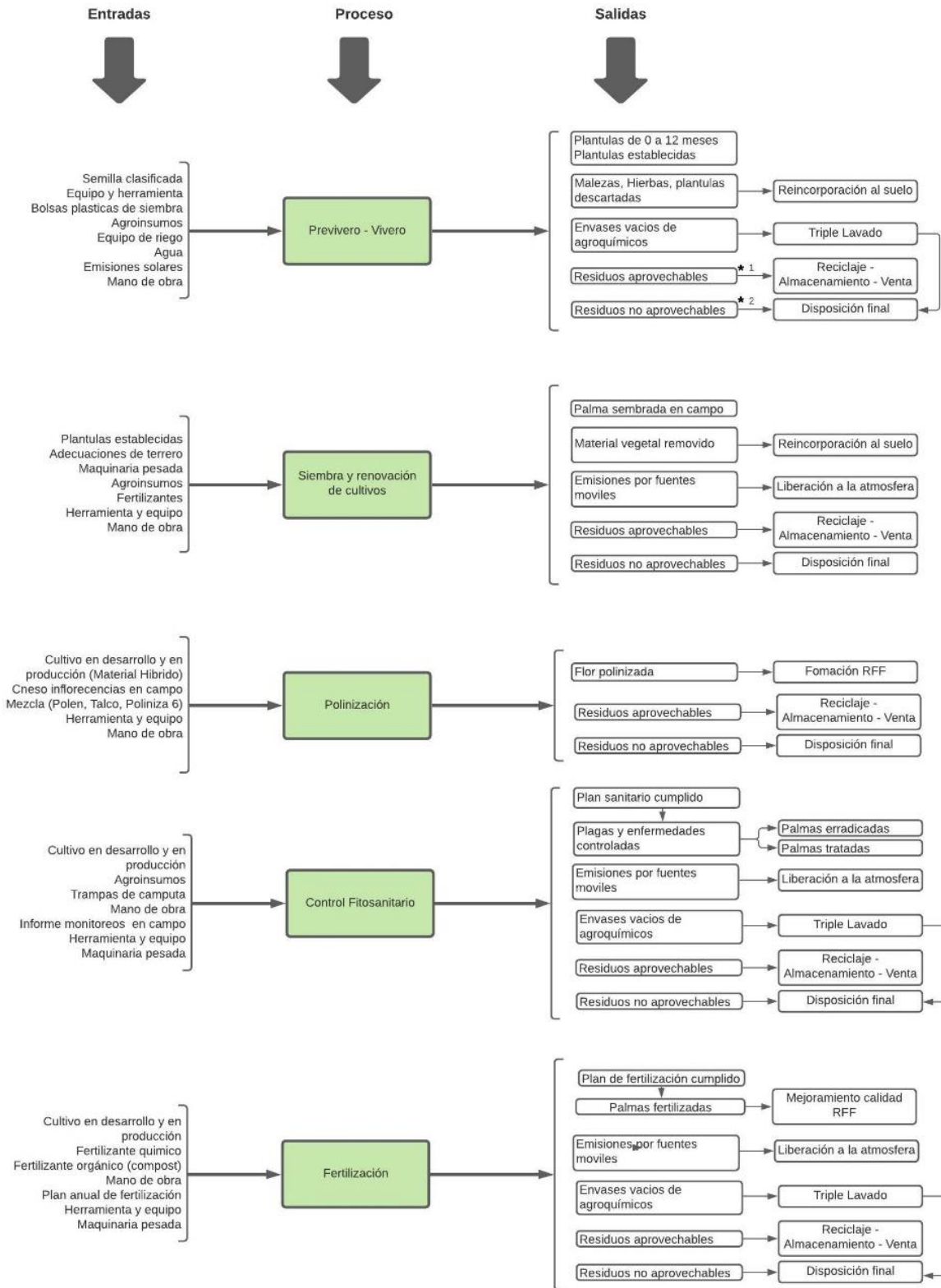


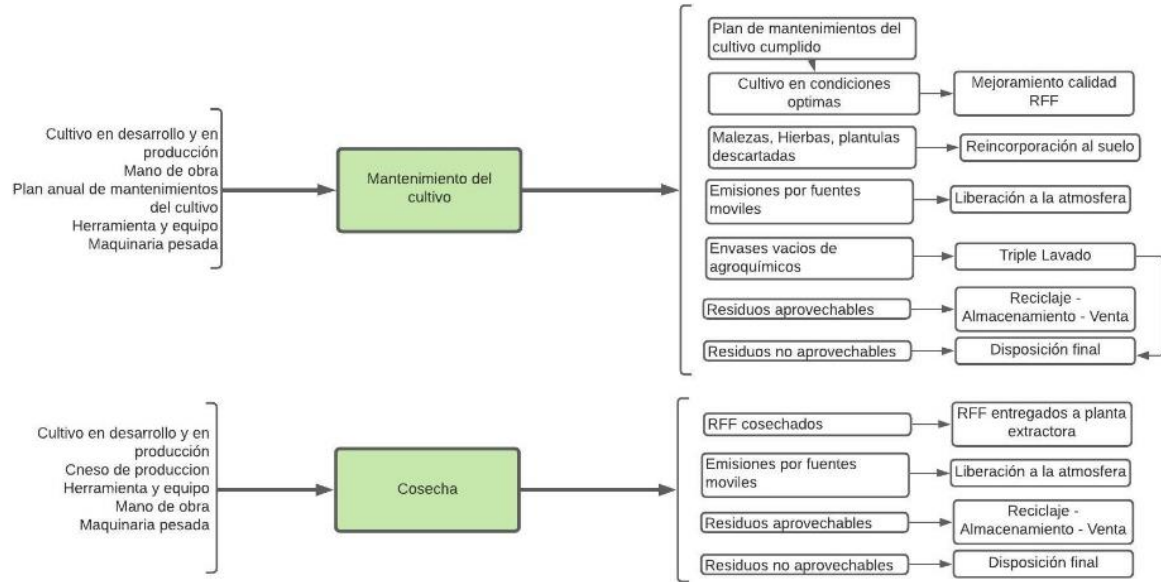
of Certification among the Orthodox Tea Factors Affecting the Adoption of Certification among the Orthodox Tea Growers in Nepal. *January*.
<https://doi.org/10.19080/IJESNR.2019.22.556095>

- Mosquera, M., Ruiz, E., Munévar, D., Castro, L., Díaz, L., & López, D. (2020). Costos de producción 2019 para la palmicultura colombiana: estudio de benchmarking a empresas adoptantes de buenas prácticas. *Palmas (Colombia)*, 41(4), 2–13.
- Rival, A., Montet, D., & Pioch, D. (2016). Oil crops and supply chain in asia | a fili e ` re ol e Certification , labelling and traceability of palm oil : can we build confidence from trustworthy standards ? 23(6).
- Rodríguez, J. M., & Noriega, L. H. (2019). Análisis del ciclo de vida para los procesos involucrados en la producción de biodiesel derivado de la palma de aceite para ser usado en un bus articulado. Bogotá D.C.
- Technoserve. (2015). Construcción de un modelo de agricultura competitiva en Colombia, una mirada al sector agrícola Colombiano. *Diario La República*, 123.
- Utomo, D. S., Onggo, B. S., & Eldridge, S. (2018). Applications of agent-based modelling and simulation in the agri-food supply chains. *European Journal of Operational Research*, 269(3), 794–805. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.10.041>
- Voronkova, O. Y., Perepechkina, E. G., Shichiyakh, R. A., Kuts, V. I., Sungurov, P. A., & Glazkova, G. V. (2019). Ecological and economic potential and prospects for organic production in the Regions of Russia. *International Journal of Economics and Business Administration*, 7(1), 583–594. <https://doi.org/10.35808/ijeba/303>
- Zhao, F., Wu, Y., Wang, L., Liu, S., Wei, X., Xiao, J., Qiu, L., & Sun, P. (2020). Multi-environmental impacts of biofuel production in the U.S. Corn Belt: A coupled hydro-biogeochemical modeling approach. *Journal of Cleaner Production*, 251, 119561. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119561>



ANEXO 1. Flujo de entradas, proceso y salidas por proceso

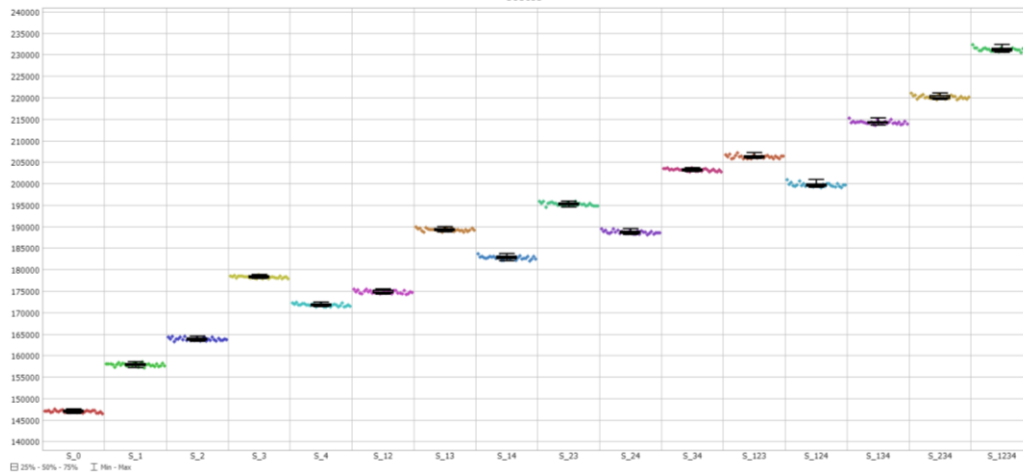




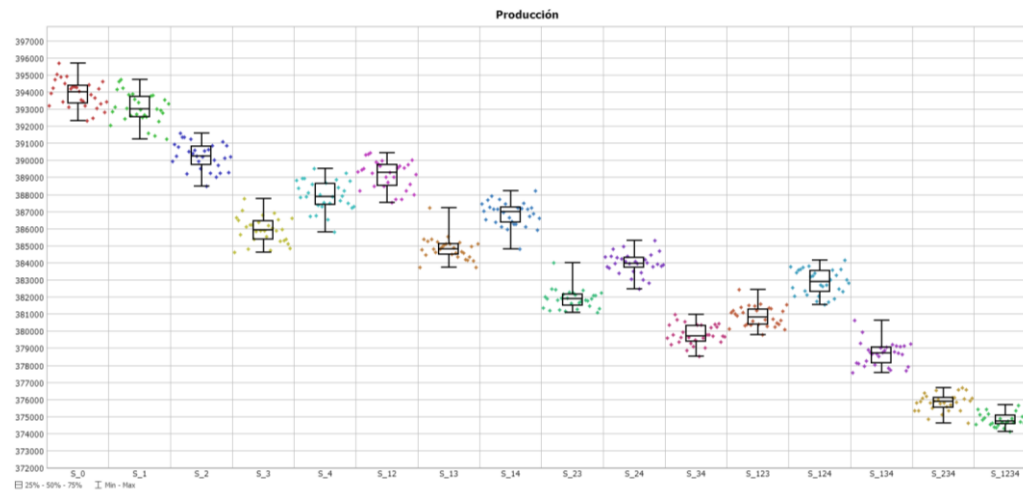
★ 1 Cartón, plásticos, lonas.

★ 2 Envases de productos químicos,

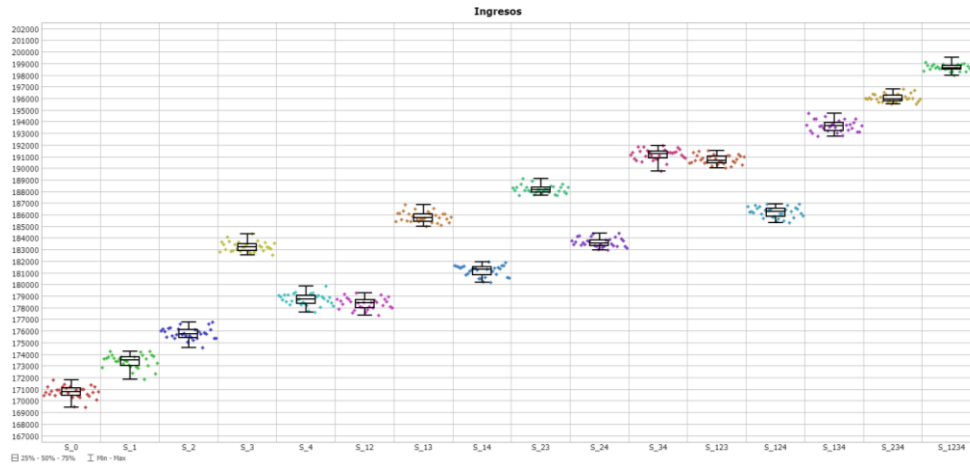
ANEXO 2. Hipótesis 1 Nivel de Producción Orgánico Inferior al Convencional



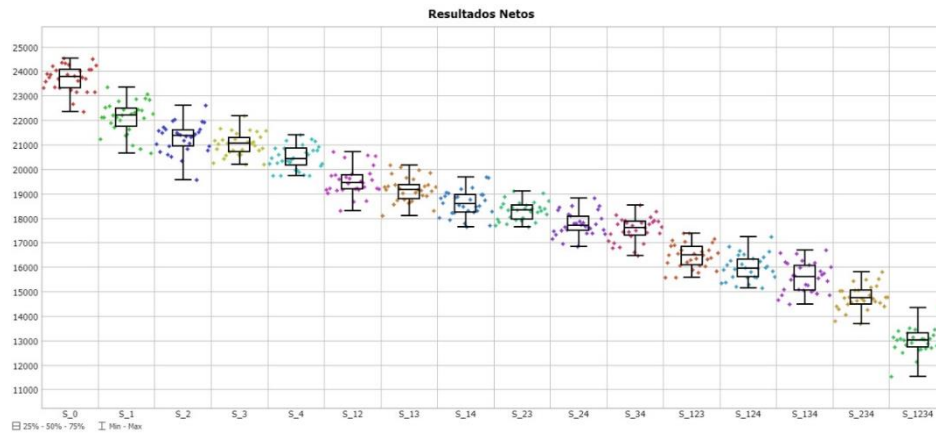
	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
S_0	146921	< 146996	< 147070	241	146517	147581
S_1	151162	< 151269	< 151376	345	150478	151936
S_2	154395	< 154502	< 154609	345	154002	155226
S_3	162142	< 162222	< 162303	259	161791	162816
S_4	158135	< 158230	< 158324	305	157733	158914
S_12	158723	< 158833	< 158944	356	158340	159573
S_13	166514	< 166616	< 166718	329	166014	167301
S_14	162465	< 162578	< 162690	363	161928	163586
S_23	169769	< 169876	< 169982	344	169223	170618
S_24	165739	< 165846	< 165952	344	165261	166619
S_34	173540	< 173624	< 173708	271	173133	174160
S_123	174157	< 174265	< 174373	347	173756	175147
S_124	170089	< 170214	< 170340	405	169683	171369
S_134	177918	< 178032	< 178146	368	177435	179009
S_234	181163	< 181273	< 181382	353	180717	182180
S_1234	185538	< 185655	< 185773	379	185110	186837



	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
S_0	393653	< 393900	< 394146	795	392296	395674
S_1	392779	< 393051	< 393322	875	391223	394710
S_2	390001	< 390243	< 390485	781	388475	391596
S_3	385693	< 385927	< 386160	752	384618	387737
S_4	387665	< 387933	< 388202	866	385798	389502
S_12	388900	< 389155	< 389410	822	387529	390438
S_13	384618	< 384821	< 385024	655	383711	387226
S_14	386636	< 386856	< 387076	709	384811	388215
S_23	381714	< 381890	< 382065	566	381091	384016
S_24	383756	< 383949	< 384143	624	382468	385282
S_34	379604	< 379783	< 379963	578	378517	380957
S_123	380672	< 380854	< 381036	587	379786	382425
S_124	382635	< 382863	< 383091	734	381533	384161
S_134	378456	< 378669	< 378881	684	377566	380608
S_234	375667	< 375821	< 375975	497	374610	376673
S_1234	374689	< 374814	< 374939	403	374122	375697

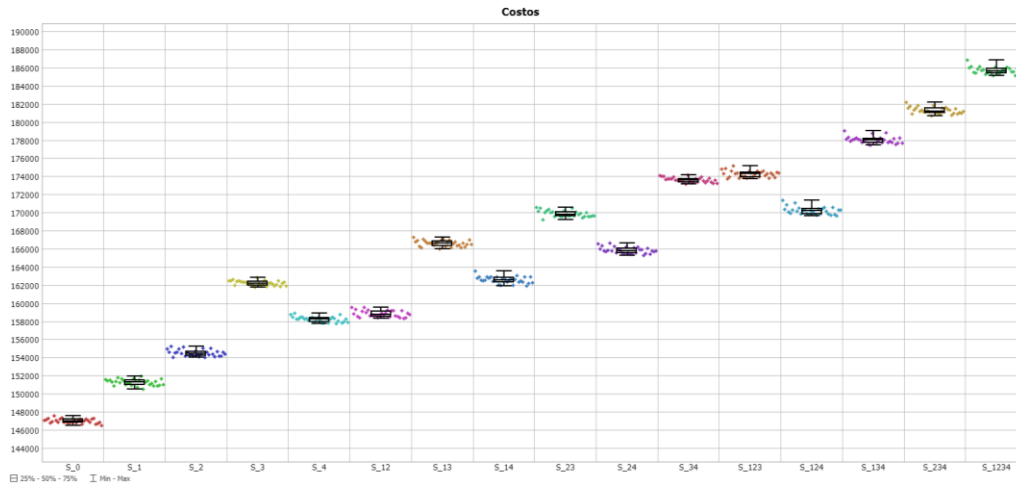


	Mean (90% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max
S_0	170566 < 170727 < 170888	520	169446	171799
S_1	173210 < 173390 < 173571	582	171843	174265
S_2	175627 < 175777 < 175927	483	174570	176778
S_3	183105 < 183238 < 183371	428	182514	184333
S_4	178542 < 178698 < 178853	501	177609	179879
S_12	178188 < 178339 < 178491	489	177323	179246
S_13	185649 < 185788 < 185927	448	185004	186874
S_14	181026 < 181175 < 181324	481	180198	181967
S_23	188059 < 188167 < 188275	348	187657	189096
S_24	183487 < 183608 < 183730	392	182962	184421
S_34	191005 < 191155 < 191305	484	189754	191930
S_123	190613 < 190736 < 190859	397	190038	191492
S_124	186059 < 186201 < 186343	457	185294	186937
S_134	193455 < 193609 < 193764	498	192751	194704
S_234	195918 < 196023 < 196127	336	195496	196812
S_1234	198553 < 198649 < 198745	311	198004	199515

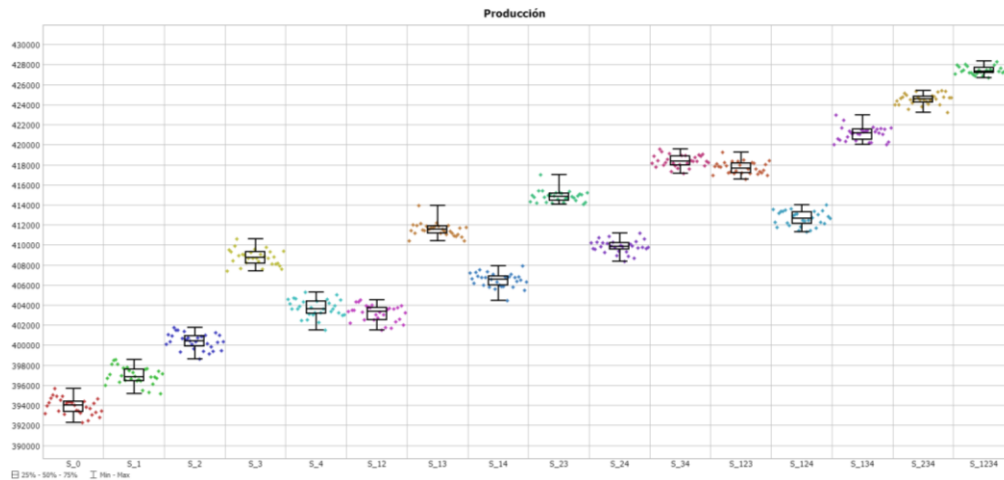


	Mean (90% Confidence)	Sample Std Dev	Min	Max
S_0	23568 < 23731 < 23895	528	22341	24524
S_1	21916 < 22121 < 22327	662	20643	23347
S_2	21090 < 21275 < 21460	596	19559	22602
S_3	20868 < 21016 < 21163	476	20190	22181
S_4	20318 < 20468 < 20617	482	19740	21405
S_12	19330 < 19506 < 19682	568	18308	20723
S_13	19014 < 19172 < 19330	510	18093	20182
S_14	18435 < 18598 < 18760	525	17637	19667
S_23	18173 < 18292 < 18410	382	17642	19115
S_24	17616 < 17763 < 17909	472	16839	18817
S_34	17376 < 17531 < 17686	500	16453	18529
S_123	16316 < 16471 < 16625	499	15564	17387
S_124	15827 < 15987 < 16146	514	15150	17254
S_134	15389 < 15577 < 15765	605	14485	16690
S_234	14599 < 14750 < 14901	486	13686	15791
S_1234	12840 < 12994 < 13147	495	11536	14328

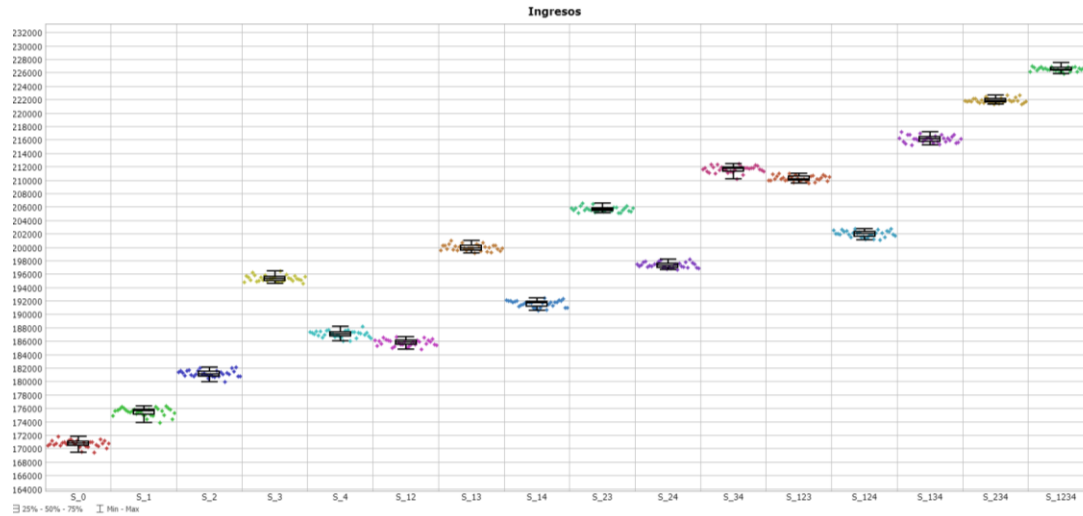
ANEXO 3. Hipótesis 1 Nivel de Producción Orgánico igual al Convencional



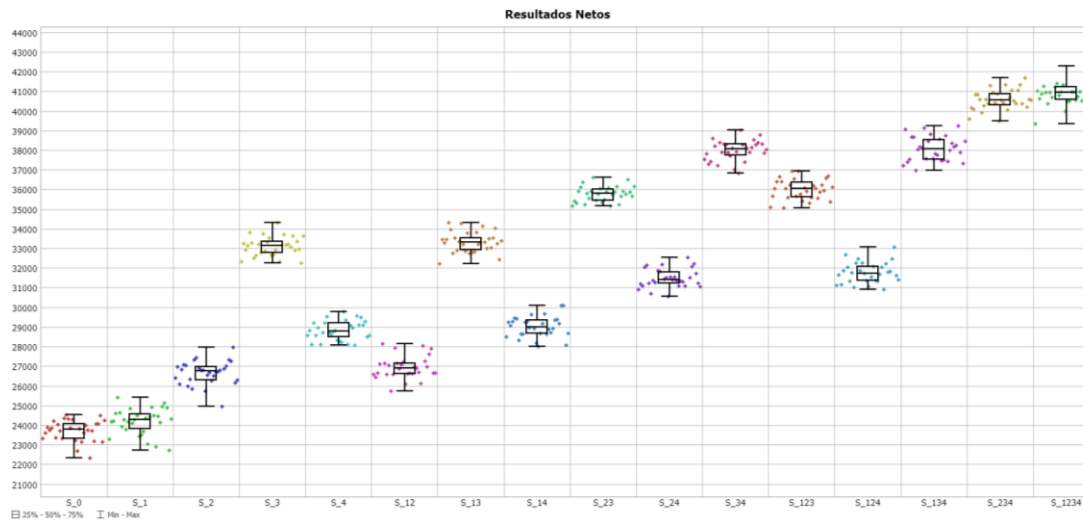
	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
S_0	146921	< 146996	< 147070	241	146517	147581
S_1	151162	< 151269	< 151376	345	150478	151936
S_2	154395	< 154502	< 154609	345	154002	155226
S_3	162142	< 162222	< 162303	259	161791	162816
S_4	158135	< 158230	< 158324	305	157733	158914
S_12	158723	< 158833	< 158944	356	158340	159573
S_13	166514	< 166616	< 166718	329	166014	167301
S_14	162465	< 162578	< 162690	363	161928	163586
S_23	169769	< 169876	< 169982	344	169223	170618
S_24	165739	< 165846	< 165952	344	165261	166619
S_34	173540	< 173624	< 173708	271	173133	174160
S_123	174157	< 174265	< 174373	347	173756	175147
S_124	170089	< 170214	< 170340	405	169683	171369
S_134	177918	< 178032	< 178146	368	177435	179009
S_234	181163	< 181273	< 181382	353	180717	182180
S_1234	185538	< 185655	< 185773	379	185110	186837



	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
S_0	393653	< 393900	< 394146	795	392296	395674
S_1	396671	< 396941	< 397210	868	395147	398578
S_2	400154	< 400397	< 400640	784	398646	401760
S_3	408518	< 408754	< 408990	762	407409	410571
S_4	403416	< 403686	< 403956	870	401526	405301
S_12	402929	< 403183	< 403437	818	401515	404522
S_13	411332	< 411535	< 411737	654	410389	413902
S_14	406275	< 406495	< 406716	711	404479	407898
S_23	414683	< 414859	< 415036	568	414054	417012
S_24	409645	< 409840	< 410035	628	408347	411159
S_34	418187	< 418370	< 418553	590	417108	419562
S_123	417510	< 417696	< 417882	600	416543	419279
S_124	412409	< 412638	< 412866	737	411282	413980
S_134	420911	< 421125	< 421339	689	420006	422983
S_234	424371	< 424536	< 424701	532	423207	425419
S_1234	427288	< 427419	< 427550	421	426684	428332

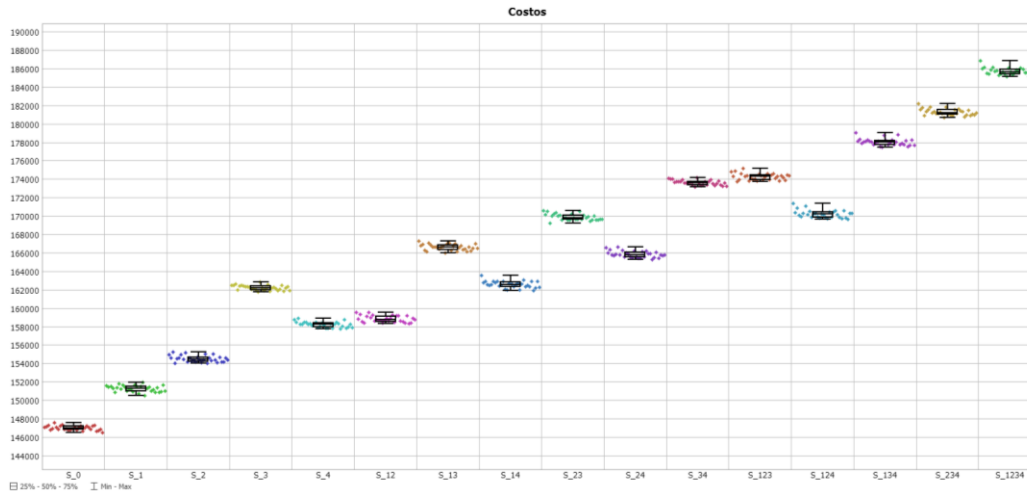


	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
S_0	170566	< 170727	< 170888	520	169446	171799
S_1	175272	< 175452	< 175633	581	173905	176337
S_2	181008	< 181158	< 181308	484	179952	182144
S_3	195199	< 195335	< 195472	440	194585	196460
S_4	186891	< 187047	< 187204	505	185976	188232
S_12	185622	< 185775	< 185927	491	184741	186692
S_13	199800	< 199943	< 200085	459	199136	200995
S_14	191434	< 191586	< 191738	489	190609	192375
S_23	205535	< 205647	< 205759	361	205116	206587
S_24	197204	< 197329	< 197453	401	196679	198171
S_34	211457	< 211613	< 211768	503	210146	212436
S_123	210136	< 210263	< 210390	409	209555	211040
S_124	201836	< 201980	< 202125	466	201064	202752
S_134	215952	< 216112	< 216272	516	215223	217163
S_234	221728	< 221840	< 221952	361	221276	222685
S_1234	226425	< 226529	< 226632	334	225850	227467

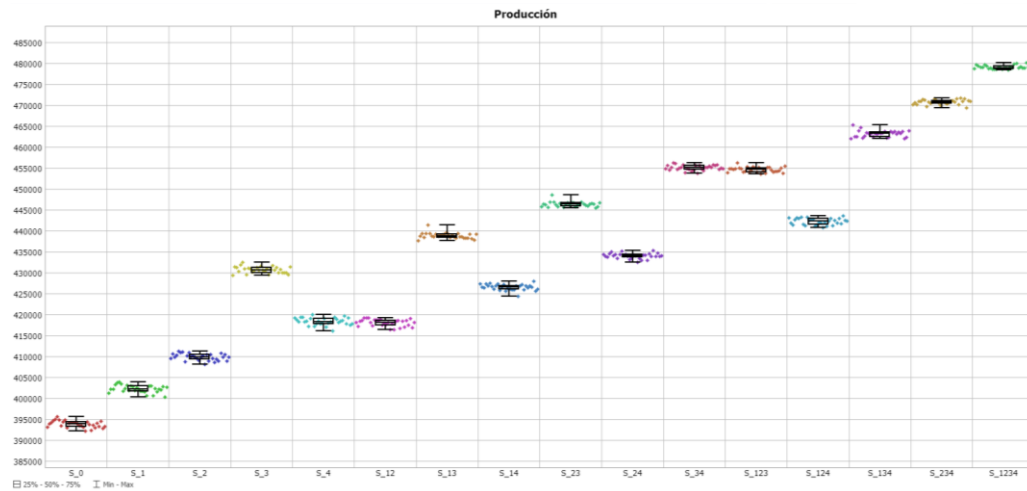


	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
S_0	23568	< 23731	< 23895	528	22341	24524
S_1	23978	< 24183	< 24389	662	22722	25400
S_2	26471	< 26656	< 26841	596	24941	27968
S_3	32962	< 33113	< 33264	488	32270	34308
S_4	28666	< 28817	< 28968	486	28080	29774
S_12	26765	< 26941	< 27118	569	25749	28161
S_13	33165	< 33327	< 33488	520	32235	34328
S_14	28844	< 29008	< 29173	530	28007	30096
S_23	35650	< 35771	< 35892	390	35167	36624
S_24	31336	< 31483	< 31630	475	30555	32556
S_34	37829	< 37989	< 38148	514	36846	39035
S_123	35839	< 35998	< 36156	511	35051	36935
S_124	31603	< 31766	< 31929	525	30920	33069
S_134	37889	< 38080	< 38270	615	36957	39228
S_234	40411	< 40568	< 40724	505	39498	41681
S_1234	40714	< 40873	< 41032	512	39353	42281

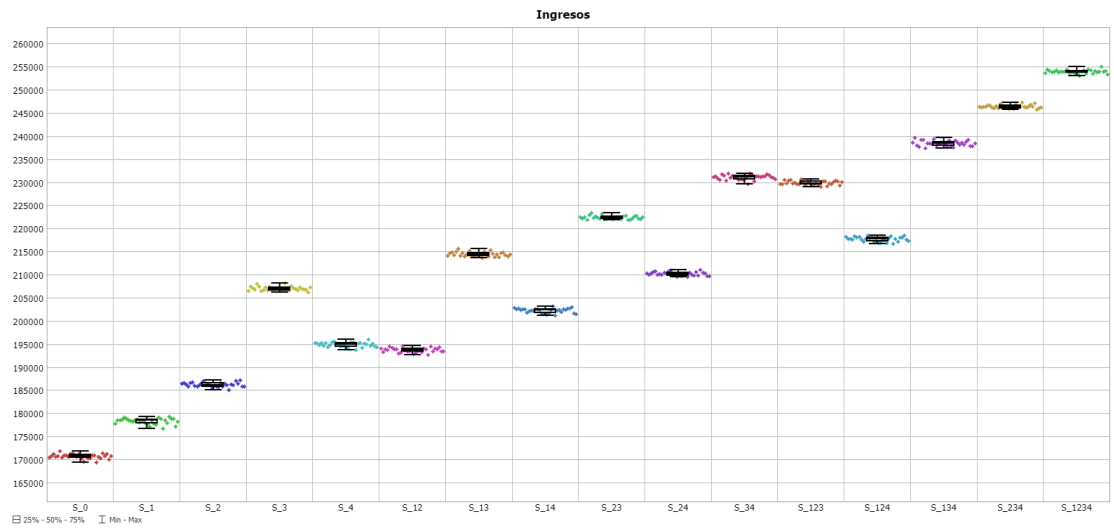
ANEXO 4. Hipótesis 1 Nivel de Producción Orgánico Superior al Convencional



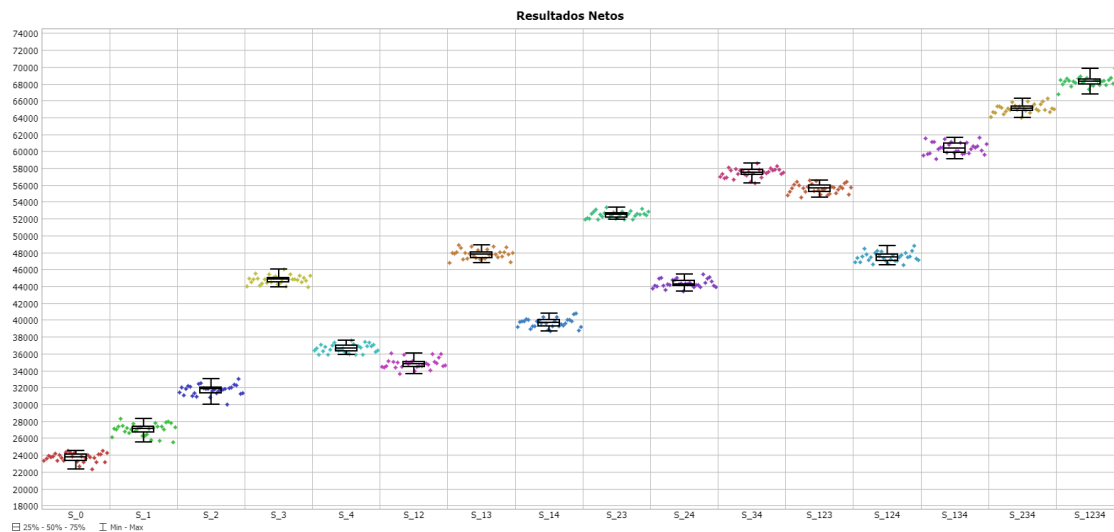
	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
S_0	146921	< 146996	< 147070	241	146517	147581
S_1	151162	< 151269	< 151376	345	150478	151936
S_2	154395	< 154502	< 154609	345	154002	155226
S_3	162142	< 162222	< 162303	259	161791	162816
S_4	158135	< 158230	< 158324	305	157733	158914
S_12	158723	< 158833	< 158944	356	158340	159573
S_13	166514	< 166616	< 166718	329	166014	167301
S_14	162465	< 162578	< 162690	363	161928	163586
S_23	169769	< 169876	< 169982	344	169223	170618
S_24	165739	< 165846	< 165952	344	165261	166619
S_34	173540	< 173624	< 173708	271	173133	174160
S_123	174157	< 174265	< 174373	347	173756	175147
S_124	170089	< 170214	< 170340	405	169683	171369
S_134	177918	< 178032	< 178146	368	177435	179009
S_234	181163	< 181273	< 181382	353	180717	182180
S_1234	185538	< 185655	< 185773	379	185110	186837



	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
S_0	393653	< 393900	< 394146	795	392296	395674
S_1	402042	< 402319	< 402597	895	400431	403972
S_2	409696	< 409942	< 410187	791	408234	411325
S_3	430526	< 430766	< 431006	773	429430	432592
S_4	418155	< 418429	< 418703	883	416219	420104
S_12	417870	< 418131	< 418392	841	416495	419297
S_13	438696	< 438906	< 439117	679	437780	441406
S_14	426380	< 426601	< 426822	713	424504	428002
S_23	446227	< 446406	< 446585	577	445581	448591
S_24	433898	< 434095	< 434292	634	432631	435353
S_34	454933	< 455120	< 455307	603	453858	456337
S_123	454475	< 454666	< 454857	617	453572	456251
S_124	442042	< 442284	< 442526	781	440831	443658
S_134	463001	< 463242	< 463482	775	462050	465387
S_234	470632	< 470807	< 470981	563	469372	471758
S_1234	478975	< 479115	< 479254	449	478451	480158



	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
S_0	170566	< 170727	< 170888	520	169446	171799
S_1	178119	< 178305	< 178492	601	176742	179220
S_2	186065	< 186217	< 186368	488	185028	187197
S_3	206861	< 207000	< 207140	449	206255	208137
S_4	194703	< 194862	< 195021	512	193793	196042
S_12	193540	< 193697	< 193854	506	192685	194695
S_13	214295	< 214447	< 214598	489	213592	215565
S_14	202088	< 202245	< 202401	505	201238	203094
S_23	222255	< 222372	< 222489	377	221807	223324
S_24	210055	< 210182	< 210309	410	209483	211032
S_34	230934	< 231097	< 231260	525	229563	231960
S_123	229718	< 229857	< 229996	448	228973	230714
S_124	217538	< 217694	< 217850	502	216716	218491
S_134	238257	< 238434	< 238610	570	237410	239630
S_234	246244	< 246362	< 246480	381	245767	247273
S_1234	253810	< 253927	< 254043	376	253111	254983



	Mean (90% Confidence)			Sample Std Dev	Min	Max
S_0	23568	< 23731	< 23895	528	22341	24524
S_1	26824	< 27036	< 27248	684	25525	28269
S_2	31529	< 31715	< 31900	597	30017	33022
S_3	44624	< 44778	< 44931	495	43940	45985
S_4	36478	< 36632	< 36786	497	35877	37607
S_12	34681	< 34864	< 35046	589	33652	36092
S_13	47660	< 47831	< 48002	551	46767	48903
S_14	39502	< 39667	< 39832	533	38707	40756
S_23	52372	< 52496	< 52620	400	51898	53381
S_24	44189	< 44337	< 44485	478	43399	45430
S_34	57308	< 57473	< 57638	532	56263	58559
S_123	55424	< 55592	< 55760	542	54569	56609
S_124	47310	< 47479	< 47649	547	46572	48809
S_134	60196	< 60402	< 60608	664	59145	61610
S_234	64927	< 65089	< 65252	525	64015	66252
S_1234	68102	< 68271	< 68440	544	66752	69797