



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA EL  
REEMPLAZO ÓPTIMO DE FRESIAS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
INDUSTRIAL

AUTOR  
MANUEL ZARRICUETA ALBORNOZ

PROFESOR GUÍA  
VÍCTOR ALBORNOZ SANHUEZA

CORREFERENTE  
RODRIGO ORTEGA BLU

MARZO 2026



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

### 1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA EL REEMPLAZO ÓPTIMO DE FRESIAS

Nombre del candidato(a): Manuel Amari Zarricueta Alborno

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Industrial

Campus: Vitacura Departamento: Industrias

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Víctor Manuel Alborno Sanhueza, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

### 3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

---

---

---

### 4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis: Víctor M. Alborno Sanhueza

Fecha: 7 de enero de 2026, Firma: Víctor M. Alborno S.

Estudiante o Candidato(a): Manuel Amauri Zarricueta Alborno

Fecha: 7 de enero de 2026, Firma: Ry

## ÍNDICE

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| RESUMEN .....                                                               | 2   |
| 1. INTRODUCCIÓN.....                                                        | 5   |
| 1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN: .....                                        | 7   |
| 2. OBJETIVOS .....                                                          | 11  |
| 2.1 OBJETIVO GENERAL .....                                                  | 11  |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                                             | 11  |
| 3. MARCO TEÓRICO .....                                                      | 12  |
| 3.1 CONTEXTO.....                                                           | 12  |
| 3.2 FRESIA Y FACTORES DE CRECIMIENTO .....                                  | 14  |
| 3.4 CONSTRUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS ECONÓMICOS Y TÉCNICOS DEL<br>MODELO..... | 32  |
| 4. METODOLOGÍA.....                                                         | 42  |
| 4.1 FORMATO DE TRABAJO .....                                                | 42  |
| 4.2 SUPUESTOS.....                                                          | 43  |
| 4.3 CONJUNTOS.....                                                          | 44  |
| 4.4 PARÁMETROS.....                                                         | 45  |
| 4.5 VARIABLES DE DECISIÓN. ....                                             | 47  |
| 4.6 FUNCIÓN OBJETIVO .....                                                  | 50  |
| 4.7 RESTRICCIONES .....                                                     | 50  |
| 5. CASO DE ESTUDIO.....                                                     | 55  |
| 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....                                              | 62  |
| 6.1 ANÁLISIS CUANTITATIVOS .....                                            | 63  |
| 6.2 ANÁLISIS CUALITATIVO .....                                              | 71  |
| 6.4 LIMITACIONES .....                                                      | 78  |
| 7. CONCLUSIONES.....                                                        | 81  |
| 8. PERSPECTIVAS FUTURAS .....                                               | 83  |
| 9. ANEXOS.....                                                              | 85  |
| REFERENCIAS .....                                                           | 123 |

## RESUMEN

El cultivo de Fresa híbrida ha recibido cada vez más atención en la industria de las flores ornamentales, debido a su importancia comercial, variedad de colores y alta demanda. Sin embargo, la producción del cultivo enfrenta problemas estructurales debido a: 1) un declive fisiológico a largo plazo de los cormos. 2) variación estacional en los rendimientos dependiendo de la edad. y 3) riesgo de enfermedades que no solo afectan la continuidad del proceso de crecimiento de la planta, sino la producción general. Las características mencionadas presentan un desafío en el momento de reemplazar los cormos, la decisión clave para asegurar la sostenibilidad económica y productiva del sistema. Dentro de este marco, se debe adoptar un enfoque metodológico que combine características biológicas, mecanismos de costos e incertidumbre en la práctica agrícola de actividades.

En este trabajo, se formula y se resuelve un modelo lineal de programación entera-mixta para analizar varios escenarios con parámetros sensibles que ayudarán a establecer la política óptima de reemplazo de cormos en Fresa híbrida. Tales parámetros, tanto de carácter agronómicos (productividad dependiente de la edad, tasas de mortalidad con una estructura beta-binomial, necesidades nutricionales y etapas fenológicas) como económicos (costos de nutrientes, reemplazo según el Índice de Precios al Consumidor y beneficios de la producción de cormos). Usando este enfoque, se puede evaluar el rendimiento en una variedad de configuraciones basadas en el coeficiente de correlación intraclase (ICC) y variantes de tasa de producción.

Los hallazgos revelan que las decisiones de reemplazo dependen mucho de la productividad y el efecto de las tasas de mortalidad, aunque también muestran robustez en la decisión inicial de renovación bajo diferentes escenarios. Hay una reducción en los ciclos de reemplazo, con mayores beneficios en entornos favorables. los escenarios adversos alargan los ciclos de reemplazo y aumentan las pérdidas.

Este estudio, desde un punto de vista ingenieril, demuestra lo que este tipo de métodos de optimización cuantitativa pueden aportar para sistematizar decisiones agrícolas complejas. Y ofrece un recurso que puede replicarse en toda la cartera para la gestión estratégica de cultivos ornamentales y la planificación de recursos biológicos sujetos a degradación.

## **ABSTRACT**

The cultivation of *Freesia hybrida* has received increasing attention in the ornamental flower industry due to its commercial relevance, color diversity, and high demand. However, production faces structural challenges arising from: (1) the long-term physiological decline of corms. (2) seasonal variation in yields depending on plant age. and (3) the risk of diseases that not only disrupt the continuity of the plant's growth cycle but also compromise overall productivity. These characteristics pose a significant challenge when determining the optimal moment for corm replacement, a key decision for ensuring the economic and productive sustainability of the system. Within this framework, a methodological approach that integrates biological behavior, cost mechanisms, and uncertainty inherent to agricultural practice is required.

In this work, a mixed-integer linear programming model is formulated and resolved to analyze multiple scenarios with sensitive parameters that support the identification of the optimal corm replacement policy for *Freesia hybrida*. These parameters include both agronomic factors—such as age-dependent productivity, mortality rates modeled through a beta-binomial structure, nutritional requirements, and phenological stages—and economic factors, including nutrient costs, replacement costs adjusted by the Consumer Price Index (CPI), and revenues from corm production. Using this approach, system performance is evaluated across a range of configurations based on the intraclass correlation coefficient (ICC) and variations in production rates.

The findings indicate that replacement decisions are highly dependent on productivity and on the effects of mortality rates, while still exhibiting robustness in the initial renewal decision across different scenarios. Favorable environments lead to shorter replacement cycles and higher benefits, whereas adverse scenarios extend replacement cycles and increase losses.

From an engineering perspective, this study demonstrates how quantitative optimization methods can support and systematize complex agricultural decision-making. It provides a replicable resource for the strategic management of ornamental crop systems and for the planning of biological assets subject to degradation.

## 1. INTRODUCCIÓN

En cuanto al papel que juegan las flores en el mundo, pueden desempeñar todo tipo de roles, ya que son una parte importante en la supervivencia de las especies. Ellas explotan la ayuda moderada —o cooperación— de otras especies hacia nuevas generaciones para asegurarse de que se desarrollen a futuro, preservando la sostenibilidad del ecosistema. Pero los humanos y otras criaturas han desarrollado un gusto por los colores brillantes de belleza y aromas atrayentes, pero han ignorado la verdad sobre ellas. Las flores son solo parte de un ciclo reproductivo extendido.

El mercado de flores, tanto cortadas como en maceta, está destinado como regalos para grandes ocasiones sociales. Por otro lado, las primeras se utilizan en bodas, curarlas para que duren como felicitaciones por algunos, decorar ornamentalmente todos los interiores por los amantes de las plantas, entre otros. Sin embargo, hay muchos factores en el sector que conducen a la incertidumbre en la cría, incluyendo, pero no limitado a, el agotamiento de la planta madre (ya sea por edad o genética), desgaste del suelo en los campos, plantas asfixiadas por un largo período de latencia. Y así sucesivamente. Por lo tanto, para contrarrestar el brote de plantas junto a mantener un suministro continuo durante todo el año, los productores de flores deben emplear invernaderos. Sin embargo, cada tipo de flor, seleccionada individualmente, puede establecer un patrón de crecimiento que le es peculiar.

Dependiendo del clima, cada especie florícola que es ornamental o floricultura, para florecer, puede cultivarse anualmente. Es decir, los cormos (más pequeños, aéreos) que llegan al mercado meses antes de la floración. Pero debido al problema de cuándo debe restablecerse un cormo productor, solo existen recomendaciones sobre cuántas floraciones ocurren sin dañar la calidad de un cormo existente. Entonces, sería razonable un modelo que permite a las

empresas productoras determinar cuándo debe aparecer un nuevo cormo en su producción, con respecto a algunos parámetros de cría relevantes, es conveniente decidir cuándo el cormo debe ser renovado.

El objetivo de este estudio es describir un modelo de reemplazo óptimo para Fresia Híbrida. De diferentes tipos de este género, considera a Shui Xian Yezi y A La (ambos rústicos y no híbridos puros) como los mayores vendedores, porque producen descendencia del género en muchos colores diversos y fértiles en el entorno específico que resultan, al gusto, de la población.

Para guiar este estudio, se han abordado tres preguntas importantes:

1. ¿Qué parámetros son críticos para el crecimiento de la fresia?
2. Si permitimos que la fresia pase el pico de su plena operación, ¿qué recursos cambian o se agotan?
3. ¿Cómo cambia lo que se sabe sobre el modelo si cambiamos los parámetros de entrada de manera plausible?

La respuesta a estas preguntas es un modelo informatizado para métodos matemáticos en el que los costos pueden estimarse calculando cuánto tiempo han estado en operación los cormos y cuándo renovar los cultivos, basándose en la disponibilidad de materiales disponibles.

Esta memoria comienza con el marco teórico, describiendo las características de los objetos de estudio, la relevancia de los modelos pertinentes y una formulación matemática de las restricciones técnicas discute los datos ambientales disponibles adecuados para invernaderos junto a varios otros datos de entrada. Además, se describen a continuación los

detalles de este espécimen de estudio: se describe la elección de la variedad y su posición en el campo ornamental. Luego, se introduce el concepto de programación lineal que proporciona el marco metodológico de esta construcción de modelos. Finalmente, en metodología, describimos características importantes que permiten la construcción del prototipo. se analiza los resultados de la simulación. inspeccionamos la importancia de estos aspectos para el trabajo productivo.

### **1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN:**

Los expertos están hablando cada vez más, sobre las tendencias del mercado mundial de flores ornamentales (Chaudhary, 2025). La belleza de este estudio es que cubre el mercado de flores decorativas con uso de metodologías y técnicas de investigación de mercado extensas de los principales expertos globales. El mercado mundial de flores ornamentales tiene un valor de 33.990 millones de dólares estadounidenses en 2024, creciendo a 45.870 millones de dólares estadounidenses en 2034 y una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 3.00% entre 2025 y 2034. Otros tienen una visión más optimista del mercado. Se valora en 60.289,72 millones de USD (a nivel mundial) en 2025 y 113.478,2 millones de USD (2033) junto a un CAGR para 2025-2033 es del 7.28% (Global Growth Insight, 2025). Se dice que tal demanda, sin embargo, proviene del trasfondo de una sociedad con un nuevo ethos ecológico moldeado por el nuevo ethos ecológico de las personas del período de investigación empresarial (2025) "las flores decorativas que amamos con las flores que la gente tiende a tener en el hogares, lugares de trabajo y jardines" (Business Research Insight, 2025). Por lo tanto, el suministro de flores ornamentales en todo el país y los mercados internacionales es

extremadamente competitivo. Con este último, es posible mirar un mapa con proveedores en diferentes regiones.

El mercado en América del Norte está compuesto por Colombia y Ecuador como proveedores. Kenia con Etiopía tienen presencia en Europa principalmente. El mercado de flores número uno en el mundo, los Países Bajos, también exportan bulbos al extranjero (Ploeg, 2022). En este contexto, fresia híbrida, o fresia, ha ganado particular popularidad. La versatilidad de sus colores y el atractivo de su fragancia la hacen atractiva para los consumidores mundiales, por lo que su comercialización se ve aún más favorecida (Villagómez et al., 2013). Pero los productores tienen que lidiar con una serie de incertidumbres, como el momento adecuado para introducir bulbos hijos y, en este caso particular, cuándo reemplazar los bulbos madre cuando no se dispone de un suministro adecuado de insumos o se utiliza una planta de manera ineficiente.

Factores ambientales y fisiológicos tales como presiones térmicas u otros tipos de desajuste de crecimiento, degradación del suelo o enfermedades por exceso de agua afectan el ciclo productivo (Piovano, Pisi y Francescangeli, 2016). Cultivar fresias en invernaderos, mientras se vigila siempre cuándo y cómo crecen, minimiza estos riesgos. Tampoco existe un estándar a nivel nacional que indique a la comunidad local cuándo reemplazar su cormo madre. La producción es inconsistente, porque todos dependen de experiencias ad hoc o "de buen momento" y de la disponibilidad de directrices generales de cría. Sin embargo, al mismo tiempo, debe tenerse en cuenta que este es un mercado con demanda estacional y leyes de importación y exportación (Mordor Intelligence, 2024).

El fracaso del número anticipado de bulbos afectará gravemente las ventas y la reputación de ciertas empresas. Cabe señalar que esto es un axioma, o sea, cada fresia tiene un corto período de floración antes de que la producción de bulbos y flores siga cualquier declive (Dutch-Bulbs, 2019). Por lo tanto, las empresas que buscan la producción en masa enfrentan una incertidumbre continua en varios campos: (1) costo de reemplazo, (2) volumen de producción anticipado y (3), sobre todo, rentabilidad del cultivo (Caixeta-Filho, Van Swaay-Neto y Lopes, 2000).

Vale la pena considerar todas las razones mencionadas anteriormente para construir un modelo matemático en el cual, en la medida en que cada cormelo disponible sea de necesidad estratégica, en qué año vale la pena reemplazarla en particular. Y este modelo incluye explícitamente restricciones de recursos así como cambios futuros que puedan ocurrir con el sistema acercándose a sus restricciones operativas. Esto permitiría calcular el rendimiento esperado de cada cormelo en un período de tiempo particular y analizar dinámicamente cómo las decisiones de renovación impactan en la productividad futura. Tal formulación ofrecería a los productores una mejor ayuda para seleccionar cuándo renovar sus estructuras de cultivo, previniendo la incertidumbre en tal inversión y asegurando que puedan tomar decisiones estratégicas al respecto.

En términos simples, un método matemático que refleje efectivamente la evolución productiva y los costos a través del tiempo contribuirá a la sostenibilidad del mercado ornamental en la medida en que permita prácticas de renovación más efectivas que sean consistentes con las condiciones económicas y agronómicas del sistema.

El estudio principal intenta diseñar un modelo de decisión matemática para reemplazar los bulbos de Fresia x hybrida y tiene tres preguntas:

1. ¿Cuáles son los factores decisivos en la producción de bulbos de fresia para el período de vida y fructificación?
2. Cuando se utilizan bulbos que ya están superando su rendimiento estándar, ¿qué recursos naturales y económicos deben comprometerse?
3. ¿Cómo dependerá la salida del modelo de pronóstico de los cambios en los parámetros de entrada (disponibilidad de recursos, tiempo en que se puede obtener un resultado, escenarios ambientales, etc.)?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Crear un modelo matemático flexible para estimar los mejores momentos para renovar los bulbos de Fresia x hybrida de modo que estos intervalos aumenten la rentabilidad del sistema basado en una relación de ingresos a tasa de gasto proporcional a la vida productiva de la planta, nutrientes disponibles y horizonte de planificación determinado por el usuario.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar elementos de los efectos inducidos por el crecimiento en las fresias de su productividad y deterioro fisiológico de sus bulbos.
- Combinar prácticas de cría, recomendaciones y elementos importantes dentro de un modelo lineal de programación entera-mixta. Que pueda tener un manejo altamente fiel de la variabilidad y la toma de decisiones más efectiva bajo diferentes escenarios plausibles.
- Estimar una influencia en la selección de renovación en cualquiera de los aspectos de rendimiento como costo, nutrientes o duración.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 CONTEXTO**

Aunque el mercado de la floricultura parece ser muy homogéneo, en realidad está dividido en muchos submercados: flores cortadas, plantas en maceta, flores diferenciadas por especies o incluso por lugar de origen. Todos ellos tienen sus propios modos de cultivo, cosecha y comercialización. Un ejemplo de ello es la empresa brasileña Jan de Witt. Que se especializa en lirios en el mercado de flores cortadas y en el mercado de plantas en maceta.

La empresa no tuvo un buen desempeño en el mercado de flores cortadas en la primera fase - el 95% de los bulbos fueron importados de los Países Bajos - (Caixeta-Filho et al., 2002)). La dificultad era algo tan simple —y complejo, por supuesto— como predecir con precisión las variables locales: clima, cambios de precio por temporada o costos remotos, por ejemplo.

Pero al emplear un modelo de demanda no determinista, el caso fue diferente. Al año siguiente, la empresa rompió el molde, aumentando los márgenes de beneficio. Esto ejemplifica cómo las matemáticas pueden hacer una diferencia tangible en la industria. La firma consultora Interactiva S/C Ltda. fue mencionada además cuando emplearon un sistema experto de programación lineal para asesorar a un productor de gladiolos.

Se tuvieron en cuenta el costo de producción, bulbos, toneladas por combinaciones. Y número y tamaño de bulbillos, entre otros factores (Caixeta-Filho, Van Swaay-Neto y Lopes, 2000). No es exagerado decir que las cifras no mintieron: se obtuvo un ingreso bruto de USD 16,155.26, más del 10% de las estimaciones de 7.6 ha bajo producción (de 20 ha disponibles) en el estudio de elegibilidad.

Los investigadores de plantas llevaron a cabo una investigación en octubre de 2023 sobre el efecto de la luz en los cultivos de invernadero de Plant Research International. No es un modelo de optimización, pero también fue interesante ver el cambio con la adición de luz. En cambio, mostró que: a) no hay una simple linealidad en el parámetro de luminosidad, b) el crecimiento de las plantas está condicionado por muchos factores. Que incluyen las especies de plantas cultivadas, la temperatura ambiental, entre otros. Finalmente, la optimización de la producción ornamental mediante modelado matemático es una realidad más que una utopía y se practica con mayor frecuencia. Sin embargo, hasta ahora no se ha descubierto nada sobre la especie fresa como sujeto de investigación.

Con los lirios del modelaje de Caixeta, este trabaja dos mercados paralelos (maceta y flores cortadas). Aquí, sin embargo, solo es con uno, el de plantas en maceta. Por lo tanto, es difícil saber cuándo renovar la fresa reemplazando los bulbos viejos por nuevos, para conectar el inversión inicial con el rendimiento.

El segundo modelo analizado planeaba aumentar la densidad de plantas sin sacrificar las ventas o la calidad del producto. En el situación es diferente en dos aspectos básicos. Primero, se distinguen entre "cormos" y "cormelos", ya que para el mercado solo se aceptarán cormos. no obstante, los cormelos también pueden tener un desarrollo que los lleve a convertirse en cormos idóneos para le venta. Segundo, se enfatizarán rasgos como "edad" o cuántas veces ha florecido el cormo y "nutrientes" (agua, promotores biológicos añadidos, etc) porque ambos son esenciales en prácticas de producción competitivas y no son costos despreciables.

### 3.2 FRESIA Y FACTORES DE CRECIMIENTO

Existen aproximadamente 20 especies del género *Fresia* (Petruzzello, 2024), incluidas de 10 a 15 presentes en África. Este estudio se refiere a *Fresia x hybrida*. Que forma una de las especies más extendidas en América Latina y significativa económicamente. Como señaló la Universidad de Valencia (s.f.), esta flor es popular por su proceso de hibridación de *Fresia refracta*, *Fresia leichtlinii* y *Fresia corymbosa* que ha llevado a flores de una variedad de colores y variedades con una productividad significativamente aumentada. Que a menudo son preciosas en jardines y floricultura. Morfológicamente, la fresia consiste en un pequeño bulbo de 2 a 3 cm de diámetro.

Rossas (s.f.) sugiere plantar a 5 cm de profundidad, pero otros autores recomiendan enterrarlo al doble o triple de altura (Molinos, 2023). Incluso se recomienda una profundidad de hasta 10 cm para evitar un crecimiento excesivo peligroso (Dutch–Bulbs, 2019). Entre la distancia de los cormos, se recomienda un espaciado de 4 a 6 pulgadas entre los cormos. Para replantar, 4 pulgadas es ideal. Y una distancia de 10-15 cm de los otros para no competir por el suministro de alimentos (Dutch-Bulbs, 2019).

Esto sugiere que usando una mayor densidad en siembra, como con gladiolos, se pueden lograr mayores rendimientos, sugiriendo el potencial para futuros trabajos experimentales en fresias con modelos similares (Caixeta, 2000). Curiosamente, según Jackson (1982), en el gladiolo "White Friendship" se emplearon tres densidades (30, 40 y 45 bulbos por metro lineal), lo que indicó una gran medida de competencia a distancias relativamente cortas. Dado que el espaciado típico para esta especie es de aproximadamente 12 cm (Longfield Gardens, s.f.), estos datos pueden informar nuevos modelos de fresia. En

cuanto a estas, la forma del brote será un factor importante para prevenir la competencia intraespecífica. Como señaló Piovano et al. (2016): "Están agrupados en espigas en las puntas de los tallos. Aparecen solo en un lado del tallo, en un solo plano. Estos tallos se doblan hacia la posición correcta justo debajo de las inflorescencias, por lo que las flores, más comúnmente de 10 a 12, están orientadas hacia arriba". (p. 4).

Esta estructura proporciona una razón lógica para plantar fresas, manteniendo un espaciado regular entre las filas, cuestionando si este tipo de estándar es efectivo en primer lugar o si los modelos posteriores pueden encontrar mejores distribuciones. Las flores verdes miden alrededor de 50 mm de largo y las hojas de 65 a 70 cm de largo (Garden Culture 2020). Son zigomorfas, un rasgo útil que previene la competencia entre individuos y que también afecta la posición del nuevo bulbo producido a partir de los tallos. Dado que la reproducción asexual —"una célula vegetal propaga otra célula idéntica mediante mitosis" (Universidad de La Plata, s.f.)— la ubicación junto con acumulación de tales bulbos es un factor en el desarrollo de la planta que debe ser gestionado.

Con respecto a los descendientes, hay una categorización de cormos secundarios y terciarios, "formados a partir de las yemas axilares de los cormos primarios o de los cormos secundarios que se desarrollan y forman una nueva planta" (González U., 1987). Esos cormos inmaduros generalmente no están lo suficientemente desarrollados para la venta comercial y necesitan un período de trabajo de un año para convertirse en un producto viable o vendible (BBC Gardeners, 2022). Para los estudios mencionados, es relevante modelar el rendimiento anticipado en la literatura para derivar una base razonable para estudios posteriores.

Relacionado con lo anterior, es recomendable cuantificar cuanta cosecha se espera según la literatura para establecer una base sólida en posibles análisis futuros. En métodos de tratamiento experimentales se apunta ya valores altos. Por ejemplo, con tratamientos de microondas han tenido máximo 8,33 cormos por planta y 5,11 como cota inferior (Akhink A. Hassan, 2025, págs. 3741-3742) lo que se traduce en un rango de 5-8 por planta en su primer florecimiento. Respecto a los cormelos, el mismo estudio llega a un máximo de 36,89 por planta y un 25,67 por lo bajo. (Akhink A. Hassan, 2025, pág. 3746). es decir, un rango entre 25 a 36 cormelos por planta. Otro estudio que analiza el efecto del ácido Giberélico en la crianza muestra que hay un rango de cormelos 19,72 y 14,19 (Mosa & Abdulrahman, 2022) por lo que la norma es procesos experimentales eficaces son valores altos, pero que no representa la normalidad. Sin embargo, respecto a los cormelos, se han encontrado valores entre 1,67 a 6 unidades por planta progenitora (Abdel-Fattah, Attia, & El-Banna, 2020, pág. 70). Por ende, se puede concluir que hay rangos muy variables y que en casos experimentales, los valores de ambos elementos sean más bajos.

Después de haber definido las principales características de la fresa, solo queda explicar su cuidado a lo largo de su ciclo y las mejores prácticas para guiar la especie hacia la preservación futura de bulbos, ya que todo indica que, a partir del séptimo año de desarrollo, las fresas rinden notablemente peor en cualquier forma, incluyendo la producción de bulbos con menos vigor (Piovano et al., 2016, pág. 7). En consecuencia, la delimitación de sus fases fenológicas no solo proporciona una visión suficiente de su dinámica biológica, sino que también es un aporte importante utilizado para justificar la selección como especie modelo en actividades de optimización y planificación agrícola. Las fases fenológicas son definiciones conceptuales en la evolución de las plantas, vistas como eventos cíclicos o recurrentes

relacionados con el desarrollo estructural y reproductivo de la planta, incluyendo, por ejemplo, la emergencia, la floración o la madurez del órgano de almacenamiento (Vilab, 2023).

La primera etapa es la emergencia. Que se completa desde que la primera hoja penetra la superficie del suelo (Khattak, Ul Amin y Azim Khan, 2011, p. 45). Dura entre 20 y 28 días (es decir, está influenciada por el cultivar y la composición fisicoquímica del sustrato) y necesitamos un modelo de parámetro de tiempo estándar utilizado (Khattak et al., 2011).

El ciclo procede incluyendo etapas vegetativas, reproductivas, senescentes y de dormancia. La fase vegetativa corresponde a un aumento en la capacidad fotosintética con un aumento en el volumen foliar, biomasa aérea y subterránea (Huijser & Schmid, 2011). En la competencia fisiológica para la organogénesis reproductiva, esta fase se divide entre una etapa juvenil y una adulta debido a la última (Huijser & Schmid, 2011, p. 4117). Durante esta transición al período reproductivo, se observa la "hoja bandera", el último órgano foliar en desarrollarse, antes de la transición funcional de los sistemas vegetativos a productivos del cultivo (Santilli, Bas-Nahas & Medrano, 2023, p. 201. Benjamin, 2021). En este punto, la planta se vuelve senescente debido a la movilización de recursos hacia los tejidos reproductivos de la planta y su degradación programada.

“La formación de semillas y frutos va asociada a un proceso de envejecimiento del resto de la planta. La senescencia puede terminar con la muerte de toda la planta, como en la mayoría de las herbáceas (senescencia monocárpica), o sólo de algunos tejidos y órganos, como en plantas pluriánuales (senescencia policárpica)” (FaCENA, s.f.)

Durante esta etapa. Que abarca desde el final de la cosecha de cormos florales hasta que se induce la dormancia, se reduce el riego para permitir la acumulación de carbohidratos de reserva en el cormo madre (Santilli, Bas-Nahas & Medrano, 2023, p. 201).

La etapa de dormancia se llama ecodormancia en la que la planta no brota bajo condiciones ambientales adversas, principalmente térmicas (Tersoglio y Naranjo, 2009). Esta fase preserva la flexibilidad para el manejo productivo porque la fresia no se desarrolla nuevamente hasta que las condiciones externas vuelvan a ser adecuadas. Cada una de estas etapas ocurre en suelos con un pH de 6-7. Se dice que su origen africano le permite sobrevivir a condiciones fluctuantes de luz y temperatura, creciendo entre 10°C y 24°C e incluso floreciendo cerca de 30°C (Dutch-Bulbs, 2019. Piovano et al., 2016, p. 7).

La restricción agronómica más común es la alta susceptibilidad a patógenos debido al exceso de humedad, subrayando así la importancia de un suelo bien drenado. El manejo postcosecha es simple: a medida que el crecimiento aéreo se estabiliza, los bulbos deben separarse, desinfectarse y almacenarse en recintos ventilados una vez recolectados (Piovano et al., 2016, p. 13). Esta perspectiva agronómica conduce a una respuesta más confiable a la pregunta de por qué implementar fresias.

Primero, su variabilidad cromática y alto rendimiento de compuestos aromáticos volátiles justifican su prevalencia en el mercado como imán de polinizadores (Hansen, s.f.) y como decoración en múltiples eventos sociales. En segundo lugar, algunas especies progenitoras tienen sistemas radiculares que pueden reducir la compactación y erosión del suelo, como *Fresia leichtlinii*. Este es un patrimonio parcial que *Fresia x hybrida* probablemente puede heredar de sus predecesores.

La adición de un ciclo fenológico claro, parámetros de productividad cuantitativos para el producto y un comportamiento agronómico estable para ser representado en modelos de optimización respalda completamente su selección como cultivo de referencia. Ahora necesitamos observar las prácticas de mercado para que se haya construido algo nuevo allí.

Los Países Bajos son el mayor exportador de esta y otras flores decorativas. Además, el mercado está valorado en "4,89 mil millones de dólares. Que probablemente alcanzará los 6,15 mil millones de dólares para 2029" (Mordor Intelligence, 2024). A su vez, Mordor Intelligence registró una tasa de crecimiento estable del 5,1% para la planta de fresa en comparación con otras plantas. Además, muestra que Idealista (2023) estimó que el mercado total de ventas de flores es de 11 mil millones de dólares, con los Países Bajos registrando 5.7 mil millones de dólares. Lo anterior indicó que las fuentes más confiables para obtener las plantas serían del extranjero.

Esto se confirma, en general, por el ejemplo del mercado de flores del estado de Chile dirigido por Manuel Saavedra & Asociados (1999) el rango nacional de Fresa Refracta tiene solo 3 y 0,8 hectáreas fuera o bajo vidrio respectivamente. Por lo tanto, el mercado de flores chileno es bastante primitivo. Sin embargo, el interés es mayor con las plantas, pero es posible que incluso un mercado menos accesible pueda formar alianzas con las empresas existentes que se centran en el nicho del mercado de floristería de fresas en Chile.

Respecto a mejorar la producción, el Ácido Giberélico (GA3), según los franceses, es clave para la correcta proliferación de las plantas de fresa:

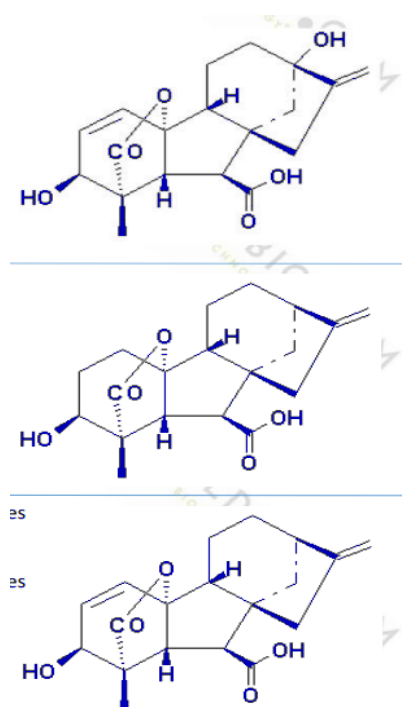
"En las plantas, es una pequeña familia de moléculas de fitohormonas diterpenoides con un núcleo de ent-giberelina de una serie de  $\alpha$ -giberelina de ent-kaureno y se encuentra

ampliamente en las plantas, aunque ahora se sabe que se encuentra en algunos hongos", dijo ella. Estas fitohormonas regulan el crecimiento y desarrollo de semillas y frutos de las plantas en pequeñas cantidades. Son una gama amplia y creciente de productos naturales complejos." (Contreras, Faini, & Rojas, 2001).

Sin embargo, solo algunos miembros presentes dentro del grupo tienen roles activos: "aquellos lactónicos (19,10- $\gamma$ -lactona), como GA<sub>3</sub>, GA<sub>4</sub> y GA<sub>7</sub>" (Contreras, Faini, & Rojas, 2001). De ellos, el primero mencionado es el elemento que sobresale en el propósito del estudio. GA<sub>4</sub> y GA<sub>7</sub> son términos importantes que definir para el contexto. Las diferencias también se encuentran a nivel químico y funcional: las diferencias se pueden ver en la figura a continuación.

FIGURA 1

*Estructuras químicas de las giberelinas GA<sub>3</sub>, GA<sub>4</sub> y GA<sub>7</sub>*



*Nota:* el gráfico representa los esquemas lineo angulares de cada AG relevante. Adaptado de “*Physical Differences between Gibberellins GA3, GA4 and GA7*”, por GoldBio, 2014 (<https://www.goldbio.com>)

GA4 tiene dos hidrógenos más que otros, por lo que pierde uno de sus dobles enlaces. Inicialmente, GA7 está más cerca de GA3. por el contrario, este último tiene un grupo hidroxilo (OH) que lo distingue de GA4. Diferencias sutiles que tienen influencia muy diferente en el desarrollo de las plantas. GA7 proporciona una fuerte inhibición en los brotes florales, mientras que GA4 los promueve. Este también exhibe altas actividades biológicas que impactan positivamente en el crecimiento, el rendimiento y la vida útil de las manzanas, las batatas del norte y las uvas (Wang et al., 2022, p. 1).

Pero eso es porque GA7 y GA4 hacen que la fruta crezca y gane peso. Ito et al. (2016, p. 206) dieron ambos gases simultáneamente reportando que, en los estudios de 2008 - 2009, el diámetro de la fruta aumentó un 5% y un 18%, respectivamente. Así que se utilizan para árboles frutales, mientras que GA3 se utiliza en flores y otras plantas sin fruto comestible.

Bajo la misma idea, los fertilizantes son esenciales para sostener una población. Son ricos en nutrientes y, de acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019) para mejorar las condiciones del suelo con el fin de proporcionar un rendimiento favorable en la agricultura. Además, como afirma Symborg (s.f.), el fertilizante es un material utilizado tanto en agricultura como jardinería que favorece el crecimiento de las plantas al cambiar las condiciones físicas, químicas o biológicas de un lugar al alterar la fertilidad del suelo. Estos productos deben añadirse al suelo para asegurar una población sostenible. Pero como difieren en composición, debemos responder: ¿qué ingredientes deben incluirse en el mejor suelo para fresas? Siguiendo con lo anterior, debe explicarse el concepto de lo que es un nutriente, junto a destacarse los 3 grupos como macronutrientes, nutrientes secundarios y micronutrientes.

Un nutriente es "un elemento que las plantas necesitan para sobrevivir y que toman del sustrato, medio de cultivo, agua de riego o fertilizante" (Moreno, s.f.). La diferencia clave entre ellos es la cantidad que la planta necesita. Los macronutrientes deben encontrarse en grandes cantidades en el suelo, por lo que es importante suplementarlos si hay deficiencia en nitrógeno, potasio o fósforo (Proain Agricultural Technology, 2020). Funcionalmente, el nitrógeno fomenta el desarrollo foliar, potasio mejora el desarrollo del tallo y resistencia a enfermedades. el fósforo mejora el anclaje de las raíces, la iniciación y producción de flores para proporcionar cultivos de mayor calidad (Proain Agricultural Technology, 2020). Los nutrientes secundarios son necesarios en niveles intermedios. Sus representantes son el calcio, magnesio y azufre (Rajan, 2025). El primero mejora la absorción de nutrientes y contribuye a la resistencia estructural, el magnesio juega un papel crítico en la síntesis de clorofila, por último, el azufre está involucrado en la fijación de nitrógeno y la formación de aminoácidos (Rajan, 2025). Sin embargo, estos factores ejercen efectos antagónicos: demasiado calcio disminuye la disponibilidad de magnesio. Y viceversa, entre otros (Black, 2019). Por lo tanto, deben manejarse cuidadosamente para evitar desequilibrios nutricionales.

Los micronutrientes, a los que se llama "los micronutrientes esenciales son necesarios en cantidades muy bajas como parte de varios sistemas enzimáticos de las plantas. Los micronutrientes básicos para las plantas son boro (B), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y zinc (Zn)" (Martínez-Lagos, 2019).

Cada uno desempeña un papel distinto o complementario con respecto a dichos nutrientes principales. El boro promueve el crecimiento en tubos polínicos, raíces y germinación (Azcón-Bieto & Talón, 2000, p. 132). el cobre participa en la producción de clorofila y sirve como catalizador en varias vías metabólicas (Martínez-Lagos, 2019). el hierro

participa en reacciones redox, la síntesis de proteínas Fe-S y la biogénesis de la clorofila (Azcón-Bieto & Talón, 2000, pp. 128, 130). el manganeso desencadena reacciones metabólicas que aceleran la germinación y permite la maduración adecuada de las plantas (Martínez-Lagos, 2019). el molibdeno juega un papel en la síntesis de enzimas fijadoras y reductoras de nitrógeno (Azcón-Bieto & Talón, 2000, pp. 131–132). y el zinc regula las reacciones metabólicas, promueve la síntesis de clorofila y participa en la formación de carbohidratos (Martínez-Lagos, 2019).

Cabe destacar el estudio de Shu (2010, p. 1090) donde se evaluó la floración en dos ejemplos de fresas, concluyendo que las tasas de respiración, los niveles de azúcares solubles, las proteínas y el desgaste metabólico debido a la oxidación presentan diferencias significativas entre variedades. Esto indica que el envejecimiento y supervivencia de una fresa productora están vinculados tanto genética como ambientalmente.

En consecuencia, existe la necesidad de obtener las patologías más prevalentes y estimar el costo de su tratamiento para prevenir enfermedades que puedan poner en peligro el material madre. De hecho, siempre es una ventaja renovar las fresas productoras cada tres años, ya que las infecciones aumentan en probabilidad con la edad. Y una vez infectadas es casi imposible recuperarlas (Bowden, M. DelPrince, Knight, & Coker, s.f.). Esta recomendación subraya la necesidad de proporcionar riesgos de salud como parte de cualquier análisis de productividad. Y por lo tanto proporciona un paso inicial hacia el estudio de lo que realmente importa para el crecimiento, resultando en la integración en un modelo matemático adaptado a los objetivos particulares de esta investigación.

### 3.3 CONSTRUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO

Al resolver problemas muy complejos, tiene sentido situar el problema en un modelo matemático. Esta memoria centra su propósito precisamente en la formulación de un modelo matemático. Sin embargo, debido a la naturaleza del estudio, es importante definir un atributo relevante como la incertidumbre, para "cuantificar el conocimiento insuficiente del valor verdadero de la variable de medición" (KISTLER, s.f.). Con ello, la incertidumbre es el conocimiento de factores que causan desviaciones incontrolables en las estimaciones esperadas al calcular resultados, pero esto no significa que las conclusiones sean menos válidas. Pero introducir tal término a un modelo lo hace mucho más compleja, conduciendo a la diferenciación en: determinista y estocástico.

Un modelo determinista se define como "un modelo matemático de un sistema o proceso que opera dentro de un conjunto de reglas predeterminadas, el resultado se determina exactamente por las condiciones iniciales y los parámetros" (StatisticsEasily, s.f.), lo que significa que a menos que haya un cambio en las entradas, los resultados no varían. El crecimiento poblacional como ejemplo da . Y aquí  $N(t)$  es cuando " $t$ " pasa. es la población inicial, " $e$ " es una función exponencial cuyo valor aproximado es 2,718. y " $r$ " es la tasa de crecimiento poblacional constante. Podemos tratar estos parámetros como constantes para el tiempo " $t$ " de modo que siempre se obtenga un resultado fijo para todo periodo. Por otro lado, un modelo estocástico es "un análisis de un conjunto de variables aleatorias que dependen de un cierto parámetro y están vinculadas en el tiempo  $t$ . por lo tanto, con respecto al valor de  $t$ , la probabilidad lo describe" (Martínez, 2019). la incertidumbre se cuantifica a lo largo de un período. Es añadida al menos uno o más elementos aleatorios que son "una función que asigna resultados a un espacio muestral en un evento aleatorio" (López J. F., s.f.).

Para el mismo ejemplo, modifiquemos el modelo de crecimiento poblacional para ajustarlo a  $\sigma$ . Aquí se pueden ver ahora variables aleatorias.  $\epsilon_t$  que denota la variación ambiental dentro de la población que sigue una distribución normal con media 0 y varianza  $\sigma^2$ .  $X_t$  un proceso estocástico que sigue una distribución de Poisson con media  $\lambda$  que corresponde con el factor de ocurrencia de eventos y genera por construcción valores enteros no negativos. Como la mayoría de estos modelos involucran una o más decisiones explícitas u operativas, es necesario especificar los tipos de variables que estarán presentes. En particular, debemos identificar variables aleatorias, discretas, categóricas y auxiliares.

En línea con lo anterior, las variables aleatorias se definen como "una asignación en la que a cada resultado de un experimento aleatorio se le asigna un número" (Centro de Modelado Matemático, s.f.), o formalmente "una función que asigna un valor real a cada elemento de un espacio muestral" (Universidad de Granada, s.f.). Este tipo de variable es crucial para representar este tipo de comportamiento porque el momento en que una fresa es susceptible de enfermar es inherentemente incierto. En contraste, las variables discretas, "solo pueden tomar ciertos valores enteros de un conjunto finito o contablemente infinito" (Martínez Gómez & Marí Benlloch, 2024).

Como tal, el ejemplo anterior con  $X_g$  siempre se ha cumplido, donde la media  $\lambda$  se ha denotado positivamente, ya que  $\lambda$  es miembro de la lista de números naturales. En comparación, las variables auxiliares se utilizan para expresar restricciones que no podrían expresarse suficientemente en términos de solo las variables principales, o son necesarias cuando queremos reformular estas restricciones en una forma que permita la extensión del dominio y la reducción del espacio de búsqueda. Como señaló Smith (2006, p. 386, traducción

propia), este tipo de variable es ideal para simplificar ecuaciones o para descomponer relaciones que son no linealizables o inviables de representar con los conjuntos existentes.

Para un problema real, ya se ha concluido que dado que la probabilidad de que una planta se enferme tiene un comportamiento que es probabilístico a través de sus diferentes características (Epidat, 2014), se puede modelar a través de funciones de distribución. Por lo tanto, es esencial definir una que refleje perfectamente la probabilidad de infección de la planta. La beta-binomial generalmente se considera la mejor disponible como distribución para poblaciones de plantas, como se menciona en la literatura. Se ha demostrado que esta distribución produce mejores estimaciones en comparación con la distribución binomial con parámetros beta en fitopatología epidemiológica al imitar mejor los patrones de agregación espacial y la variabilidad inherente de la población, considerando tanto la aleatoriedad intrínseca del proceso como la ocurrencia de plantas enfermas (Hughes & Maiden, 1993, pp. 760–762). Por lo tanto, esta distribución es útil para modelar la tasa de mortalidad futura en el modelo.

Comprender su estructura requiere especificar sus parámetros. Así que incluye la distribución de ambos casos ya sea en una dirección favorable o negativa ( $\alpha$  y  $\beta$ ) de la población (Bookdown, s.f.). A medida que se elevan estos parámetros, la variación disminuye. significa que el comportamiento de estos grupos es más independiente y los ataques de enfermedades se distribuyen más uniformemente entre los grupos (más que antes). Los parámetros del modelo,  $\alpha$  y  $\beta$  respectivamente, expresan tanto la tasa de prevalencia (valores  $p$ ) como la dispersión de frecuencia de una enfermedad dada. Por lo tanto, elegir esos valores necesita ser exacto. Esta parametrización produce una magnitud llamada coeficiente de correlación intraclase (ICC), simbolizado con  $\rho$ . Que es una "medida de la fiabilidad de ya sea

mediciones o calificaciones" (MedCalc, s.f.). Su valor varía de 0 a 1. Y los valores bajos corresponden a una menor concordancia interna. Su expresión es:

$$\rho = \frac{1}{\alpha + \beta + 1} \quad (1)$$

Como notan Hughes y Maiden (1993, p. 760), cuando  $\rho$  tiende a 0, el proceso puede tratarse como una simple distribución binomial, significando que la probabilidad de infección de una planta es independiente del estado de salud de las cercanas. Por el contrario, valores altos indican que el estado de salud de un individuo influye significativamente en la probabilidad de infección del resto dentro del mismo grupo o vecindario. Inversamente, también podríamos determinar valores de ICC para sesgar los coeficientes del modelo. Que este sea el caso: cada publicación aporta criterios útiles para interpretar variables, es decir, para valores menores a 0,05, sin embargo, no será suficiente para crear un modelo multinivel. Siempre que la variable independiente sea de bajo orden (Bressoux, 2020). Es decir, si se emplean variables que representan homogeneidad entre cada grupo pero diferencias entre grupos, se deben adoptar modelos multinivel. Mientras que los modelos de regresión lineal implican que. Y esto en este caso, todos los individuos o plantas, son iguales y no necesariamente es el caso, si asumimos el mismo entorno o condiciones.

Así, las variables de bajo nivel significarían, por ejemplo, la altura de las plantas en el mismo invernadero o las posibilidades de enfermarse si crecen juntas en el mismo medio. Por el contrario, las variables de alto nivel probablemente serían las condiciones estructurales dentro del entorno, como el tipo de suelo de todo el invernadero, el régimen de fumigación o la variación en el riego entre unidades. Además, se ha demostrado que los valores de ICC incluso cercanos a 0,10 no logran proporcionar una clara separación entre grupos (Seidenfeld,

Handa, Hoop y Morey, 2023). Esto permite definir un primer intervalo interpretativo donde las dependencias internas dentro del grupo son bajas. Y por lo tanto el efecto del entorno común sobre la variación del fenómeno es limitado.

El segundo caso de aplicación sería de heterogeneidad moderada. Y es decir, ya debería haber efectos significativos dentro de los grupos en comparación con otros grupos. Generalmente, un ICC > 0,20 indica que es suficientemente grande para su investigación (Roberts, 2004, p.33). Por supuesto, se debe mencionar que la ecuación de ICC utilizada en la distribución beta-binomial y los umbrales interpretativos propuestos por la literatura no son mutuamente excluyentes. Por lo tanto, podría ser necesario explorar conjuntamente estos dos métodos y realizar un análisis de sensibilidad que trate  $\beta$  como un componente externo de hiperparámetro, mientras que algunos criterios empíricos de ICC sirven como una limitación auxiliar para derivar  $\alpha$  y así encontrar el parámetro TM.

Este enfoque permitiría la calibración del modelo sin tomar una formulación como la respuesta final. Lo más importante es que necesitamos probar la acción en contextos de alta agregación. Zuurt et al. (2009, p. 113) informaron que un ICC de 0,48 es un valor muy alto, lo que significaría que hay una fuerte dependencia entre los miembros del mismo grupo en este estudio particular. Sin embargo, en estudios agrícolas, se ha sugerido que un ICC cercano a 0,30 debería considerarse como un valor intermedio aceptablemente alto, pero el valor máximo debería ser de 0,50, (Perrett y Higgins 2006: 2483, traducción propia). Por lo tanto, un ICC de 0,30 podría considerarse como una buena línea divisoria para poblaciones fuertemente afectadas por factores a nivel de grupo.

Basado en estos precedentes, se generan tres escenarios apropiados por categorías, con valor de referencia de ICC = 0,10. 0,20. 0,30. estos casos representan el caso optimista, normal y pesimista con respecto a la agregación e influencia del grupo. No obstante, hay que servirse otra relación entre los coeficientes. Lo interesante en la beta-binomial aquí es el hecho de que en esta versión actual, los valores beta están relacionados con los coeficientes de la función beta. Lo primero es que para un binomial el valor “n” es el número de ensayos independientes de éxito que son igualmente probables de ser exitosos (Epidat, 2014). Pero esto se lleva de manera diferente en beta-binomial. La suma de los coeficientes es una muestra previa o base de la muestra observada. En algunos casos, “n” puede exceder dicha suma lo que sugiere que la información se adquiere en gran medida de nuevos datos en lugar de anteriores (Sosa, 2025). Se menciona lo anterior porque dicho caso no es pertinente al modelo.

Para un valor teórico de “n”, sabemos que el valor no debe ser menor que la suma de los coeficientes o de magnitud baja. Al analizar, los sesgos o eventos son muchos más bajos con  $n=500$ , pero una muestra de 100 permite extrapolar patrones generales en las mismas condiciones iniciales (Jansen y Holling, 2023, p. 861) Lo que sienta como factibles cotas teóricas.

Como se evidencia en los resultados de la investigación de laboratorio, los tamaños de muestra por debajo de 50 resultan en un diagnóstico erróneo y una varianza exagerada de etapas dobles y triples (H. Zou y T. Normand, 2001, p. 2171) descartándose el valor. Sin embargo, la reducción del CPI o el intervalo posterior central (un intervalo de credibilidad bayesiano) entre 50 y 100 para aquellos son mayores que el intervalo 100-500 en todos los casos (H. Zou y T. Normand, 2001, p. 2175)

En conclusión, como está claro que un valor más bajo es preferible (ya que no queremos sobrestimar las condiciones, ni exigir innecesariamente al equipo que soporte los cálculos), se selecciona 100 como el tamaño de la muestra. Sin embargo, estos constituyentes son incompatibles, por lo que se elige uno de los coeficientes como hiperparámetro. En este caso, dado que en la realidad, más joven la planta, menos probable es que se enferme, beta es seleccionado como hiperparámetro.

Se puede ver que una buena acción para construir hiperparámetros sería un comportamiento logarítmico, porque cuando estos fueron contruidos geométrica y/o exponencialmente, el kernel (su función de transformación) fue mucho mejor con valores logarítmicos (Bergstra y Bengio, 2012). El primero usa el hiperparámetro como entrada y puede usarse para encontrar los mejores hiperparámetros comparando otros métodos. Así que también podríamos extender esta idea a los escenarios. Como describe Halweb (s.f.), esta ecuación representa la expectativa para la tasa de mortalidad en este tipo de situación. Que se define como:

$$E(p) = \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \quad (2)$$

Pero tenemos que componer su generador, para construir las betas, al menos en casos con ICC constante. En primer lugar, sabemos por las ecuaciones (1) y (2) que tanto beta como alfa tienen límites máximos y mínimos. Por lo tanto, buscamos un grupo de betas secuenciales que escalen logarítmicamente. Que se define su escalado como:

$$\log(\beta_{i+1}) - \log(\beta_i) = \text{Constante} \quad (3)$$

Así se decide que se cree un espacio en el que el muestreo inicial se comporte linealmente, es decir. Que el beta máxima y mínima estén parametrizadas a una versión con un logaritmo natural (es decir, como una línea restringida por ellas). Tal como se describe en la siguiente relación:

$$L_{min} = \ln(\beta_{min}); L_{max} = \ln(\beta_{max}) \quad (4)$$

A continuación, es necesaria la interpolación lineal para construir esa función en la forma de esta línea conveniente. Esta función consiste en un elemento inicial y la resta entre el número de puntos al buscado con respecto al inicial multiplicado por su diferencia, lo que hace posible alcanzar el enésimo elemento. (Alianza B@UNAM, 2023) Para este caso, se presentan los puntos inicial y final correspondientes a la transformación.

$$x_i = A + (i - 1) * d \quad (5)$$

$$x_k = A + (k - 1) * d = B \quad (6)$$

La ecuación (6) intenta apuntar que el punto final o máximo posible también se puede reescribir como una constante. Por ende, la diferencia “d” es conocida como:

$$d = \frac{B - A}{k - 1} \quad (7)$$

Luego podemos sustituirlo en la fórmula de interpolación junto con los valores que deben aplicarse para los coeficientes A y B, como  $L_{min}$  y  $L_{max}$  respectivamente. Esto aún nos daría un valor que no sería beta en sí mismo, pero si se aplica la función inversa al logaritmo natural, es un constructor de betas según el número de puntos que se quiera caracterizar, siendo su forma:

$$\beta_i = \exp[\ln(\beta_{min}) + \frac{(i - 1)}{(k - 1)} * (\ln(\beta_{max}) - \ln(\beta_{min}))] \quad (8)$$

Junto con anterior, para los escenarios que se buscarán crear, las ecuaciones que enlacen los parámetros que darán pie a la futura tasa de muerte:

$$S = \frac{1}{ICC} - 1 \quad (9)$$

$$\alpha = S - \beta \quad (10)$$

$$p = \frac{\alpha}{S} \quad (11)$$

Con el parámetro p siendo la tasa de letalidad. Sin embargo, esto no determina los escenarios. Una vez que se establecen las definiciones, es necesario abordar el procedimiento para construir el modelo, detallando cada una de sus secciones y los métodos de validación que se aplicarán.

### **3.4 CONSTRUCCIÓN DE LOS PARÁMETROS ECONÓMICOS Y TÉCNICOS DEL MODELO**

Para realizar las dimensiones del modelo, se necesitan datos verificables, respaldados por evidencia, para asegurar que la simulación proporcione una reflexión suficiente del comportamiento real del sistema productivo. Se ha demostrado que los precios crecen con el tiempo, aunque el rango del tamaño del efecto de esta expansión, en términos del tipo de precios, se ha reportado con una plétora de características. No obstante, las causas del aumento de costos al explorar razones económicas están más allá de los límites de los objetivos del informe. aquí, se adopta una dimensión operativa directa que incluye el uso del Índice de

Precios al Consumidor (IPC). Por el contrario, el IPC es "un indicador utilizado para calcular la evolución mensual de la inflación", como lo expresa la Comisión del Mercado Financiero (Comisión del Mercado Financiero, s.f.) y es un indicador consistente para el ajuste de contratos y la previsión económica. Y aunque el Banco Central de Chile (s.f.) publica la serie en formato mensual, el modelo asume períodos anuales, por lo que es necesario reformular la serie mensual como anual. Dado que la inflación tiene un comportamiento compuesto, el precio varía según el periodo de manera exponencial (Brooke, 2025). Por lo anterior, se obtiene la siguiente ecuación:

$$P_n = P_0 * (1 + \text{inflación})^n \quad (12)$$

De tal manera que en cada período (teórico) el  $P_0$  corresponde al precio en el período base y  $P_n$  al valor actualizado en el período n. Este mismo razonamiento se utiliza comúnmente en actualizaciones de alquileres y otros pagos indexados (Grupo Bárymont, 2025).

Para establecer la relación entre el IPC mensual y anual, se emplea un concepto análogo a la tasa efectiva anual (TEA) utilizada en productos financieros, expresado como (Banco de Bogotá, s.f.):

$$TEA = (1 + TN)^n - 1 \quad (13)$$

Sin embargo, esto es transferible al cálculo del IPC anual en variaciones, ya que se ha demostrado que se comporta de manera compuesta, como se ve en la tasa anual equivalente. Por lo tanto, se puede afirmar que la fórmula es transferible al contexto del análisis. Pero esto es cierto cuando la tasa es constante. ¿Qué pasa si son diferentes? Esta simplificación es solo

la multiplicación de 'n' elementos iguales que componen el período a adaptar. Que es un año. En consecuencia, la única diferencia sería multiplicar con diferentes valores de 'TN', lo que se traduce en la siguiente ecuación:

$$ICP_{anual} = \prod_{m=1}^{12} (1 + IPC_{mensual}) - 1 \quad (14)$$

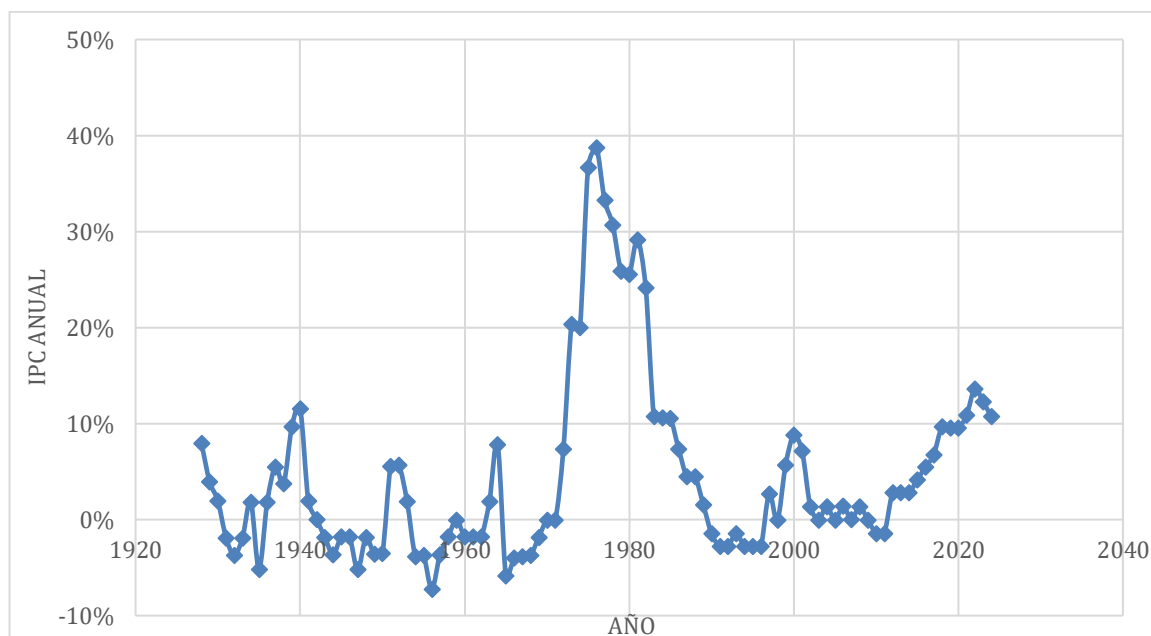
Donde la letra mayúscula 'pi' representa una productoria. Usándola, obtuvimos los ICC anuales. Sin embargo, todos los valores monetarios potenciales se ajustarán por el IPC anual. Esta es una aplicación clásica, como una relación entre el valor futuro, actual, tasa de interés y período (León, 1974, p. 11), en otras palabras, se rige con la lógica de la ecuación 12. En consecuencia, es relevante construir precios de muestra en el modelo con:

$$P_t = P_0 * (1 + IPC_t)^t \quad (15)$$

Sin embargo, para producir un IPC plausible, se debe seleccionar un método para usarlo. Basado en datos del Banco Central, hay una muestra de 96 datos anuales. Es apropiado graficar si hay algún patrón que podría producir un sesgo, por lo que el IPC se comporta de la siguiente manera.

## **FIGURA 2**

*Índice de precios al consumidor anual entre 1928 y 2024*



*Nota.* El gráfico representa el comportamiento de la inflación anual en Chile a través de los años. Elaboración propia a partir de *Indicadores Diarios*, Banco Central de Chile, s.f.

Cabe señalar que el gráfico sugiere que ya ha habido un período anómalo para los años 1970-1991 con el fin de comparar los extremos temporales, por lo que no se recomienda incluirlo. La predicción del crecimiento económico se puede lograr utilizando los años cercanos a la fecha que haría esperar que ocurra (Banco Mundial, 2025, p. 71), por lo que tendría sentido intentar imitar esta dinámica. Incluso el propio Banco Mundial (2025, p. 95) afirma que el período de 2000 a 2019 es un período de estabilidad económica, por lo tanto, una muestra adecuada, además de señalar que, también en el mismo documento, ya se incluyen ponderaciones de crecimiento para predecir (segmentos de unos 20 años) (2025, p. 95). Sin embargo, para una analogía más cercana a la realidad, es preferible utilizar un promedio entre 2004 y 2024. Esto produce una muestra de IPC del 4,87%.

Luego se establecen los valores base para usar los casos. En primer lugar, como tiene un valor comparable de 416 CLP (Sodimac, 2025.) por lo que los montos obtenidos se calculan en relación con el costo. Alternativamente, el costo de reemplazo se refiere a la compra de una nueva planta junto a otros, por lo que lo anterior se trata como el doble del precio de venta, haciendo que el modelo no sea indiferente e intente imitar esos costes extras. Con respecto al descuento por antigüedad diseñado para reconocer el hecho de que las plantas más antiguas fomentan la renovación, se selecciona una tasa de descuento del 6% en los precios, como lo esperado en rendimiento de proyectos (El Banco Mundial, 2016, p. 56). Dado que un modelo así puede considerarse en combinación con un esfuerzo similar a la evaluación de activos biológicos, es razonable esperar que la compra ordenada de nuevos cormos madre se aborde bajo el mismo marco.

Para los costos nutricionales, los estudios por etapa o de plantas similares sobre el mismo producto serían beneficiosos en cuanto al consumo adecuado. Se aconseja, para el gladiolo, una planta con características similares a la fresia. Que se utilicen respectivamente 60 kg/ha, 150 kg/ha y 150 kg/ha en contener nitrógeno, fósforo y potasio (TNAU Agritech, s.f.), siendo el fósforo y el potasio utilizados como única referencia. Otras investigaciones también han informado que se recomienda 100 mg/litro para el riego con nitrógeno (Ali, Hammo, Kako, & Naaman, 2025, p. 85) por lo que en el documento, el valor escalado sería correcto, por ejemplo, para calcular el uso de 100 kg/ha. Pero en un ensayo de dosis de fertilización, el mejor experimento empleó 40,5 kg/ha de nitrógeno y 0,2 kg/ha de Boro y 8,5 kg/ha de Azufre (Pérez, et al., 2011, pp. 278-282). Además, los valores seleccionados, 23 kg/ha de Magnesio y 32,7 kg/ha de calcio son obligatorios (Pérez, et al., 2011, pp. 278-282). Para los micronutrientes, la investigación sobre el equilibrio nutricional sugiere el consumo

de 30, 2,3, 2,5, 0,98 y 6 en mL/L de los minerales hierro, sulfato de manganeso, sulfato de cobre y sulfato de zinc, respectivamente (Jawaharlal & Padmadevi, s.f., p. 130). Si nos damos cuenta de que se presentan otras cantidades, pero la única que indica algún micronutriente en la unidad dada es el boro. Por lo tanto, son necesarias concesiones numéricas. Asumimos una base numérica simple con el escenario discutido en el estudio de equilibrio siendo una solución de 1.000 L/ha y realizando una transformación (por ejemplo, una transformación que estaría en la proporción objetivo). A diferencia de las dos cantidades anteriores de Boro, debería haber un factor de escala entre ellas, a saber, la proporción entre la cantidad mínima directa de boro de 0,2 kg/ha y el valor adaptado de 0,0025 kg/ha. Que es 80, por lo que los valores finales utilizados en el modelo se presentan en la tabla a continuación.

**Tabla 1**

*Resumen de cálculos para micronutrientes mínimos.*

| Nutriente              | Concentración | Aplicando base | Concentración | Valor al escalar |
|------------------------|---------------|----------------|---------------|------------------|
| Fe (Fe-EDTA)           | 30            | 30             | 0,03          | 2,400            |
| Mn (sulfato manganoso) | 2,3           | 2,3            | 0,0023        | 0,184            |
| B (ácido bórico)       | 2,5           | 2,5            | 0,0025        | 0,200            |
| Cu (sulfato de cobre)  | 0,98          | 0,98           | 0,00098       | 0,078            |
| Zn (sulfato de zinc)   | 6             | 6              | 0,006         | 0,480            |

*Nota:* A pesar de que los nutrientes se aplican en forma de compuestos, la norma es contabilizarlos como minerales puros en los cálculos. Las unidades utilizadas en la tabla son mg/l, g/ha y kg/ha. Elaboración propia con base en Estudio del desarrollo, calidad de flor y dosis de fertilización en gladiolo (Pérez et al., 2011) y Balanced Fertilization for Important Cut Flower Crops (Jawaharlal & Padmadevi, 2007).

El otro micronutriente es el molibdeno, donde la comparación entre los efectos foliares en gladiolos como planta de cormo puede demostrar un comportamiento fenotípico similar. La parte del estudio que se relaciona con estos resultados es que informa que la dosis del mineral aplicada fue de 0,004 g/L con buenos resultados (Kentelky & Szekely-Varga, 2021, p. 8). La suposición anterior es suficiente, por lo que asumiendo que las concentraciones esperadas en el suelo deberían ser de 23 mg/kg a 300 mg/kg y no surgen problemas (Kaiser, Gridley, Brady, Phillips, & Tyreman, 2005), ergo, no hay incompatibilidad entre la suposición y la realidad. Por ende, la proporcionalidad de 0,000004 kg/cormo es válida.

A continuación, es necesario especificar cuánta agua consumir, lo que representa como parte de la lista de nutrientes. El número de hojas por verano, 600 mm de hoja. Y por invierno es de 200 mm, correspondiendo a 6.000 metros cúbicos/ha (equipo Haifa, s.f.). En términos de requerimientos de ácido giberélico, la concentración recomendada es de 100 mg/L, (la misma cantidad aplicada dos veces) en un rango de dosis de 80x80 cm para mantener el crecimiento (Chandel, Thakur, Rakwal, Chauhan, & Bhargava, 2023, pp. 3-10). Pero lo que el mercado vende es típicamente 2 g/L (Copeval, 2025). Si aceptamos la aplicación del experimento como verdadera, con una aplicación cada tambor resultará en 5 cormos. Que nos sirven para trabajar en cálculos de muestra.

Por último, es necesario determinar el precio por kg de cada nutriente para producir resultados de prueba razonables. El precio internacional del nitrógeno en el momento del estudio es de 370 USD/T (Trading Economics, s.f.). Se necesita un pequeño cálculo y es 0,37 USD/kg. El valor actual es de 928 pesos dólar (Dólar Online, 2025). Esto nos da un valor de 343 CLP/kg. Y tomando el fósforo como 640 USD/T (Trading Economics, 2025). Que usando

la fórmula anterior, nos da 594 CLP/kg. Para el potasio, la fuente reconocida es Index Mundi (2025) a 363,13 USD/T lo que da 337 CLP/kg al tipo de cambio actual. Con el calcio encontraron proveedores locales estables, por ejemplo, Copeval (2025) que promovió 25 kg a 17.700 CLP. Se encuentra fácilmente que se alcanza una cifra de 708 CLP/kg. En el caso del magnesio, hay un valor de 10.000 CLP / 25 kg (Copeval, 2025) dando un 400 CLP/kg. El azufre es de 31.520 CLP por 25 kg (Copeval, 2025) con un valor resultante de 1.260 CLP/kg. Se menciona a continuación el boro, con un valor de 37.560 CLP por 25 kg (Copeval, 2025) para 1.502 CLP/kg finales. (Copeval, 2025). El zinc, como micronutriente, es pertinente para el análisis, para 25 kg, 26,600 CLP (Copeval, 2025), equivale a 1.064 CLP/kg. Se observa un precio más alto con el manganeso con el valor de exactamente 37.200 CLP por cada 25 kg (Productos Químicos Chile, 2025), lo que se traduce en 1.488 CLP/kg al tipo de cambio. El modelo comienza con el cobre, con el precio más alto de 133.092 CLP del paquete (25 kg) (Cooprisem, 2025), lo que corresponde a unos 5.324 CLP/kg. Esto es seguido por el molibdeno a 2.826.250 CLP en 25 kg (Productos Químicos, 2025), lo que produce 113.050 CLP/kg. El hierro mineral también tiene una alta escasez y es esencial para la vida, por lo que el valor promedio de 17.800 CLP es razonable para los 25 kg (Química Industrial, 2025) con una proporción de 712 CLP/kg. En el caso del ácido giberélico, se observa que su precio fluctúa por litros con 75.320 a 5 L (Copeval, 2025) con 15.064 CLP / L. En el caso del agua, se sabe que el precio está entre 1 a 2 CLP por litro (Andess Chile, s.f.), el más caro como la versión conservadora.

El costo unitario en cormo se calcula primero determinando cuántos cormos podrían acumularse en una hectárea bajo condiciones normales de plantación. Como la fresia debe mantenerse entre plantas que cubren al menos de 10 a 15 cm, se elige el número máximo para

permitir una estimación conservadora del área por unidad. Se puede decir que tienen un tamaño de aproximadamente 707 cm<sup>2</sup> por cormo. Suponiendo una hectárea de 100.000.000 cm<sup>2</sup>, la capacidad máxima teórica de la tierra es de 141.442 cormos por hectárea. Basándonos en esto, podemos escalar todos los precios en CLP/kg o kg/ha dividido por la capacidad de plantación. De esta manera, se determina un precio unitario para cada nutriente en un cormo de 1 año. Y los parámetros del modelo pueden operar en valores similares uno a uno.

Con todo lo anterior, corresponde aplicar las proporciones correspondientes para definir los costos unitarios de nutrientes, que se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 2**

*Resumen costos nutrientes unitarios*

| Nutriente | Cantidad aplicada | Costo de la cantidad | Costo por hectárea | Costo nutriente por cormo |
|-----------|-------------------|----------------------|--------------------|---------------------------|
| Nitrógeno | 40,5              | 343                  | 13.891,5           | 0,0982                    |
| Fósforo   | 150               | 594                  | 89.100             | 0,6299                    |
| Potasio   | 150               | 337                  | 50.550             | 0,3574                    |
| Calcio    | 32,7              | 708                  | 23.151,6           | 0,1637                    |
| Magnesio  | 23                | 400                  | 9.200              | 0,0650                    |
| Azufre    | 8,5               | 1.260                | 10.710             | 0,0757                    |
| Hierro    | 2,400             | 712                  | 1.708,8            | 0,0121                    |
| Manganeso | 0,184             | 1.488                | 273,8              | 0,0019                    |
| Boro      | 0,200             | 1.502                | 300,4              | 0,0021                    |
| Cobre     | 0,078             | 5.324                | 415,3              | 0,0029                    |
| Zinc      | 0,480             | 1.064                | 510,7              | 0,0036                    |
| Molibdeno | 0,566             | 113.050              | 63.085             | 0,4462                    |

|                 |           |           |            |           |
|-----------------|-----------|-----------|------------|-----------|
| AG <sub>3</sub> | No aplica | No aplica | No aplica  | 3013,0000 |
| Agua            | 6.000.000 | 2         | 12.000.000 | 84,8404   |

*Nota:* Solamente el agua tiene como unidad intermedia el litro, el resto está en kilogramos. Elaboración propia, 2025.

Se determina que cualquier costo inferior a 1 CLP se considerará como 1 CLP/cormo, para mantener un cierto nivel de impacto en el problema. El segundo paso es la construcción de cómo se derivó la estructura de datos del modelo. Los datos de la tabla consisten en los costos iniciales en la primera edad y período. El índice IPC mencionado se aplica al avanzar en un período. Y si se avanza por edad, se utiliza un descuento del 6%. Esto resulta en la generación de 10 matrices, cada una representando una edad, con una longitud de  $N \times T$ , siendo  $N$  la cantidad de nutrientes elegidos para el estudio y  $T$  los periodos de planificación analizado.

Después de definir el problema, necesitamos averiguar cómo construir el modelo, cada una de sus partes, y las pruebas que se realizarán en él.

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1 FORMATO DE TRABAJO**

Las etapas preliminares del trabajo consistieron en una revisión sistemática de modelos determinísticos aplicados a cultivos con fisiología similar a Fresa híbrida. Esta indagación facilitó el descubrimiento de cómo diversos trabajos de investigación han simulado el envejecimiento, fenología en tanto a clima o ciclos estacionales, la mortalidad junto al reemplazo de estructuras vegetativas en modelos matemáticos orientados a la toma de decisiones. También se analizaron datos sobre la optimización del espacio de cultivo, relaciones densidad-rendimiento (eficiencia productiva) y la comparación de diferentes variedades sometidas a distintas condiciones de manejo. Tales precedentes fueron importantes en la comprensión de limitaciones estructurales para este tipo de producción junto a condiciones de influencia transversal en los resultados.

Los derivados nos permitieron hacer referencia a patrones más comunes en la generación de restricciones, incluyendo (pero no limitándose) el declive del vigor productivo en edad avanzada, necesidad de gestionar competencia intraespecífica con un espaciamiento adecuado, equilibrio nutricional e influencia del estrés biótico en la continuidad del cultivo. Estas observaciones permitieron identificar qué propiedades necesitaban ser incorporadas obligatoriamente en la formulación y cuáles de sus propiedades podían ser representadas por suposiciones simplificadas sin sacrificar la claridad técnica.

La suma de todos los factores anteriormente nombrados estableció una base metodológica efectiva que impulsó la construcción del modelo. Además, aclaró la importancia de cada conjunto, variable y parámetro, permitiendo establecer los criterios sobre cuántos de

los detalles son adecuados. Esto proporcionó la base para tomar las decisiones en la modelación en lo siguiente.

## **4.2 SUPUESTOS**

Los supuestos son importantes para la viabilidad del modelo. Iniciamos con la suposición sobre los gastos, estos se realizan al final del período. Su utilidad radica en permitir un seguimiento más claro de las variaciones y los costos asociados. Además, facilita comparaciones entre períodos por la estandarización de flujos económicos. Finalmente, adoptar este criterio simplifica la estructura del modelo, evitando ajustes intermedios que no proporcionan información relevante para la decisión de renovación.

La segunda suposición es la condición del suelo: el modelo incluye costos para los nutrientes aplicados en cada período, dado que la plantación se enriquece constantemente con las dosis óptimas. Así, se anticipa que tanto los cormos como los cormelos siempre alcanzarán su máximo rendimiento potencial, una condición que permite aislar el efecto de la renovación y evita variaciones asociadas con déficits nutricionales.

Otra máxima es que la cantidad se elige según la literatura o el caso, pero siempre es la más alta. Como si una fresa creciera en la primera floración y pudiera producir hasta 3 nuevos cormos, el modelo espera tener 3 cormos de cada fresa a esa edad. Esto ocurre puesto que, debido que la simulación se enfoca en un invernadero bien armado y se trabaja con tierra perfectamente enriquecida, es normal asumir que todo productor apunte al máximo posible bajo dichas condiciones.

El supuesto clave es que todo lo producido se vende. Dado que este tipo de curva de demanda apunta a un reemplazo óptimo, se necesita un buen flujo del bien que impulsa al

modelo a producir, pero la preocupación no es con la demanda, ya que los cormos pueden durar más de un período en almacenamiento, en un comercio constante, todo esto se vendería en un largo plazo.

Otro supuesto es que los costos de producción son únicos, lo que significa que, aunque la producción de cormos y cormelos se tiene en cuenta, estos últimos se originan directamente de los primeros, es decir, los costos de producción no discriminan entre estos dos.

Un supuesto particular es que el agua junto al ácido giberélico se tratarán como nutrientes, ya que nada indica que cada uno proporcione un costo que deba ser diferente. Otro supuesto es que todas las muertes se registrarían al final del período. Dado que las muertes pueden ocurrir en cualquier momento, requiriendo el seguimiento de cada individuo, complicaría el modelo innecesariamente. La opción más conservadora es gastar en todas las fresias que existen al comienzo del período y asumir las pérdidas. Por último, se considera que la población en su conjunto se reemplazará en su totalidad al momento de definido el reemplazo. A nivel operativo, identificar qué fresia tiene una edad definida se vuelve engorroso e impracticable a grandes niveles de producción. Más aún, la población no será constante, ya que el modelo incluye una tasa de muerte que derivará en un declive de esta, aspecto que influye igualmente en el proceso productivo.

#### **4.3 CONJUNTOS**

Lo principal que se debe crear son los períodos de planificación, un elemento clave para que el modelo reconozca con ello el paso del tiempo y, por lo tanto, entienda cuán lejanos están los períodos en las simulaciones.

En segundo lugar, decidimos distinguir las fresas en la población por edad, aumentando a medida que una fresa acumule florecimiento y dormancia como lo dicta su especie, es decir, mientras más veces cumple su ciclo natural anual, más anciana es dicha planta. Este razonamiento se puede asumir ya que, la planificación es anual, en cambio, el proceso de una fresa fértil ocurre entre 10 a 12 meses. Por lo que sería poco práctico diferenciarlos.

El tercer conjunto consiste en nutrientes. Es importante aunque solo afecta a uno de los parámetros. El modelo debe ser capaz de detectar la variación causada por el precio de artículos que posibilitan el desarrollo de los cormos y, dado que cada nutriente tiene su propio precio en el mercado, tiene sentido distinguirlo para representar esta realidad. Además, este conjunto puede permitir reevaluación de sensibilidad en modelos futuros.

**Tabla 3**

*Resumen simbología conjuntos*

| Conjunto                 | Letra asignada | Símbolo al indexar |
|--------------------------|----------------|--------------------|
| Periodo de planificación | T              | t                  |
| Edad                     | E              | e                  |
| Nutriente                | N              | n                  |

#### **4.4 PARÁMETROS.**

El primero es la población inicial o fresas madre. Mientras que el modelo de la empresa Jan de Witt funcionaba utilizando poblaciones definidas y poblaciones constantes, confirmando la idea original, su modelo también solo funciona en una población que no está

diferenciada a ese nivel, por lo que no depende de ningún conjunto, por lo que como parámetro de población inicial no trabaja con ninguno.

El siguiente es el costo unitario de los pesticidas en un período. Los pesticidas son esenciales para mantener las plantas, su valor puede variar con el tiempo, por lo que necesitan variar por período (o permitirlo). Luego, el costo unitario de los nutrientes basado en la edad por período es una variable que varía con la edad porque apunta a la realidad de que a medida que se alcanza una edad mayor, se utilizan más recursos para mantener la productividad dentro de un rango aceptable. El precio de los nutrientes para los grupos de edad es obvio y, por lo tanto, debería reflejarse en el modelo.

El siguiente es el precio unitario/bulbo, única fuente de ingresos/flujo positivo que hace que la función objetivo futura sea resoluble. Luego, vamos a los valores que permiten la cuantificación de la producción, es decir, los bulbos y bulbillos esperados. Estas son diferentes medidas, sin embargo. Y ambas se describen en la literatura o en la experiencia del operador como válidas. Dado tales factores, la cantidad máxima de productos podría estimarse siempre por edad, ya que, al no simular una población realista y como el modelo decide por costos de productos envejecidos, es posible una producción más homogénea.

El siguiente es la tasa de mortalidad. Esto dependerá del tipo de edad, ya que se sabe que la planta se debilita con la edad tanto que hay instrucciones sobre cómo continuar en un cierto nivel de servicio. Finalmente, se considera la tasa a la que se acumulan los costos de reemplazo por edad y período. Dado que el modelo toma la decisión en base a los costos, el estándar es que el costo de reemplazar una fresia por otra es el mismo. Debido a que los precios no son estáticos en la realidad, este parámetro también varía por período. Por otro lado,

depende de la edad, ya que se desgasta una vez que es mayor, por lo que es mucho más atractivo cambiarlo a edades altas.

**TABLA 4**

*Resumen de parámetros y descripción*

| <b>Parámetro</b> | <b>Descripción</b>                                                   |
|------------------|----------------------------------------------------------------------|
| FMI              | Fresias Iniciales                                                    |
| $CPEST_t$        | Costo unitario del pesticida en el periodo “t”                       |
| $CUN_{nte}$ :    | Costo unitario del nutriente “n” en el periodo “t” para la edad “e”  |
| $VUC_t$          | Valor unitario por corno en el periodo “t”                           |
| $NCE_e$          | Cantidad de cormos esperados para la edad “e”                        |
| $CCE_e$          | Cantidad de cormelos esperados para la edad “e”                      |
| $TM_e$           | Tasa de muerte de fresia por edad “e”                                |
| $CRU_{t,e}$      | Costo unitario por planta reemplazada en el periodo “t” por edad “e” |

*Nota:* muestra cómo se describen los parámetros dentro de un modelo matemático clásico. Creación Propia, 2025.

#### **4.5 VARIABLES DE DECISIÓN.**

Estas corresponden al principal elemento del modelo. La primera categoría representa el número de fresias que están presentes al inicio del período, mientras que la segunda corresponde a aquellas que sobreviven transcurrido un período, cuya cantidad depende tanto de la duración del período como de la edad de cada planta. Se necesita la primera porque el modelo lleva cuenta de la decisión tomada durante cada instancia. Respecto a la edad, importa pues la tasa de mortalidad depende de esta por lo tanto, debe variar con ella.

Incluso si solo necesita representar una edad en cada período de tiempo, esta variable cambia por instancia de decisión preservando la consecuencia en el modelo.

Otras dos variables estrechamente relacionadas son el número de cormos y cormelos generados por período. Podemos decirlo porque esa es la variable que corresponde a las elecciones de los períodos. Dado que tenemos que trabajar con plantas sobrevivientes, si una de ellas ha sido eliminada, el modelo debe ajustar el número de reemplazos en consecuencia. Esta es una variable por sí sola que mantiene el nivel de inventario, manteniendo la consistencia entre períodos y edades. Una variable binaria "Dummy" se vuelve necesaria ya que los elementos deben ser guiados por algo que modele esa separación de los anteriores. Esto significa que tomaría el valor uno cuando los sobrevivientes necesiten ser renovados y cero cuando pueden mantenerse la población en este período definido. En este modelo necesitamos la variable auxiliar solo para simplificar algunas restricciones que se aclararán más adelante.

Estos son elementos como el beneficio, costos de nutrición, inventario, pesticidas, reemplazo por período. Se consideran auxiliares porque cada uno de estos factores puede incluirse directamente, sin embargo, complicaría las restricciones. Un ejemplo sería los costos de nutrición. Por solo tener un conjunto que difiere de otros, expresarlo directamente agregaría simbología innecesaria en cada restricción. Para mayor aclaración, se proporcionan tablas resumen de ambos grupos.

**TABLA 5***Resumen de variables principales del modelo*

| <b>Variable</b> | <b>Descripción</b>                                                                                     |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $PSV_{t,e}$     | Fresias supervivientes al final del periodo “t” de la edad “e”                                         |
| $PF_{t,e}$      | Numero de fresias inicio del periodo “t” de edad “e”                                                   |
| $CGC_t$         | Número de cormos producidos en el periodo “t”                                                          |
| $CPC_t$         | Cantidad de cormelos producidos en el periodo t”                                                       |
| $R_t$           | Binaria donde 1 es que los supervivientes del periodo “t” de edad “e” se deben renovar y 0 se mantiene |
| $REP_{t,e}$     | Fresias reemplazadas del periodo “t” de la edad “e”                                                    |

*Nota:* muestra cómo se describen variable en un modelo matemático clásico. Creación Propia, 2025

**TABLA 6***Resumen de variables auxiliares*

| <b>Variable Auxiliar</b> | <b>Descripción</b>                                  |
|--------------------------|-----------------------------------------------------|
| $GAN_t$                  | Ganancia del periodo “t”                            |
| $COS_t$                  | Costo nutrición de todos los cormos del Periodo “t” |
| $CINV_t$                 | Costo inventario periodo “t”                        |
| $CTP_t$                  | Costo total de pesticida del periodo “t”            |
| $CRT_t$                  | Costo total de reemplazo del periodo “t”            |

*Nota:* Busca diferenciar entre las variables auxiliares pues éstas no son relevantes en el análisis primario. Creación Propia, 2025.

#### 4.6 FUNCIÓN OBJETIVO

Es uno de los principales elementos de cualquier modelo, en este caso, el objetivo es maximizar el beneficio. Esto se compone del beneficio menos los diversos costos ya establecidos en las variables auxiliares.

$$\sum_{t=1}^{|T|} GAN_t - COS_t - CTP_t - CRT_t \quad (16)$$

#### 4.7 RESTRICCIONES

Cada una describe una condición que define los valores posibles de las distintas variables de decisión del modelo y representan los aspectos del problema que fueron considerado. Por lo tanto, cada una debe detallarse junto con la ecuación correspondiente. La primera sería el beneficio por período. Que depende de las unidades producidas durante el mismo período junto con el inventario asociado. Este último consiste en cormelos maduros de un período anterior, por lo que están disponibles para la venta.

$$GAN_t = (CGC_t + CPC_t) * VUC_t \quad (17)$$

Para definir cómo se mide el costo de mantener los nutrientes en la población por período. El parámetro de costo unitario de los nutrientes debe multiplicarse por el número de fresias que existen antes de aplicar la tasa de mortalidad. Dado que debe contabilizarse solo el período, debe sumarse por edad y tipo de nutriente correspondiente.

$$COS_t = \sum_{n=1}^N \sum_{e=1}^E (CUN_{nte} * FP_{t,e}); t = 1, \dots, |T| \quad (14)$$

Los costos de pesticidas por período se basan de manera similar en la lógica descrita anteriormente. Se define un costo unitario de pesticida, que debe multiplicarse por la misma población inicial para el período, pero sumando por edad para que no sean ignorados.

$$CTP_t = \sum_{e=1}^E FP_{t,e} * CPEST_t \quad ; t = 1,2,3,4, \dots, |T| \quad (18)$$

En efecto, existen la misma lógica de costos como en las restricciones anteriores en términos de reemplazo por período. Combinación de suma en edad de la variable que define los reemplazos en términos de período con la multiplicación del costo unitario de reemplazo.

$$CRT_t = \sum_{e=1}^E REP_{t,e} * CRU_{t,e} \quad ; t = 1, \dots, |T| \quad (19)$$

Ahora, al observar la producción, es separable en dos restricciones con mucho en común. Ambas dependen de la variable que representa los supervivientes, pero no difieren en la producción esperada por edad correspondiente

$$CPC_t = \sum_{e=1}^E CCE_e * PSV_{t,e} \quad ; t = 1,2,3,4, \dots, |T| \quad (21)$$

Dado que es necesario aplicar la merma en la producción, que solo se considerará como un número de plantas que mueren en el período de planificación, mediante una restricción para representarlo.

$$PSV_{t,e} = PF_{t,e} * (1 - TM_e) \quad ; t = 1,2,3,4, \dots, |T| \quad ; e = 1,2,3,4, \dots, |E| \quad (22)$$

Para permitir que el modelo adopte la mejor decisión de reemplazo a partir de los costos mencionados, se deben utilizar restricciones para actualizar las fresias al comienzo de cualquier período que no sea final o inicial, para llegar a la siguiente condición.

$$PF_{t+1,1} = FMI * R_t ; t = 1, \dots, |T - 1| \quad (23)$$

Las siguientes tres restricciones son partes de un todo general. Funciona como la Calculadora de Reemplazo Completo. La restricción directa correspondiente da un sistema no lineal, por lo que se necesitaron investigar otros métodos para representar la variable de reemplazo. Esto muestra que los "envolventes de McCormick" son una metodología común cuando uno no quiere romper la linealidad, ya que separa la ecuación en restricciones lineales.

$$REP_{t,e} \leq PF_{t,e}; t = 1, \dots, |T - 1|; e = 1, \dots, |E| \quad (24)$$

El límite superior indica que toda la población a ser reemplazada no puede ser mayor que la población inicial en el mismo período y edad

$$REP_{t,e} \leq FMI * R_t; t = 1, \dots, |T - 1|; e = 1, \dots, |E| \quad (25)$$

La segunda de estas tres funciona para el caso en que la variable de decisión es cero. El modelo puede ver que no debería haber un valor para el grupo de reemplazo en este período y edad, por lo tanto, actúa como un interruptor lógico.

$$REP_{t,e} \geq PF_{t,e} - FMI * (1 - R_t); t = 1, \dots, |T - 1|; e = 1, \dots, |E| \quad (26)$$

La tercera de estas sirve para guiar al modelo durante el caso en que la variable binaria es uno. Garantiza que en el momento en que el modelo tiene que reemplazar, su valor sea al menos equivalente a las plantas iniciales del período en cuestión. Se observa entonces

que para la variable binaria cero, no hay reemplazo que aplicar, y si es uno, el modelo considera que hay una igualdad. La relación entre los sobrevivientes de un período y que dan valor a las plantas sobrevivientes del siguiente período. Dado que una ecuación más directa no permitía el reemplazo de valores, causaba resultados no lineales o requería mantener una población constante.

Las siguientes tres restricciones cumplen la misma idea que el calculador anterior, pero se enfoca en la continuidad de la renovación, donde el modelo entiende que si la binaria posee valor 1, la población al inicio del periodo siguiente es la población inicial completa. En contra parte, cuando es 0, el modelo entiende que no tiene plantas de edad 1, por lo que sigue con el grupo actual.

$$PF_{t+1,e+1} \leq PSV_{t,e} ; t = 1, \dots, |T - 1|; e = 1, \dots, |E - 1| \quad (27)$$

$$PF_{t+1,e+1} \leq FMI * (1 - R_t) ; t = 1, \dots, |T - 1|; e = 1, \dots, |E - 1| \quad (28)$$

$$PF_{t+1,e+1} \geq PSV_{t,e} - FMI * R_t ; t = 1, \dots, |T - 1|; e = 1, \dots, |E - 1| \quad (29)$$

La siguiente restricción impone la población inicial al modelo

$$PF_{1,1} = FMI \quad (30)$$

Dado que entendemos que siempre queremos comenzar con las fresas más jóvenes posibles, en el período inicial no debería haber fresas de otras edades, de ahí la necesidad de la siguiente restricción.

$$PF_{1,e} = 0 ; e = 2,3,4, \dots, |E| \quad (31)$$

Debido a que el inventario del modelo se utiliza solo como un registro de los bulbos que se madurarán, no existe en el primer período. Finalmente, es necesario establecer condiciones para que no produzca valores incongruentes en las variables.

$$PF_{t,e} \geq 0 ; t = 1, \dots, |T|; e = 1, \dots, |E| \quad (32)$$

$$PSV_{t,e} \geq 0 ; t = 1, \dots, |T|; e = 1, \dots, |E| \quad (33)$$

$$CGC_{t,e} \geq 0 ; t = 1, \dots, |T|; e = 1, \dots, |E| \quad (34)$$

$$CPC_{t,e} \geq 0 ; t = 1, \dots, |T|; e = 1, \dots, |E| \quad (35)$$

$$R_t \in \{0,1\}; t = 1, \dots, |T| \quad (36)$$

$$REP_{t,e} \geq 0 ; t = 1, \dots, |T|; e = 1, \dots, |E| \quad (37)$$

$$GAN_t \geq 0 ; t = 1, \dots, |T| \quad (38)$$

$$COS_t \geq 0 ; t = 1, \dots, |T| \quad (39)$$

$$CINV_t \geq 0 ; t = 1, \dots, |T| \quad (40)$$

$$CTP_t \geq 0 ; t = 1, \dots, |T| \quad (41)$$

$$CRT_t \geq 0 ; t = 1, \dots, |T| \quad (42)$$

Tras la presentación del modelo y sus componentes, lo que sigue consiste en examinar los resultados generados y evaluar su comportamiento bajo los distintos escenarios planteados.

## **5. CASO DE ESTUDIO**

Basado en lo ya visto, el estudio de caso tiene como objetivo probar el rendimiento del modelo de optimización bajo condiciones realistas, coincidiendo con un representante de una operación típica de producción de Fresa híbrida. Para esta tarea se definió un conjunto de parámetros agronómicos y económicos estructurados que permiten la recreación controlada de la dinámica asociada al rendimiento, mortalidad, costos, precios que enfrenta un productor al decidir sobre la renovación de cormos dentro de un horizonte productivo. En línea con lo planteado, es posible no solo obtener una solución óptima para un escenario base con condiciones constantes, sino también examinar cómo evolucionaría el resultado de la optimización ante una diferencia en factores significativos del sistema.

El estudio de caso, por lo tanto, cumple un doble propósito. Primero, tiene el papel de un mecanismo de validación operativa para el modelo, confirmando que puede capturar decisiones coherentes bajo supuestos técnicamente razonables. Segundo, presenta una etapa de análisis para evaluar la sensibilidad del sistema hacia la incertidumbre, lo cual es particularmente importante en cultivos donde la producción, los precios y la mortalidad varían ampliamente. De esta manera, se hace posible evaluar cuánto depende una política óptima de renovación del estado del cultivo desde las condiciones iniciales junto con la adaptación por cambios en los parámetros primarios del cultivo.

### **5.1 ANTECEDENTES DEL CASO DE ESTUDIO**

En este documento, se construye el siguiente estudio de caso con el objetivo de evaluar el comportamiento tanto productivo como económico de un cultivo de Fresa híbrida bajo una toma de decisiones óptima de renovación de cormos dentro de un horizonte

de tiempo finito y discreto. Se consideró como muestra fuente una población inicial de 1.500 plantas madre. Se utilizó documentos técnicos de trabajos previos para los parámetros productivos, agronómicos y económicos, cuya dinámica de rendimiento refleja la edad biológica del cormo, tasa de mortalidad por período, potencial productivo, costos de producción asociados con el mantenimiento, reemplazo, nutrición, mano de obra y manejo fitosanitario.

El modelo combina parámetros de producción dependientes de la edad, tasas de mortalidad utilizando un sistema beta-binomial, precios de venta con crecimiento compuesto y costos deliberadamente estabilizados que producen un caso base uniforme además de fácilmente interpretable. En particular, se realizan predicciones de precios bajo tasas de crecimiento consistentes con el IPC nacional. Que pueden usarse para crear un escenario de referencia consistente. luego se ajustan en otros escenarios para conocer su impacto en una política óptima de renovación.

De manera similar, el modelo presume que toda la producción generada se vende, lo que permite aislar el impacto directo de las decisiones de renovación en los beneficios económicos. Esta suposición es apropiada para el contexto del estudio de caso, ya que el enfoque de la investigación no es examinar la variabilidad de la demanda ni condiciones del mercado, sino el efecto estructural de las variaciones parametrizadas.

Como parte del análisis, se eligieron valores realistas de los parámetros para evaluar tanto la sensibilidad como robustez del modelo ante la incertidumbre. Así, el caso base actúa como un punto de referencia para medir cambios en tres parámetros clave que ayudan a la toma de decisiones para el productor: mortalidad, producción y precio.

## **5.2 CONDICIONES DE EJECUCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO**

Se desarrolló un modelo matemático utilizando AMPL con el solver Gurobi 12.0.3, empleado para resolver eficientemente problemas de programación entera-mixta. La selección de este entorno se basa en su amplio empleo en la investigación operativa y en su fiabilidad al manejar modelos que integran decisiones discretas y diversos escenarios parametrizados.

La implementación del modelo se llevó a cabo en un computador con sistema operativo con Windows 11 Home de 64 bits, el cual está dotado de un procesador Intel® Core™ i5-10300H de ocho hilos funcionando a 2.50 GHz y cuenta con 8 GB de memoria RAM. Esta configuración es apropiada para la magnitud del caso de estudio, facilitando la resolución de cada instancia sin limitaciones de memoria ni una disminución en el rendimiento, incluso al introducir variaciones en los parámetros relevantes.

Además, se emplearon herramientas complementarias como Microsoft Excel para la creación, validación y verificación de las tablas de parámetros, garantizando la trazabilidad, reproducibilidad además de coherencia a lo largo de todas las fases del proceso computacional.

## **5.3 RESULTADOS DEL CASO DE ESTUDIO**

Este modelo está construido como un sistema de apoyo a la decisión que introduce los factores sensibles previamente identificados y su efecto bajo diversas condiciones operativas. Para ello, se consideran una serie de escenarios, descritos por tres parámetros en riesgo de cambio, con el fin de capturar la incertidumbre intrínseca en las operaciones de producción. Además, se considera un escenario base como punto de partida para comparar las propiedades del sistema. Sin embargo, se detecta una ocasión extra de análisis. Como el modelo posee dos

flujos positivos, pero con uno de estos retardados por su propia condición, es interesante probar 2 grandes familias de simulaciones. Una con todas las fuentes de ingreso y otra con solo la producción de cormos.

Ambos casos base, basados en datos con comportamiento de costo estable de rango acotado, de población inicial de 1.500 fresias. Se estudiarán para concluir sobre su resultado. Primero mostrándose el caso con flujo total de ingresos y el segundo con flujo parcial.

La primera familia, denominada en adelante como ingreso completo, indica que la política de renovación óptima debería implementarse cada dos períodos. En este caso, la primera renovación se decide en el período 2, aplicándose en el 3. Que resulta en un patrón repetido hasta el periodo 8. A partir de dicho punto, no se realizan nuevas renovaciones, dado que en el período 9 la población corresponde a plantas recientemente renovadas. Con ello, el siguiente marca el final del horizonte de planificación, por lo que una renovación adicional resulta irrelevante. Bajo esta estrategia, se obtienen beneficios por un total de 71.214.200 CLP.

Por otro lado, la segunda familia, denominada solo cormos, presenta un beneficio total de 14.245.200 CLP, con una política de renovación que se ejecuta en el período 4 y posteriormente en el período 7. Se espera que el contraste entre estos resultados y los obtenidos bajo escenarios alternativos proporcione información relevante sobre la sensibilidad del modelo en la decisión de renovación, así como sobre el grado en que la incertidumbre considerada puede influir en la estrategia óptima prescrita bajo un enfoque determinista.

Como resultado, la mejor situación sería que la primera renovación del escenario base sea la misma sin importar el escenario. Esto sugeriría que, aunque se introduce variabilidad, las condiciones del cultivo no son lo suficientemente sensibles a la incertidumbre.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos para cada escenario correspondiente a la familia de ingreso completo. En primer lugar, al considerar únicamente producción base y modificar las tasas de mortalidad, se observa que para un ICC de 0,1 se obtiene un beneficio de 67.133.300 CLP, con una política de renovación en cada período. Al aumentar el ICC a 0,2, el beneficio disminuye levemente a 65.931.800 CLP, manteniéndose el mismo patrón de renovación. Este comportamiento persiste para un ICC de 0,3, donde la ganancia neta alcanza los 52.115.400 CLP. De manera análoga, al considerar el escenario asociado a un número óptimo de experimentos igual a 100, el modelo predice un beneficio de 67.219.100 CLP, conservándose el patrón anterior.

Respecto a los niveles de producción, si vemos en el caso donde hay solo producción favorable, se repite la situación del caso base en la toma de decisiones, pero con un beneficio de 93.219.400 CLP. Su contraparte, es decir, producción desfavorable, repite la decisión cada dos periodos, con un beneficio de 49.209.000 CLP.

Ahora llega a los escenarios combinados. Para aquellos con un ICC igual a 0.1 con baja producción, se logra una ganancia de 43.986.200 CLP. Y el régimen óptimo de renovación es cada periodo. Sin embargo, si el valor del ICC para una producción favorable es igual, el resultado positivo es del orden de 90.280.300 CLP con la decisión de reemplazar cada dos periodos

Para un ICC de 0,2 con producción favorable, el modelo recomienda renovar cada periodo, obteniéndose una ganancia de 88.751.200 CLP. En contraste, si es desfavorable, el escenario sigue siendo rentable, con una ganancia de 43.112.400 CLP y una política óptima de renovación por periodo. Cuando el ICC aumenta a 0,3 en condiciones de producción desfavorable, se obtiene una ganancia de 33.064.100 CLP, a renovación incesante. Sin embargo, si la producción es favorable con el mismo ICC, el patrón óptimo vuelve a ser la renovación cada período, alcanzándose una ganancia de 71.166.600 CLP.

Finalmente, para los escenarios derivados de la muestra teórica de 100 casos, se observa que, bajo producción desfavorable, la renovación óptima ocurre cada períodos, con una ganancia de 44.048.600 CLP. En caso contrario, el modelo prescribe la misma decisión, obteniéndose una ganancia de 90.389.500 CLP.

Repitiendo el procedimiento para la familia solo cormos, se modifican inicialmente únicamente las tasas de mortalidad. Para ICC=0.1, se obtienen 9.091.550 CLP con un patrón irregular, ya que se renueva en los períodos 2. 5 y 8. Asimismo, cuando aplicamos ICC=0,2, se obtiene una ganancia de 9.502.940 CLP cuando se aplica las condiciones iniciales, repitiendo el patrón. Patrón que se mantiene constante en ICC=0.3, ofreciendo una ganancia neta de 7.248.850 CLP. Si tomas el caso con el número óptimo de experimentos en 100, obtienes una ganancia de 9.026.710 CLP teniendo el mismo patrón que los casos anteriores.

Procediendo a analizar escenarios donde solo se varia la producción, cuando es favorable, ocurre la decisión de renovar cada 2 períodos, lo que estableciendo que la renovación debe realizarse en los períodos 2, 4, 6 y 8 con una ganancia de 19.868.700 CLP.

En una situación de producción desfavorable, el modelo aconseja renovar cada seis períodos, lo que resulta en una pérdida de 8.574.320 CLP.

Para aquellos con un ICC igual a 0.1 y bajo la misma condición, se logra una ganancia de 4.625.970 CLP. Y el régimen óptimo de renovación es cada cuatro períodos. Sin embargo, si el valor del ICC para una producción favorable es igual, el resultado positivo es del orden de 14.942.200 CLP con la decisión de reemplazar cada dos periodos.

Para un ICC de 0,2 con producción favorable, el modelo recomienda renovar cada dos períodos, obteniéndose una ganancia de 15.449.800 CLP. En contraste, si es desfavorable, el escenario sigue siendo rentable, con una ganancia de 4.811.360 CLP y una política óptima de renovación cada cuatro períodos. Cuando el ICC aumenta a 0,3 en condiciones de producción desfavorable, se obtiene una ganancia de 3.610.310 CLP, manteniéndose también la renovación cada cuatro períodos. Sin embargo, si la producción es favorable con el mismo ICC, el patrón óptimo vuelve a ser la renovación cada dos períodos, alcanzándose una ganancia de 11.761.700 CLP.

Finalmente, para los escenarios derivados de la muestra teórica de 100 casos, se observa que, bajo producción favorable, la renovación óptima ocurre cada dos períodos, con una ganancia de 14.848.700 CLP. En caso contrario, el modelo prescribe una renovación cada cuatro períodos, obteniéndose una ganancia de 4.596.680 CLP.

## **6. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Esta sección evalúa los resultados basados en el estudio de caso y establece los diversos escenarios que se crearon para determinar la sensibilidad del modelo. En particular, el análisis enfatiza las decisiones óptimas de renovación, los beneficios económicos que surgen de cada configuración y las variaciones que ocurren al cambiar parámetros críticos del sistema como la tasa de mortalidad, la productividad y los precios proyectados. Cuando se realiza la comparación de escenarios, se pueden identificar patrones comunes, transiciones relevantes y comportamientos no lineales que informan la estrategia óptima para el reemplazo del cormo.

La primera dimensión del análisis es la estabilidad de las decisiones cuando se producen cambios paramétricos. Por la naturaleza del modelo, se puede observar si la política de renovación es robusta ante perturbaciones o permanece sustancialmente sin cambios. Esto sería especialmente cierto en cultivos como fresa híbrida, donde las interacciones de productividad, edad y mortalidad conducen a dinámicas complejas que no responden proporcionalmente a los cambios en los parámetros. El objetivo es determinar en qué condiciones los beneficios son positiva o negativamente elásticos y en cuales escenarios surgirán pérdidas, ganancias marginales o mejoras sustanciales a través de la comparación sistemática de escenarios.

La segunda dimensión analiza la escala porcentual de la diferencia de los beneficios según diferentes criterios. Que se categorizan para clasificar los aceptables, tolerables y alarmantes. Dicha clasificación permite interpretar el valor absoluto de los resultados, así como el aspecto práctico desde el punto de vista de los productores, especialmente qué casos

están asociados con altos riesgos operativos y cuáles están dentro de los márgenes esperados de estabilidad económica.

Por último, este análisis conjunto sienta las bases para analizar más a fondo los aspectos cuantitativos como métricas, patrones de variación y escenarios junto a cualitativos lógicos bajo el contexto operacional. Algunos ejemplos de lo último serían la interpretación de lógica interna en toma de decisiones, coherencia con la fisiología del cultivo o comportamientos esperados de los parámetros.

En general, ofrece una descripción completa de la robustez y estabilidad del modelo en presencia de perturbaciones pertinentes, lo que permite el escrutinio de la validez decisional de los hallazgos basados en ese caso base y la importancia de las decisiones propuestas bajo condiciones de incertidumbre.

## **6.1 ANÁLISIS CUANTITATIVOS**

Para el análisis cuantitativo se utiliza como métrica principal la variación porcentual, calculada mediante la siguiente expresión:

$$\text{Variación porcentual} = \left( \frac{\text{Valor nuevo} - \text{Valor original}}{\text{Valor original}} \right) * 100$$

Esta métrica permite visualizar de manera directa los cambios en los beneficios asociados a cada escenario, facilitando su interpretación comparativa. Dado que los montos involucrados corresponden al orden de millones, pueden presentar fluctuaciones significativas, resulta conveniente establecer un umbral de tolerancia para su clasificación. Con este fin, los escenarios se agrupan como aceptables, tolerables y alarmantes. Se

consideran aceptables aquellos casos cuya variación es positiva o igual a cero. Si la variación es negativa, pero su magnitud es inferior al 20%, el escenario se clasifica como tolerable. Cualquier variación negativa igual o superior a este umbral se categoriza como alarmante. Esta clasificación permitirá estructurar futuros análisis comparativos y facilitar la evaluación de la robustez de las decisiones del modelo.

**TABLA 7**

*Variación y clasificación de escenarios a ingreso completo*

| <b>Escenario</b>                  | <b>Decisión</b>            | <b>Beneficio (CLP)</b> | <b>Variación porcentual</b> | <b>Tipo de variación</b> |
|-----------------------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| ICC 0,1 – Producción base         | Renovación cada período    | 67.133.300             | –5,73 %                     | Tolerable                |
| ICC 0.2 – Producción base         | Renovación cada período    | 65.931.800             | –7,42 %                     | Tolerable                |
| ICC 0.3 – Producción base         | Renovación cada período    | 52.115.400             | –26,82 %                    | Alarmante                |
| s = 100 – Producción base         | Renovación cada período    | 67.219.100             | –5,61 %                     | Tolerable                |
| Producción favorable              | Renovación cada 2 períodos | 93.219.400             | +30,90 %                    | Aceptable                |
| Producción desfavorable           | Renovación cada 2 períodos | 49.209.000             | –30,90 %                    | Alarmante                |
| ICC 0.1 – Producción desfavorable | Renovación cada período    | 43.986.200             | –38,23 %                    | Alarmante                |
| ICC 0.1 – Producción favorable    | Renovación cada 2 períodos | 90.280.300             | +26,77 %                    | Aceptable                |
| ICC 0.2 – Producción favorable    | Renovación cada período    | 88.751.200             | +24,63 %                    | Aceptable                |

|                                         |                            |            |          |           |
|-----------------------------------------|----------------------------|------------|----------|-----------|
| ICC 0.2 –<br>Producción<br>desfavorable | Renovación cada<br>período | 43.112.400 | –39,46 % | Alarmante |
| ICC 0.3 –<br>Producción<br>desfavorable | Renovación cada<br>período | 33.064.100 | –53,57 % | Alarmante |
| ICC 0.3 –<br>Producción<br>favorable    | Renovación cada<br>período | 71.166.600 | –0,07 %  | Tolerable |
| s = 100 –<br>Producción<br>favorable    | Renovación cada<br>período | 90.389.500 | +26,93 % | Aceptable |
| s = 100 –<br>Producción<br>desfavorable | Renovación cada<br>período | 44.048.600 | –38,15 % | Alarmante |

*Nota:* La variación porcentual se calcula respecto del caso base de la familia ingreso completo. Se consideran aceptables las variaciones positivas o nulas, tolerables las variaciones negativas inferiores al 20% y alarmantes aquellas iguales o superiores a dicho umbral. Elaboración propia, 2025

**TABLA 8**

*Variación y clasificación de las variaciones porcentuales por escenarios con solo cormos*

| <b>Escenario</b>             | <b>Decisión</b>                              | <b>Beneficio<br/>(CLP)</b> | <b>Variación<br/>porcentual</b> | <b>Tipo de<br/>variación</b> |
|------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| ICC 0.1 –<br>Producción base | Renovación al<br>periodo 2 y luego<br>cada 3 | 9.091.550                  | -36,17 %                        | Alarmante                    |
| ICC 0.2 –<br>Producción base | Renovación al<br>periodo 2 y luego<br>cada 3 | 9.502.940                  | -33,28 %                        | Alarmante                    |
| ICC 0.3 –<br>Producción base | Renovación al<br>periodo 2 y luego<br>cada 3 | 7.248.850                  | -49,13 %                        | Alarmante                    |

|                                         |                                              |            |           |           |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------|------------|-----------|-----------|
| s = 100 –<br>Producción base            | Renovación al<br>periodo 2 y luego<br>cada 3 | 9.026.710  | -36,64 %  | Alarmante |
| Producción<br>favorable                 | Cada 2 períodos                              | 19.868.700 | +39,46 %  | Aceptable |
| Producción<br>desfavorable              | Cada 6 períodos                              | -8.574.320 | -160,20 % | Alarmante |
| ICC 0.1 –<br>Producción<br>desfavorable | Cada 4 períodos                              | 4.625.970  | -67,52 %  | Alarmante |
| ICC 0.1 –<br>Producción<br>favorable    | Cada 2 períodos                              | 14.942.200 | +4,89 %   | Aceptable |
| ICC 0.2 –<br>Producción<br>favorable    | Cada 2 períodos                              | 15.449.800 | +8,45 %   | Aceptable |
| ICC 0.2 –<br>Producción<br>desfavorable | Cada 4 períodos                              | 4.811.360  | -66,23 %  | Alarmante |
| ICC 0.3 –<br>Producción<br>desfavorable | Cada 4 períodos                              | 3.610.310  | -74,65 %  | Alarmante |
| ICC 0.3 –<br>Producción<br>favorable    | Cada 2 períodos                              | 11.761.700 | -17,45 %  | Tolerable |
| s = 100 –<br>Producción<br>favorable    | Cada 2 períodos                              | 14.848.700 | +4,24 %   | Aceptable |
| s = 100 –<br>Producción<br>desfavorable | Cada 4 períodos                              | 4.596.680  | -67,73 %  | Alarmante |

*Nota:* Se observa una alta dispersión en las variaciones de beneficios. Elaboración propia, 2025

Antes de iniciar el análisis, es necesario referirse al caso del nutriente AG<sub>3</sub>. Este insumo presenta un costo unitario significativamente elevado dentro del modelo, lo que se vuelve más evidente al compararlo con el costo del agua: aunque la diferencia en magnitud es

de 35 veces, menor que las diferencias observadas frente a otros nutrientes (del orden de 85 veces), su impacto económico es sustancial. Con un costo de 3.013 CLP por cormo, el modelo tiende sistemáticamente a recomendar no renovar cuando solo hay cormos, generando pérdidas considerables. Esto compromete ya una familia completa, sin embargo, al eliminar AG<sub>3</sub> del conjunto de nutrientes, el modelo produce decisiones más consistentes y económicamente informativas. Dado que la ausencia de este insumo no compromete la sobrevivencia de la población, se optó por excluirlo del análisis final.

Iniciamos con el análisis del sistema a familia ingreso completo, se observa que todos los escenarios analizados resultan rentables, sin presentarse pérdidas absolutas en ninguno de los casos. El beneficio mínimo registrado corresponde al escenario con ICC = 0,3 y producción desfavorable, con un valor de 33.064.100 CLP, mientras que el máximo se alcanza bajo condiciones de producción favorable sin penalización por mortalidad, llegando a 93.219.400 CLP. Este amplio rango de resultados evidencia una variabilidad considerable en los beneficios, aun cuando la estructura de decisiones se mantiene relativamente estable en varios escenarios.

Al agrupar los beneficios según su magnitud, se identifican distintos rangos que no siempre coinciden con una política de renovación específica, concretamente:

Entre 33 y 45 millones de CLP cuando la producción es desfavorable, independientemente del nivel de mortalidad considerado, por lo que se entiende que predomina el precio como factor limitante.

Valores rondando los 52 y 67 millones cuando solo varía la tasa de mortalidad, pero la producción es basal.

Último rango de 88 y 93 millones, grupo que incluye el caso base, donde los escenarios que caen el grupo son con producciones favorables, mostrando la influencia de este.

La agrupación anterior indica algo relevante, incluso si hay condiciones favorables existen escenarios donde el beneficio es inferior al máximo base, pese a decisiones similares. Esto demuestra que el modelo no impone patrones de decisión de forma automática, sino que discrimina de manera coherente en función de la información entregada por cada escenario, ajustando la política óptima de renovación según el balance entre costos, rendimientos y mortalidad.

Respecto a las variaciones porcentuales. Las variaciones aceptables corresponden exclusivamente a escenarios con producción favorable, donde los incrementos oscilan entre 24% y 31%, confirmando que este parámetro tiene un efecto amplificador sobre los beneficios. Las variaciones tolerables aparecen únicamente en escenarios con producción base junto a tasas de mortalidad que no sean las castigadora, es decir,  $ICC=0,3$ . Además, se incluye el escenario de producción favorable con  $ICC = 0,3$ , donde la variación es cercana a cero.

Con el tercer tipo de variación, se concentran caídas que van desde aproximadamente 27% hasta más del 53%, siendo particularmente severas cuando se combinan tasas de mortalidad elevadas con producción desfavorable. En estos casos, la disminución del beneficio se intensifica notablemente, evidenciando un efecto sinérgico entre ambos factores. Este resultado confirma que, aunque la familia ingreso completo presenta mayor estabilidad que la familia solo cormos, sigue siendo altamente sensible a escenarios adversos simultáneos, especialmente cuando la mortalidad exhibe altos niveles de correlación

En cuanto a los beneficios si solo aplican los cormos, solo un escenario presenta pérdidas: aquel con producción desfavorable y sin una tasa de mortalidad penalizadora. En todos los demás casos se obtienen beneficios positivos, siendo el peor de ellos 3.610.310 CLP. Se observan, además, distintos rangos de beneficios que no necesariamente coinciden con los patrones de renovación:

Entre 3 y 5 millones de CLP cuando la producción es desfavorable, independientemente de la tasa de mortalidad.

Entre 7 y 9,6 millones cuando solo varía la tasa de mortalidad.

Entre 11 y 20 millones, grupo que incluye el caso base; sin embargo, las decisiones óptimas no coinciden necesariamente con él.

Este último punto es relevante: aún bajo condiciones muy favorables, existe un escenario con beneficios inferiores al caso base, lo que evidencia que el modelo discrimina adecuadamente según la información entregada, sin replicar patrones de forma arbitraria.

Respecto a la variación porcentual, los casos alarmantes presentan caídas entre 36% y 161%, siendo este último un valor atípico. Bajo tasas de mortalidad más severas ( $ICC = 0,2$  o  $0,3$ ), las disminuciones típicas se encuentran entre 36% y 47%. pero si se combina con producción desfavorable, la caída se amplía a un rango entre 66% y 74%, demostrando el fuerte peso de las condiciones iniciales en la proyección. Solo un escenario se clasifica como tolerable, correspondiente a producción favorable con una tasa de mortalidad altamente castigadora, manteniendo aún el patrón decisional esperado. Las variaciones aceptables aparecen únicamente en escenarios con producción favorable, lo que confirma el rol determinante de este parámetro.

Finalmente, se identifica un patrón consistente asociado a las tasas de mortalidad: en todos los casos se observa una estructura similar en la disminución de beneficios. Ordenadas de menor a mayor impacto negativo, las caídas se producen en los escenarios con  $ICC = 0,2$ ,  $ICC = 0,1$ , la muestra teórica de 100 experimentos y, finalmente,  $ICC = 0,3$ . Esto es coherente con las propiedades de la distribución beta-binomial: a mayor ICC, la distribución se aplana en las fases tardías y se vuelve más variable en las iniciales. Además, un ICC de 0,3 implica fuerte dependencia entre individuos, incrementando la probabilidad de infección cuando uno ya se encuentra afectado, lo que se refleja en probabilidades elevadas de mortalidad en las primeras edades y en menores beneficios globales.

Al comparar cuantitativamente los resultados entre familias, se observan diferencias estructurales relevantes. El mayor beneficio general de ingreso completo tiene sentido por la inclusión de los cormelos, pero la diferencia de aproximadamente 57 millones en casos base señala que los cormelos son una gran fuente secundaria de ingresos. Ingresos que amortiguan de mejor manera los efectos negativos de la mortalidad y de la producción desfavorable.

Al analizar la variación porcentual respecto del caso base, se aprecia una asimetría clara entre ambas familias. En ingreso completo, las variaciones negativas más severas se sitúan en torno al  $-54\%$ , mientras que en solo cormos las caídas alcanzan valores considerablemente mayores, llegando hasta  $-160\%$  en el escenario más desfavorable. Incluso en escenarios comparables de alta mortalidad con producción desfavorable, la familia solo cormos presenta reducciones porcentuales entre  $66\%$  y  $75\%$ , sustancialmente más altos que sus contrapartes en ingreso completo. Esto indica que, en términos relativos, la familia solo cormos es mucho más sensible a perturbaciones negativas, tanto en precio como en producción o mortalidad, congruente con su relativo bajo beneficio.

Otro aspecto cuantitativo relevante es la relación entre beneficio y política de renovación. En ingreso completo, distintos niveles de beneficio pueden alcanzarse bajo políticas de renovación similares, lo que sugiere una cierta robustez estructural del sistema. En contraste, en solo cormos se observa que cambios relativamente pequeños en los parámetros inducen alteraciones significativas tanto en el beneficio como en la política de renovación, incluyendo patrones irregulares o renovaciones muy espaciadas, lo que refuerza la idea de un sistema menos estable y más reactivo.

## **6.2 ANÁLISIS CUALITATIVO**

Recordando la discusión sobre el nutriente AG<sub>3</sub>, la necesidad de mencionar su alto costo se debe a la investigación experimental que se está realizando para optimizar el rendimiento de AG<sub>3</sub> utilizando dosis crecientes y cómo se desarrollan los cultivos. así, produciendo mejor una descendencia sana. No obstante, este tipo de recomendaciones no siempre es compatible con proyecciones de largo plazo en un modelo económico directo. En un contexto real, lo más razonable sería obtener descuentos o contratos preferenciales para reducir su impacto. En consecuencia, considerando que los datos utilizados son de carácter experimental, se decidió excluir AG<sub>3</sub> del modelo, ya que su inclusión distorsionaba las decisiones al generar pérdidas sistemáticas.

Comencemos con la familia de ingresos completos. Es sensible a cambios en los parámetros, manteniendo una estructura decisional relativamente estable frente a una amplia gama de escenarios. Esto sugiere que la operación es estable ante la adversidad simulada,

indicando una viabilidad atractiva si recordamos que el mercado está poco explorado en territorio nacional.

Un detalle es que, incluso cuando los beneficios se reducen de forma significativa, el modelo continúa recomendando estrategias activas de renovación, en lugar de espaciar o eliminar los reemplazos. Esto indica que, bajo este esquema, la lógica económica privilegia mantener un stock productivo joven frente al aumento del riesgo, aun a costa de mayores costos de reposición. Desde el punto de vista agronómico junto al económico, coherente con la estructura del modelo. Lo anterior ocurre por la combinación en ingresos de cormos y cormelos, permitiendo compensar parcialmente el deterioro en la producción o aumento de la mortalidad.

Asimismo, las condiciones de producción favorable presentan un rol dominante en la definición de resultados positivos, inclusive con tasas de mortalidad elevadas. El modelo tiende a conservar o reforzar políticas de renovación relativamente intensivas, reflejando que el potencial productivo actúa como un factor estabilizador más fuerte que la mortalidad. Esto refuerza la idea de que, en la familia ingreso completo, el sistema responde prioritariamente a señales de rendimiento esperado antes que a señales de riesgo biológico aislado. En contraposición, la producción desfavorable empuja al modelo renovar constantemente. Esto tiene sentido, pues el peligro en la pérdida de eficacia es más presente que un costo alto por renovación. Y como la producción aun así produce beneficios, es factible asumir el descenso en beneficios.

Por último, el modelo bajo la familia de escenarios de ingresos totales muestra que hay resiliencia operacional, ya que el decrecimiento de producción no empuja a una inmediata

renovación constante, hay escenarios que se mantiene lo planteado por el caso base. Sin embargo, los casos extremos quiebran las expectativas normales. Y el modelo, en consecuencia, intenta compensar con las decisiones que crea correctas. Esto demuestra que el modelo responde bien ante casos extremos, pero resultaría interesante extenderlo a uno de optimización estocástica en un trabajo futuro.

La familia de solo cormos tiene más matices, por lo que es conveniente detallar más en ella. Las decisiones de renovación, estas están fuertemente influenciadas por el escenario productivo: favorable, base o desfavorable. Cada uno conduce a políticas distintas, salvo el caso atípico previamente identificado.

En escenarios favorables, la política óptima es renovar cada dos períodos. Esto se explica por la mayor producción temprana. Que compensa los costos de renovación. Además, la literatura confirma que los cormos jóvenes presentan mayor vigor y menor susceptibilidad a enfermedades, lo que reduce la incertidumbre y sostiene los beneficios incluso bajo tasas de mortalidad más exigentes.

En escenarios de producción base, el modelo recomienda renovar cada tres períodos, reflejando un equilibrio entre deterioro fisiológico y costos de reemplazo. Sin embargo, el caso base puramente determinista sugiere renovar cada cuatro años. por lo tanto, la diferencia evidencia que las tasas de mortalidad incorporadas sí influyen en la decisión, aun cuando los beneficios sigan siendo altos.

Por el contrario, en escenarios desfavorables, la renovación se posterga a intervalos de cuatro períodos. Aunque parezca contraintuitivo, esto es consistente con prácticas industriales: cuando la productividad es baja por factores estructurales, reemplazar los cormos no resuelve

el problema, pues la limitación proviene del entorno productivo y no del material vegetal. Bajo estas circunstancias, el modelo favorece la contención de costos sobre el aumento de la cantidad renovada sin expectativas de mejora. La estrategia podría ser diferente si hubiera variedades con comportamientos mixtos.

Para resumir: el modelo predice que la edad óptima de reemplazo no es una función del desgaste fisiológico, sino de la relación entre productividad, mortalidad y estructura de costos. Esta interacción produce decisiones coherentes entre casos, incluso cuando ciertos factores (como la tasa de mortalidad) se modifican sin alterar la política de renovación. También destaca que los costos de nutrientes tienen un impacto marginal frente al costo de reemplazo, lo que aporta robustez al modelo: solo cambios estructurales —como bajas significativas de producción o mortalidad masiva— alteran las decisiones, dando confianza al operador respecto de los resultados de corto plazo.

Respecto al ICC, debe recordarse que la mortalidad se modela mediante una distribución beta-binomial sustentada en estudios de Fito epidemiología. Con un ICC de 0,1 el efecto de la proximidad entre plantas es mínimo: un individuo enfermo no aumenta la probabilidad de contagio en su entorno inmediato. Con ICC de 0,2 la influencia ya es perceptible y sugiere la necesidad de medidas de control. Con ICC de 0,3 la dependencia es fuerte: la presencia de una planta enferma incrementa significativamente el riesgo de infección del resto, por lo que el agricultor debe reforzar urgentemente sus prácticas sanitarias. Esta fragilidad creciente reduce los beneficios esperados al disminuir la cantidad de cormos sobrevivientes por período, afectando directamente la viabilidad del proyecto.

Al observar ambas familias, es digna de mención la capacidad de adaptación de este modelo determinista, pero por la gran penalización que tiene la producción si no se piensa en varias fuentes de negocio, el modelaje en dos etapas es una opción interesante.

### **6.3 ANÁLISIS SECUNDARIO**

Esta parte comprende un análisis sobre una de las variables que juega un papel más importante en las ventajas financieras del sistema: el precio de venta de los cormos. Mientras que el caso base considera el crecimiento anual derivado del IPC. Que se propone en la explicación, cabe señalar que en realidad los precios agrícolas varían ampliamente y en muchos casos son difíciles de predecir. Tal inestabilidad podría afectar significativamente la política óptima de renovación, por lo que su inclusión en el análisis es necesaria.

Se realizaron escenarios utilizando precios actualizados a tasas de variación anual de precios variables en este sentido para ese propósito. Algunos valores acordados con datos de la literatura técnica y documentos previamente analizados se reflejan en conjuntos de datos mencionados en informes y reportados previamente, lo que contribuye a la calidad metodológica de estos últimos. Otras tasas, incluyendo un aumento del 10% y una disminución del 10%, se incluyen por su aplicabilidad: en entornos reales y productivos, tal magnitud de fluctuaciones suele interpretarse como una advertencia o advertencia de condiciones de mercado muy buenas o malas.

El examen de estos resultados nos permite examinar la respuesta lineal y no lineal de la estrategia óptima de renovación a los cambios de precios en términos de los umbrales

críticos sobre los cuales la decisión óptima puede variar y cuantificar la respuesta del sistema a perturbaciones económicas realistas.

Así, la investigación añade una visión matizada sobre el comportamiento adaptativo del modelo en presencia de dinámicas de mercado.

**Tabla 9**

*Resumen resultados variaciones precio con ingresos completos*

| Tasa   | Beneficio  | Decisión                            | Variación Porcentual | Tipo de variación |
|--------|------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------|
| 10%    | 93.321.600 | Renovar cada periodo                | 31,04                | Aceptable         |
| 6%     | 75.573.900 | Renovar cada dos periodos           | 6,12                 | Aceptable         |
| 0%     | 55.111.900 | Renovar cada dos periodos           | -22,61               | Alarmante         |
| -4,87% | 42.766.200 | Renovar al periodo 2 y luego cada 3 | -39,95               | Alarmante         |
| -6%    | 40.492.300 | Renovar al periodo 2 y luego cada 3 | -43,14               | Alarmante         |
| -10%   | 3.3309.500 | Renovar al periodo 2 y luego cada 3 | -53,23               | Alarmante         |

*Nota:* La variación porcentual se calcula respecto al caso base de la familia ingreso completo.  
Elaboración propia, 2025

**Tabla 10***Resumen resultados variaciones familia solo cormos*

| Tasa   | Beneficio  | Decisión                                    | Variación Porcentual | Tipo de variación |
|--------|------------|---------------------------------------------|----------------------|-------------------|
| 10%    | 19.877.100 | Renovar al periodo 4 y luego cada 3         | 39,54                | Aceptable         |
| 6%     | 15.356.100 | Renovar al periodo 4 y luego cada 3         | 7,80                 | Aceptable         |
| 0%     | 10.238.900 | Renovar al periodo 3 y luego cada 4         | -28,12               | Alarmante         |
| -4,87% | 7.184.020  | Renovar al periodo 3 y luego cada 4         | -49,57               | Alarmante         |
| -6%    | 6.591.100  | Renovar al periodo 3 y luego cada 4         | -53,73               | Alarmante         |
| -10%   | 5.085.410  | Renovar al periodo 3 y no vuelves a renovar | -64,30               | Alarmante         |

*Nota:* Se ordena de mayor a menor tasa para una mejor lectura. Elaboración Propia, 2025.

El análisis inicial muestra que con una variación positiva del precio, el modelo se comporta de manera similar al caso base en cada familia, excepto por una anomalía en un escenario que se puede explicar con un cruce de brecha de beneficios. Sin embargo, las decisiones también se ven afectadas por los cambios de precio, Esto demuestra que el efecto sobre las ganancias no es lineal: variaciones de la misma magnitud, pero con signos opuestos, generan efectos diferentes en el resultado económico. Como resultado, el precio se inserta en el modelo con un peso sustancial para las proyecciones, confirmando la necesidad de que un productor real examine sistemáticamente las previsiones del mercado. Esto está en consonancia con la forma en que se construye el modelo, dado que el precio es la principal fuente de flujo de ingresos y, por lo tanto, cada variación afectará las ganancias. La evidencia

de una asimetría en el riesgo económico derivado del cambio de precio es otro aspecto relevante. Las tasas positivas se caracterizan por aumentos medidos en las ganancias y una sensibilidad relativamente estable.

Por otro lado, en caso de caída del precio, el impacto negativo en las ganancias es considerablemente más fuerte en comparación con el efecto positivo observado en escenarios equivalentes. Además, en algunos casos, la decisión óptima de renovación se cambia, es decir, la disminución del precio reduce las ganancias y hace que se ajuste una política al modelo (decisión operativa).

Finalmente, la incertidumbre del precio se percibe más como un riesgo que como una oportunidad. La asimetría encontrada verifica que la variabilidad del precio afecta los resultados del modelo de manera directa, diferente y estructural. Por lo tanto, para formular políticas de renovación coherentes y sostenibles a largo plazo, su atención y consideración son esenciales. Por lo tanto, cualquier productor que considere implementar este tipo de cultivo debería evaluar pasos para estabilizar el precio de venta, diversificar los canales comerciales o, por el contrario, adoptar modelos de optimización en dos etapas para predecir los peores escenarios y reducir su efecto en la toma de decisiones.

#### **6.4 LIMITACIONES.**

Un primer elemento por considerar son las concesiones numéricas adoptadas. No fue posible contactar a productores locales, quienes además cuentan con escasa documentación técnica, por lo que fue necesario recurrir a métodos alternativos para construir datos de prueba plausibles y consistentes por escenario.

Una segunda limitación corresponde al supuesto de venta total. Aunque en la práctica todo mercado posee un nivel máximo de demanda por período, el objetivo del modelo era analizar el reemplazo óptimo bajo desgaste fisiológico y consumo nutricional. por ello, se asumió que todos los cormos producidos serían vendidos, permitiendo que las plantas madre presentaran un patrón de agotamiento uniforme.

Otra restricción relevante proviene de la forma en que se modela la mortalidad mediante la distribución beta-binomial. Aun cuando esta es ampliamente utilizada en estudios de agregación epidemiológica, su parametrización depende de decisiones artificiales y no calibradas directamente con datos de campo. En consecuencia, la mortalidad representada constituye una aproximación razonable, pero no una reconstrucción exacta de la dinámica sanitaria del cultivo.

Además, el modelo no logra tener en cuenta la interacción entre la mortalidad y el medio ambiente, particularmente la humedad, la gestión sanitaria o la densidad de plantación, ya que la primera a menudo afecta en gran medida los patrones de infección.

El modelo admite un solo cormo en cada edad y período, una simplicidad operativa elegida a la luz de la ausencia de evidencia empírica que sostenga un seguimiento más detallado. Pero esta es una estructura que podríamos mejorar en las próximas versiones.

Por otro lado, los costos de nutrientes y pesticidas se aplican de manera uniforme, pasando por alto tratamientos agronómicos diferenciados según la edad, el estado de salud o la etapa de desarrollo. La simplificación introduce un número manejable de variables, pero elimina el impacto marginal de la eficiencia y la gestión segmentada.

Por último, el modelo no considera factores limitantes del rendimiento como la capacidad de trabajo, la disponibilidad de mano de obra, las limitaciones de espacio, las rotaciones de cultivos, las ventanas de plantación bajo el clima y las restricciones de la temporada de crecimiento. Tales condiciones son comunes en los sistemas agrícolas reales y pueden afectar la viabilidad práctica de los planes de renovación propuestos. A la luz de estos aspectos, el modelo es un sistema idealizado, valioso para describir tendencias generales, pero de ninguna manera está destinado a reemplazar el análisis logístico especializado necesario para implementar el modelo en la práctica.

## 7. CONCLUSIONES

Este estudio se inició con la misión de diseñar, implementar y analizar un modelo de optimización para seleccionar renovaciones de cormos en un sistema de producción de Fresa híbrida. Utilizar esta formulación matemática en un estudio de caso con parámetros realistas junto con escenarios variados permitió investigar la dinámica de beneficios, los compromisos óptimos y la estabilidad del sistema dadas las diferencias en características clave. Si tanto el costo como precio son estables, la política óptima del caso base se relaciona con renovar cada cuatro períodos si solo se decide apostar por un caso de solo venta de cormos o cada dos si se complementa con nutrición de cormelos, lo que coincide con los aspectos económicos del ciclo de producción de la especie.

Pero con el análisis de sensibilidad hubo una asimetría significativa en la respuesta del sistema. Aumentos moderados en la producción o el precio generan pequeñas ganancias en el estado estacionario y cambios marginales en la estrategia de renovación. mientras que disminuciones igualmente grandes conducen a fuertes decrementos en los beneficios y modificaciones abruptas de la política óptima, sin importar que familia fuese. Incluso un ligero cambio en el precio o un aumento en la mortalidad crea comportamientos no lineales derivando menores beneficios. Estos hallazgos ilustran que la rentabilidad del cultivo particular depende en gran medida de perturbaciones adversas. Y que las decisiones tomadas bajo suposiciones deterministas no pueden ser suficientes para situaciones con una incertidumbre muy alta.

El análisis cualitativo apoya esta conclusión, revelando que incluso en las decisiones más eficientes no solo se analiza los valores numéricos sino también el riesgo de cada

parámetro. El escenario negativo se centró en cambios estructurales de la decisión de renovación y proporcionó información crítica sobre qué factores podrían haber puesto al productor en mayor riesgo. Por lo tanto, el experimento logra este objetivo no solo estableciendo la mejor elección de política aplicable por nivel base, situación operativa entre otros, sino también proporcionando los criterios con los cuales evaluar cuándo ha alcanzado un equilibrio para decidir desde cuándo tal política ya no es suficiente.

En conjunto, el resultados muestran que el modelo es un buen enfoque para estimar el impacto económico de la sustitución de cormos en varios niveles de incertidumbre. También destaca la necesidad de integrar características más diversas de las variables críticas al diseñar estrategias agrícolas, particularmente en sistemas con márgenes pequeños y donde hay un efecto a largo plazo de las decisiones, llevando a un modelo estocástico más exhaustivo en versiones posteriores del modelo.

## **8. PERSPECTIVAS FUTURAS**

Los resultados presentados ofrecen numerosas posibilidades para extender y profundizar el método propuesto, apuntando a la mejor aplicación del modelo implementado. Una alta sensibilidad a cambios negativos en el precio, mortalidad o producción sugiere que un modelo determinista es inadecuado, ya que es difícil conocer el comportamiento real del sistema, porque está predominantemente influenciado por la incertidumbre. Así, una opción natural sería implementar un modelo de optimización estocástico de dos-etapas. Debido a su implicación inmediata para los períodos de reemplazo subsiguientes y para la estructura de beneficios, una teórica variable de decisión como la primera renovación parece ser un contendiente destacado para la toma de decisiones en incertidumbre.

Una extensión relevante a esta discusión es la incorporación de una descripción más completa de la demanda o comercialización. Tal como están las cosas, el modelo asume venta completa de producción, pero esto podría ser una estimación más realista basada en las restricciones del mercado, elasticidades de precio, variaciones estacionales, posible desconexión de la oferta y demanda entre otros. La adición de costos variables dinámicos (es decir, insumos agrícolas, mano de obra, agua, energía) mejoraría la capacidad del modelo para capturar el riesgo operativo dinámico de los productores.

Finalmente, una expansión del modelo hacia un enfoque multiobjetivo podría incluir potencialmente criterios agronómicos, ambientales y de sostenibilidad por los cuales los beneficios económicos, conservación del suelo, eficiencia en recursos o impacto ambiental puedan evaluarse al mismo tiempo. Esto situaría el modelo dentro de las prácticas agrícolas

modernas, fomentando estrategias de renovación más resilientes que sean compatibles con predicciones de mayor variabilidad climática.

## 9. ANEXOS

TABLA 11

*Tasa de muerte con ICC constante y de magnitud 0,1*

| Edad planificada | Beta asociado | Tasa de Muerte |
|------------------|---------------|----------------|
| 1                | 8,900         | 0,011          |
| 2                | 5,405         | 0,399          |
| 3                | 3,282         | 0,635          |
| 4                | 1,993         | 0,779          |
| 5                | 1,211         | 0,865          |
| 6                | 0,735         | 0,918          |
| 7                | 0,446         | 0,950          |
| 8                | 0,271         | 0,970          |
| 9                | 0,165         | 0,982          |
| 10               | 0,100         | 0,989          |

*Nota:* este caso tiene de beta máximo 8,9 y mínimo de 0,1 con un “k” igual a 10 y su tamaño muestral sería de 9. Creación propia, de 2025.

TABLA 12

*Tasa de muerte con ICC fijado en 0,2*

| Edad planificada | Beta asociado | Tasa de Muerte |
|------------------|---------------|----------------|
| 1                | 3,900         | 0,025          |
| 2                | 2,596         | 0,351          |
| 3                | 1,728         | 0,568          |
| 4                | 1,150         | 0,712          |
| 5                | 0,765         | 0,809          |
| 6                | 0,509         | 0,873          |
| 7                | 0,339         | 0,915          |
| 8                | 0,226         | 0,944          |
| 9                | 0,150         | 0,962          |
| 10               | 0,100         | 0,975          |

*Nota:* este caso tiene de beta máximo 3,9 y mínimo de 0,1 con un “k” igual a 10 y su tamaño muestral sería de 4. Creación propia, de 2025.

TABLA 13

*Tasa de muerte con ICC equivalente a 0,3*

| Edad planificada | Beta asociado | Tasa de Muerte |
|------------------|---------------|----------------|
| 1                | 1,900         | 0,186          |
| 2                | 1,370         | 0,413          |
| 3                | 0,988         | 0,577          |
| 4                | 0,712         | 0,695          |
| 5                | 0,513         | 0,780          |
| 6                | 0,370         | 0,841          |
| 7                | 0,267         | 0,886          |
| 8                | 0,192         | 0,918          |
| 9                | 0,139         | 0,941          |
| 10               | 0,100         | 0,957          |

*Nota:* este caso tiene de beta máximo 1,9 y mínimo de 0,1 con un “k” igual a 10 y su tamaño muestral sería de 2,3, que en efecto prácticos sería de 2. Creación propia, de 2025.

TABLA 14

*Tasa de muerte con tamaño muestral de 100 experimentos*

| Edad planificada | Beta asociado | Tasa de Muerte |
|------------------|---------------|----------------|
| 1                | 99,000        | 0,010          |
| 2                | 59,415        | 0,406          |
| 3                | 35,658        | 0,643          |
| 4                | 21,400        | 0,786          |
| 5                | 12,844        | 0,872          |
| 6                | 7,708         | 0,923          |
| 7                | 4,626         | 0,954          |
| 8                | 2,776         | 0,972          |
| 9                | 1,666         | 0,983          |
| 10               | 1,000         | 0,990          |

*Nota:* este caso tiene de beta máximo 99 y mínimo de 1 con un “k” igual a 10 y su tamaño muestral sería de 100. Creación propia, 2025.

TABLA 15

*Escenarios de producción de cormos esperados*

| <b>Edad</b> | <b>Escenario desfavorable</b> | <b>Escenario Favorable</b> |
|-------------|-------------------------------|----------------------------|
| 1           | 2                             | 4                          |
| 2           | 2                             | 4                          |
| 3           | 2                             | 3                          |
| 4           | 2                             | 3                          |
| 5           | 2                             | 3                          |
| 6           | 2                             | 2                          |
| 7           | 2                             | 2                          |
| 8           | 1                             | 2                          |
| 9           | 1                             | 1                          |
| 10          | 1                             | 1                          |

*Nota:* este caso tiene de beta máximo 99 y mínimo de 1 con un “k” igual a 10 y su tamaño muestral sería de 100. Creación propia, 2025.

TABLA 16

*Escenarios de producción de cormelos esperados*

| <b>Edad</b> | <b>Escenario desfavorable</b> | <b>Escenario favorable</b> |
|-------------|-------------------------------|----------------------------|
| 1           | 6                             | 10                         |
| 2           | 6                             | 10                         |
| 3           | 5                             | 10                         |
| 4           | 5                             | 9                          |
| 5           | 5                             | 8                          |
| 6           | 4                             | 7                          |
| 7           | 4                             | 6                          |
| 8           | 3                             | 5                          |
| 9           | 3                             | 4                          |
| 10          | 3                             | 4                          |

10. *Nota:* este caso tiene de beta máximo 99 y mínimo de 1 con un “k” igual a 10 y su tamaño muestral sería de 100. Creación propia, 2025.

Archivo de datos del modelo

#Conjuntos

param T:= 10; #Horizonte de planificación

param E:= 10 ; #Edades de las plantas

param N:= 13; #Nutrientes para el modelo

#Parametros

param FMI:= 1500; #Plantas iniciales.

param CPEST := 150; #costo unitario pesticida

param CRU :

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 :=

1 832 782 735 691 650 611 574 540 507 477

2 872 820 770 724 681 640 602 565 532 500

3 916 861 809 761 715 672 632 594 558 525

4 960 902 848 797 750 705 662 623 585 550

5 1006 946 889 836 785 738 694 652 613 576  
 6 1056 993 933 877 824 775 729 685 644 605  
 7 1106 1040 977 919 864 812 763 717 674 634  
 8 1160 1090 1025 963 906 851 800 752 707 665  
 9 1218 1145 1076 1012 951 894 840 790 742 698  
 10 1276 1199 1127 1060 996 936 880 827 778 731

;

#precio cormo base

param VUC :=

1 416  
 2 436  
 3 458  
 4 480  
 5 503  
 6 528  
 7 553

8 580

9 609

10 638

;

#Cormos esperados para la edad e

param NCE:=

1 3

2 3

3 3

4 2

5 2

6 2

7 2

8 1

9 1

10 1

;

#Cantidad de cormelos esperados para la edad e

param CCE:=

1 8

2 8

3 7

4 7

5 6

6 6

7 5

8 5

9 4

10 4

;

#Tasa de muerte e

param TM :=

1 0,03

2 0,06

3 0,08

4 0,10

5 0,11

6 0,12

7 0,14

8 0,17

9 0,20

10 0,27

;

# Costos unitarios de nutrientes por (n, t, e) con T = 10

param CUN :=

[:,\*,1]: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 :=

1 1.0000 1.0487 1.0998 1.1533 1.2095 1.2684 1.3302 1.3950 1.4629 1.5341

2 1.0000 1.0487 1.0998 1.1533 1.2095 1.2684 1.3302 1.3950 1.4629 1.5341

3 1.0000 1.0487 1.0998 1.1533 1.2095 1.2684 1.3302 1.3950 1.4629 1.5341

4 1.0000 1.0487 1.0998 1.1533 1.2095 1.2684 1.3302 1.3950 1.4629 1.5341

|    |                                                                         |
|----|-------------------------------------------------------------------------|
| 5  | 1.0000 1.0487 1.0998 1.1533 1.2095 1.2684 1.3302 1.3950 1.4629 1.5341   |
| 6  | 1.0000 1.0487 1.0998 1.1533 1.2095 1.2684 1.3302 1.3950 1.4629 1.5341   |
| 7  | 1.0000 1.0487 1.0998 1.1533 1.2095 1.2684 1.3302 1.3950 1.4629 1.5341   |
| 8  | 1.0000 1.0487 1.0998 1.1533 1.2095 1.2684 1.3302 1.3950 1.4629 1.5341   |
| 9  | 1.0000 1.0487 1.0998 1.1533 1.2095 1.2684 1.3302 1.3950 1.4629 1.5341   |
| 10 | 1.0000 1.0487 1.0998 1.1533 1.2095 1.2684 1.3302 1.3950 1.4629 1.5341   |
| 11 | 1.0000 1.0487 1.0998 1.1533 1.2095 1.2684 1.3302 1.3950 1.4629 1.5341   |
| 12 | 1.0000 1.0487 1.0998 1.1533 1.2095 1.2684 1.3302 1.3950 1.4629 1.5341   |
| 13 | 84 88.0908 92.3808 96.8798 101.5978 106.5456 111.7344 117.1759 122.8823 |

128.8667

[\*,\*,2]: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 :=

|   |                                                                       |
|---|-----------------------------------------------------------------------|
| 1 | 0.9400 0.9858 1.0338 1.0841 1.1369 1.1923 1.2504 1.3113 1.3751 1.4421 |
| 2 | 0.9400 0.9858 1.0338 1.0841 1.1369 1.1923 1.2504 1.3113 1.3751 1.4421 |
| 3 | 0.9400 0.9858 1.0338 1.0841 1.1369 1.1923 1.2504 1.3113 1.3751 1.4421 |
| 4 | 0.9400 0.9858 1.0338 1.0841 1.1369 1.1923 1.2504 1.3113 1.3751 1.4421 |
| 5 | 0.9400 0.9858 1.0338 1.0841 1.1369 1.1923 1.2504 1.3113 1.3751 1.4421 |

|    |                                                                             |
|----|-----------------------------------------------------------------------------|
| 6  | 0.9400 0.9858 1.0338 1.0841 1.1369 1.1923 1.2504 1.3113 1.3751 1.4421       |
| 7  | 0.9400 0.9858 1.0338 1.0841 1.1369 1.1923 1.2504 1.3113 1.3751 1.4421       |
| 8  | 0.9400 0.9858 1.0338 1.0841 1.1369 1.1923 1.2504 1.3113 1.3751 1.4421       |
| 9  | 0.9400 0.9858 1.0338 1.0841 1.1369 1.1923 1.2504 1.3113 1.3751 1.4421       |
| 10 | 0.9400 0.9858 1.0338 1.0841 1.1369 1.1923 1.2504 1.3113 1.3751 1.4421       |
| 11 | 0.9400 0.9858 1.0338 1.0841 1.1369 1.1923 1.2504 1.3113 1.3751 1.4421       |
| 12 | 0.9400 0.9858 1.0338 1.0841 1.1369 1.1923 1.2504 1.3113 1.3751 1.4421       |
| 13 | 78.9600 82.8054 86.8380 91.0670 95.5019 100.1529 105.0303 110.1453 115.5094 |

121.1347

[\*,\*,3]: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 :=

|   |                                                                       |
|---|-----------------------------------------------------------------------|
| 1 | 0.8836 0.9266 0.9718 1.0191 1.0687 1.1208 1.1753 1.2326 1.2926 1.3556 |
| 2 | 0.8836 0.9266 0.9718 1.0191 1.0687 1.1208 1.1753 1.2326 1.2926 1.3556 |
| 3 | 0.8836 0.9266 0.9718 1.0191 1.0687 1.1208 1.1753 1.2326 1.2926 1.3556 |
| 4 | 0.8836 0.9266 0.9718 1.0191 1.0687 1.1208 1.1753 1.2326 1.2926 1.3556 |
| 5 | 0.8836 0.9266 0.9718 1.0191 1.0687 1.1208 1.1753 1.2326 1.2926 1.3556 |
| 6 | 0.8836 0.9266 0.9718 1.0191 1.0687 1.1208 1.1753 1.2326 1.2926 1.3556 |

|    |                                                                           |
|----|---------------------------------------------------------------------------|
| 7  | 0.8836 0.9266 0.9718 1.0191 1.0687 1.1208 1.1753 1.2326 1.2926 1.3556     |
| 8  | 0.8836 0.9266 0.9718 1.0191 1.0687 1.1208 1.1753 1.2326 1.2926 1.3556     |
| 9  | 0.8836 0.9266 0.9718 1.0191 1.0687 1.1208 1.1753 1.2326 1.2926 1.3556     |
| 10 | 0.8836 0.9266 0.9718 1.0191 1.0687 1.1208 1.1753 1.2326 1.2926 1.3556     |
| 11 | 0.8836 0.9266 0.9718 1.0191 1.0687 1.1208 1.1753 1.2326 1.2926 1.3556     |
| 12 | 0.8836 0.9266 0.9718 1.0191 1.0687 1.1208 1.1753 1.2326 1.2926 1.3556     |
| 13 | 74.2224 77.8370 81.6277 85.6030 89.7718 94.1437 98.7285 103.5366 108.5788 |

113.8666

[\*,\*,4]: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 :=

|   |                                                                       |
|---|-----------------------------------------------------------------------|
| 1 | 0.8306 0.8710 0.9135 0.9579 1.0046 1.0535 1.1048 1.1586 1.2150 1.2742 |
| 2 | 0.8306 0.8710 0.9135 0.9579 1.0046 1.0535 1.1048 1.1586 1.2150 1.2742 |
| 3 | 0.8306 0.8710 0.9135 0.9579 1.0046 1.0535 1.1048 1.1586 1.2150 1.2742 |
| 4 | 0.8306 0.8710 0.9135 0.9579 1.0046 1.0535 1.1048 1.1586 1.2150 1.2742 |
| 5 | 0.8306 0.8710 0.9135 0.9579 1.0046 1.0535 1.1048 1.1586 1.2150 1.2742 |
| 6 | 0.8306 0.8710 0.9135 0.9579 1.0046 1.0535 1.1048 1.1586 1.2150 1.2742 |
| 7 | 0.8306 0.8710 0.9135 0.9579 1.0046 1.0535 1.1048 1.1586 1.2150 1.2742 |

|    |                                                                          |
|----|--------------------------------------------------------------------------|
| 8  | 0.8306 0.8710 0.9135 0.9579 1.0046 1.0535 1.1048 1.1586 1.2150 1.2742    |
| 9  | 0.8306 0.8710 0.9135 0.9579 1.0046 1.0535 1.1048 1.1586 1.2150 1.2742    |
| 10 | 0.8306 0.8710 0.9135 0.9579 1.0046 1.0535 1.1048 1.1586 1.2150 1.2742    |
| 11 | 0.8306 0.8710 0.9135 0.9579 1.0046 1.0535 1.1048 1.1586 1.2150 1.2742    |
| 12 | 0.8306 0.8710 0.9135 0.9579 1.0046 1.0535 1.1048 1.1586 1.2150 1.2742    |
| 13 | 69.7691 73.1668 76.7300 80.4668 84.3855 88.4951 92.8048 97.3244 102.0641 |

107.0346

[\*,\*,5]: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 :=

|   |                                                                       |
|---|-----------------------------------------------------------------------|
| 1 | 0.7807 0.8188 0.8586 0.9005 0.9443 0.9903 1.0385 1.0891 1.1421 1.1978 |
| 2 | 0.7807 0.8188 0.8586 0.9005 0.9443 0.9903 1.0385 1.0891 1.1421 1.1978 |
| 3 | 0.7807 0.8188 0.8586 0.9005 0.9443 0.9903 1.0385 1.0891 1.1421 1.1978 |
| 4 | 0.7807 0.8188 0.8586 0.9005 0.9443 0.9903 1.0385 1.0891 1.1421 1.1978 |
| 5 | 0.7807 0.8188 0.8586 0.9005 0.9443 0.9903 1.0385 1.0891 1.1421 1.1978 |
| 6 | 0.7807 0.8188 0.8586 0.9005 0.9443 0.9903 1.0385 1.0891 1.1421 1.1978 |
| 7 | 0.7807 0.8188 0.8586 0.9005 0.9443 0.9903 1.0385 1.0891 1.1421 1.1978 |
| 8 | 0.7807 0.8188 0.8586 0.9005 0.9443 0.9903 1.0385 1.0891 1.1421 1.1978 |

9     0.7807 0.8188 0.8586 0.9005 0.9443 0.9903 1.0385 1.0891 1.1421 1.1978  
 10    0.7807 0.8188 0.8586 0.9005 0.9443 0.9903 1.0385 1.0891 1.1421 1.1978  
 11    0.7807 0.8188 0.8586 0.9005 0.9443 0.9903 1.0385 1.0891 1.1421 1.1978  
 12    0.7807 0.8188 0.8586 0.9005 0.9443 0.9903 1.0385 1.0891 1.1421 1.1978  
 13     65.5829 68.7768 72.1262 75.6388 79.3224 83.1854 87.2365 91.4849 95.9402  
 100.6125

[\*,\*,6]: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 :=

1     0.7339 0.7696 0.8071 0.8464 0.8877 0.9309 0.9762 1.0238 1.0736 1.1259  
 2     0.7339 0.7696 0.8071 0.8464 0.8877 0.9309 0.9762 1.0238 1.0736 1.1259  
 3     0.7339 0.7696 0.8071 0.8464 0.8877 0.9309 0.9762 1.0238 1.0736 1.1259  
 4     0.7339 0.7696 0.8071 0.8464 0.8877 0.9309 0.9762 1.0238 1.0736 1.1259  
 5     0.7339 0.7696 0.8071 0.8464 0.8877 0.9309 0.9762 1.0238 1.0736 1.1259  
 6     0.7339 0.7696 0.8071 0.8464 0.8877 0.9309 0.9762 1.0238 1.0736 1.1259  
 7     0.7339 0.7696 0.8071 0.8464 0.8877 0.9309 0.9762 1.0238 1.0736 1.1259  
 8     0.7339 0.7696 0.8071 0.8464 0.8877 0.9309 0.9762 1.0238 1.0736 1.1259  
 9     0.7339 0.7696 0.8071 0.8464 0.8877 0.9309 0.9762 1.0238 1.0736 1.1259

10 0.7339 0.7696 0.8071 0.8464 0.8877 0.9309 0.9762 1.0238 1.0736 1.1259

11 0.7339 0.7696 0.8071 0.8464 0.8877 0.9309 0.9762 1.0238 1.0736 1.1259

12 0.7339 0.7696 0.8071 0.8464 0.8877 0.9309 0.9762 1.0238 1.0736 1.1259

13 61.6479 64.6502 67.7987 71.1005 74.5630 78.1943 82.0023 85.9958 90.1838 94.5758

[\*,\*,7]: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 :=

1 0.6899 0.7235 0.7587 0.7956 0.8344 0.8750 0.9176 0.9623 1.0092 1.0583

2 0.6899 0.7235 0.7587 0.7956 0.8344 0.8750 0.9176 0.9623 1.0092 1.0583

3 0.6899 0.7235 0.7587 0.7956 0.8344 0.8750 0.9176 0.9623 1.0092 1.0583

4 0.6899 0.7235 0.7587 0.7956 0.8344 0.8750 0.9176 0.9623 1.0092 1.0583

5 0.6899 0.7235 0.7587 0.7956 0.8344 0.8750 0.9176 0.9623 1.0092 1.0583

6 0.6899 0.7235 0.7587 0.7956 0.8344 0.8750 0.9176 0.9623 1.0092 1.0583

7 0.6899 0.7235 0.7587 0.7956 0.8344 0.8750 0.9176 0.9623 1.0092 1.0583

8 0.6899 0.7235 0.7587 0.7956 0.8344 0.8750 0.9176 0.9623 1.0092 1.0583

9 0.6899 0.7235 0.7587 0.7956 0.8344 0.8750 0.9176 0.9623 1.0092 1.0583

10 0.6899 0.7235 0.7587 0.7956 0.8344 0.8750 0.9176 0.9623 1.0092 1.0583

11 0.6899 0.7235 0.7587 0.7956 0.8344 0.8750 0.9176 0.9623 1.0092 1.0583

12 0.6899 0.7235 0.7587 0.7956 0.8344 0.8750 0.9176 0.9623 1.0092 1.0583

13 57.9491 60.7712 63.7307 66.8344 70.0893 73.5026 77.0822 80.8361 84.7728 88.9012

[\*,\*,8]: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 :=

1 0.6485 0.6801 0.7132 0.7479 0.7843 0.8225 0.8626 0.9046 0.9486 0.9948

2 0.6485 0.6801 0.7132 0.7479 0.7843 0.8225 0.8626 0.9046 0.9486 0.9948

3 0.6485 0.6801 0.7132 0.7479 0.7843 0.8225 0.8626 0.9046 0.9486 0.9948

4 0.6485 0.6801 0.7132 0.7479 0.7843 0.8225 0.8626 0.9046 0.9486 0.9948

5 0.6485 0.6801 0.7132 0.7479 0.7843 0.8225 0.8626 0.9046 0.9486 0.9948

6 0.6485 0.6801 0.7132 0.7479 0.7843 0.8225 0.8626 0.9046 0.9486 0.9948

7 0.6485 0.6801 0.7132 0.7479 0.7843 0.8225 0.8626 0.9046 0.9486 0.9948

8 0.6485 0.6801 0.7132 0.7479 0.7843 0.8225 0.8626 0.9046 0.9486 0.9948

9 0.6485 0.6801 0.7132 0.7479 0.7843 0.8225 0.8626 0.9046 0.9486 0.9948

10 0.6485 0.6801 0.7132 0.7479 0.7843 0.8225 0.8626 0.9046 0.9486 0.9948

11 0.6485 0.6801 0.7132 0.7479 0.7843 0.8225 0.8626 0.9046 0.9486 0.9948

12 0.6485 0.6801 0.7132 0.7479 0.7843 0.8225 0.8626 0.9046 0.9486 0.9948

13 54.4721 57.1249 59.9069 62.8244 65.8839 69.0925 72.4573 75.9859 79.6864 83.5672

[\*,\*,9]: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 :=

|    |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1  | 0.6096  | 0.6393  | 0.6704  | 0.7030  | 0.7373  | 0.7732  | 0.8108  | 0.8503  | 0.8917  | 0.9352  |
| 2  | 0.6096  | 0.6393  | 0.6704  | 0.7030  | 0.7373  | 0.7732  | 0.8108  | 0.8503  | 0.8917  | 0.9352  |
| 3  | 0.6096  | 0.6393  | 0.6704  | 0.7030  | 0.7373  | 0.7732  | 0.8108  | 0.8503  | 0.8917  | 0.9352  |
| 4  | 0.6096  | 0.6393  | 0.6704  | 0.7030  | 0.7373  | 0.7732  | 0.8108  | 0.8503  | 0.8917  | 0.9352  |
| 5  | 0.6096  | 0.6393  | 0.6704  | 0.7030  | 0.7373  | 0.7732  | 0.8108  | 0.8503  | 0.8917  | 0.9352  |
| 6  | 0.6096  | 0.6393  | 0.6704  | 0.7030  | 0.7373  | 0.7732  | 0.8108  | 0.8503  | 0.8917  | 0.9352  |
| 7  | 0.6096  | 0.6393  | 0.6704  | 0.7030  | 0.7373  | 0.7732  | 0.8108  | 0.8503  | 0.8917  | 0.9352  |
| 8  | 0.6096  | 0.6393  | 0.6704  | 0.7030  | 0.7373  | 0.7732  | 0.8108  | 0.8503  | 0.8917  | 0.9352  |
| 9  | 0.6096  | 0.6393  | 0.6704  | 0.7030  | 0.7373  | 0.7732  | 0.8108  | 0.8503  | 0.8917  | 0.9352  |
| 10 | 0.6096  | 0.6393  | 0.6704  | 0.7030  | 0.7373  | 0.7732  | 0.8108  | 0.8503  | 0.8917  | 0.9352  |
| 11 | 0.6096  | 0.6393  | 0.6704  | 0.7030  | 0.7373  | 0.7732  | 0.8108  | 0.8503  | 0.8917  | 0.9352  |
| 12 | 0.6096  | 0.6393  | 0.6704  | 0.7030  | 0.7373  | 0.7732  | 0.8108  | 0.8503  | 0.8917  | 0.9352  |
| 13 | 51.2038 | 53.6974 | 56.3125 | 59.0549 | 61.9309 | 64.9469 | 68.1098 | 71.4268 | 74.9053 | 78.5531 |

[\*,\*,10]: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 :=

1 0.5730 0.6009 0.6302 0.6609 0.6930 0.7268 0.7622 0.7993 0.8382 0.8790

2 0.5730 0.6009 0.6302 0.6609 0.6930 0.7268 0.7622 0.7993 0.8382 0.8790

3 0.5730 0.6009 0.6302 0.6609 0.6930 0.7268 0.7622 0.7993 0.8382 0.8790

4 0.5730 0.6009 0.6302 0.6609 0.6930 0.7268 0.7622 0.7993 0.8382 0.8790

5 0.5730 0.6009 0.6302 0.6609 0.6930 0.7268 0.7622 0.7993 0.8382 0.8790

6 0.5730 0.6009 0.6302 0.6609 0.6930 0.7268 0.7622 0.7993 0.8382 0.8790

7 0.5730 0.6009 0.6302 0.6609 0.6930 0.7268 0.7622 0.7993 0.8382 0.8790

8 0.5730 0.6009 0.6302 0.6609 0.6930 0.7268 0.7622 0.7993 0.8382 0.8790

9 0.5730 0.6009 0.6302 0.6609 0.6930 0.7268 0.7622 0.7993 0.8382 0.8790

10 0.5730 0.6009 0.6302 0.6609 0.6930 0.7268 0.7622 0.7993 0.8382 0.8790

11 0.5730 0.6009 0.6302 0.6609 0.6930 0.7268 0.7622 0.7993 0.8382 0.8790

12 0.5730 0.6009 0.6302 0.6609 0.6930 0.7268 0.7622 0.7993 0.8382 0.8790

13 48.1316 50.4756 52.9337 55.5116 58.2150 61.0501 64.0232 67.1412 70.4109 73.8399

;

Modelo matemático en AMPL

# CONJUNTOS

param T > 0; # Horizonte de planificación (periodos)

param E > 0; # Número de edades

param N > 0; # Número de nutrientes

# PARÁMETROS

param FMI >= 0; # Número de fresas de la cama (capacidad fija)

param CPEST >= 0; # Costo unitario de pesticida

param VUC {1..T}; # Precio unitario de cormo en t

param NCE {1..E}; # Cormos esperados por planta de edad e

param CCE {1..E}; # Cormelos esperados por planta de edad e

param TM {1..E}; # Tasa de muerte por edad e

```

param CUN {1..N,1..T,1..E};    # Costo unitario nutriente n en t para edad e

param CRU {1..T,1..E};        # Costo unitario de reemplazo por planta de edad e en t

```

```

# Variables

```

```

var PF {1..T,1..E} >= 0; # Número de fresas al inicio del periodo t, edad e

```

```

var PSV {1..T,1..E} >= 0; # Sobrevivientes en el periodo t de edad e

```

```

var CGC {1..T}    >= 0; # Cormos producidos en t

```

```

var CPC {1..T}    >= 0; # Cormelos producidos en t

```

```

#Revisa por que funciona

```

```

var R {1..T} binary; # Decisión de renovación: 1 si se renueva la cama al pasar de t a t+1

```

```

#

```

var REP {1..T,1..E} >= 0; # Plantas reemplazadas (para calcular costo de reemplazo)

var COS {1..T} >= 0; # Costo nutrición

var GAN {1..T} >= 0; # Ingresos

var CTP {1..T} >= 0; # Costo pesticidas

var CRT {1..T} >= 0; # Costo de reemplazo

# FUNCIÓN OBJETIVO

maximize BEN:

sum {t in 1..T} ( GAN[t] - COS[t] - CTP[t] - CRT[t] );

# INGRESOS

s.t. Gan\_fin {t in 1..T}:

GAN[t] = VUC[t] \* ( CGC[t]+CPC[t] );

# Grupo costos

#Costos de nutricion por periodo

s.t. Costo\_nutricion {t in 1..T}:

$$\text{COS}[t] = \sum \{n \text{ in } 1..N, e \text{ in } 1..E\} \text{CUN}[n,t,e] * \text{PF}[t,e];$$

#Costo de los pesticidas

s.t. Costo\_pesticidas {t in 1..T}:

$$\text{CTP}[t] = \sum \{e \text{ in } 1..E\} \text{PF}[t,e] * \text{CPEST};$$

# Costo de reemplazo: se cobra por plantas reemplazadas REP[t,e]

s.t. Costo\_reemplazo {t in 1..T}:

$$\text{CRT}[t] = \sum \{e \text{ in } 1..E\} \text{CRU}[t,e] * \text{REP}[t,e];$$

# PRODUCCIÓN

s.t. Cormos\_Prod {t in 1..T}:

$$CGC[t] = \sum \{e \text{ in } 1..E\} NCE[e] * PSV[t,e];$$

s.t. Cormelos\_Prod {t in 1..T}:

$$CPC[t] = \sum \{e \text{ in } 1..E\} CCE[e] * PSV[t,e];$$

# SOBREVIVENCIA

s.t. Fre\_viv {t in 1..T, e in 1..E}:

$$PSV[t,e] = PF[t,e] * (1 - TM[e]);$$

# Inicio del modelo

s.t. PF\_inicial\_edad1:

$$PF[1,1] = FMI;$$

s.t.  $PF\_inicial\_otras\_edades \{e \text{ in } 2..E\}$ :

$$PF[1,e] = 0;$$

# TRANSICIÓN DE EDADES Y RENOVACIÓN TODO-O-NADA

#Entonces, mejor aplicar un configurador de avance con base en envolventes

s.t.  $Avance\_edades\_lb \{t \text{ in } 1..T-1, e \text{ in } 1..E-1\}$ :

$$PF[t+1, e+1] \geq PSV[t,e] - FMI * R[t];$$

s.t.  $Avance\_edades\_ub1 \{t \text{ in } 1..T-1, e \text{ in } 1..E-1\}$ :

$$PF[t+1, e+1] \leq PSV[t,e];$$

s.t.  $Avance\_edades\_ub2 \{t \text{ in } 1..T-1, e \text{ in } 1..E-1\}$ :

$$PF[t+1, e+1] \leq FMI * (1 - R[t]);$$

# Reposición / renovación de la cama completa:

# si  $R[t] = 1 \Rightarrow PF[t+1,1] = FMI$

# si  $R[t] = 0 \Rightarrow PF[t+1,1] = 0$  (no hay plantas nuevas de edad 1)

# Las plantas que siguen vivas ya están en  $PF[t+1,e+1]$ .

s.t. Pobl\_reen  $\{t \text{ in } 1..T-1\}$ :

$PF[t+1,1] = FMI * R[t];$

# PLANTAS REEMPLAZADAS (REP) Y COSTO DE REEMPLAZO

#  $REP[t,e] = PF[t,e]$  si se renueva en  $t$  ( $R[t]=1$ ); 0 en caso contrario.

# Lo que permite calcular  $CRT[t]$  de manera lineal.

s.t. REP\_le\_PF  $\{t \text{ in } 1..T, e \text{ in } 1..E\}$ :

$REP[t,e] \leq PF[t,e];$

s.t. REP\_on\_if\_R  $\{t \text{ in } 1..T-1, e \text{ in } 1..E\}$ :

$REP[t,e] \leq FMI * R[t];$

s.t. REP\_eq\_if\_R\_lb  $\{t \text{ in } 1..T-1, e \text{ in } 1..E\}$ :

$REP[t,e] \geq PF[t,e] - FMI * (1 - R[t]);$

Ejecutor del modelo

reset;

```
model MTDpes.mod;
```

```
data MTDpes.dat;
```

```
option solver Cplex;
```

```
solve;
```

```
display BEN, PF, PSV;
```

```
display R;
```

Archivo contenedor parámetros por escenarios

#cantidad de cormos esperados, caso base

```
param NCE:=
```

1 3

2 3

3 3

4 2

5 2

6 2

7 2

8 1

9 1

10 1

;

#Cantidad de cormelos esperados para la edad e, caso base

param CCE:=

1 8

2 8

3 7

4 7

5 6

6 6

7 5

8 5

9 4

10 4

;

#caso desfavorable

#Cormos esperados para la edad e

param NCE:=

1 2

2 2

3 2

4 2

5 2

6 2

7 2

8 1

9 1

10 1

;

#caso desfavorable

#Cantidad de cormelos esperados para la edad e

param CCE:=

1 6

2 6

3 5

4 5

5 5

6 4

7 4

8 3

9 3

10 3

;

#caso favorable

#Cormos esperados para la edad e

param NCE:=

1 4

2 4

3 3

4 3

5 3

6 2

7 2

8 2

9 1

10 1

;

#caso favorable

#Cantidad de cormelos esperados para la edad e

param CCE:=

1 10

2 10

3 10

4 9

5 8

6 7

7 6

8 5

9 4

10 4

;

#paraa caso base

#Tasa de muerte e

param TM :=

1 0.03

2 0.06

3 0.08

4 0.10

5 0.11

6 0.12

7 0.14

8 0.17

9 0.20

10 0.27

;

#para ICC=0,1

param TM :=

1 0.011

2 0.399

3 0.635

4 0.779

5 0.865

6 0.918

7 0.950

8 0.970

9 0.982

10 0.989

;

#para ICC=0,2

param TM :=

1 0.025

2 0.351

3 0.568

4 0.712

5 0.809

6 0.873

7 0.915

8 0.944

9 0.962

10 0.975

;

#para ICC=0,3

param TM :=

1 0.186

2 0.413

3 0.577

4 0.695

5 0.780

6 0.841

7 0.886

8 0.918

9 0.941

10 0.957

;

#N=100

param TM :=

1 0.010

2 0.406

3 0.643

4 0.786

5 0.872

6 0.923

7 0.954

8 0.972

9 0.983

10 0.990

;

#precio cormo del periodo t base

param VUC :=

1 416

2 436

3 458

4 480

5 503

6 528

7 553

8 580

9 609

10 638

;

#precio con 10% positivo

param VUC :=

1 416

2 458

3 503

4 554

5 609

6 670

7 737

8 811

9 892

10 981

;

#e 6% positivo

param VUC :=

1 416

2 441

3 467

4 495

5 525

6 557

7 590

8 626

9 663

10 703

;

#tasa decrecimiento al 6%

param VUC:=

1 416

2 391

3 368

4 346

5 325

6 305

7 287

8 270

9 254

10 238

;

# tasa decrecimiento al 10%

param VUC :=

1 416

2 374

3 337

4 303

5 273

6 246

7 221

8 199

9 179

10 161

;

# tasa decrecimiento al 4,87%

param VUC :=

1 416

2 396

3 376

4 358

5 341

6 324

7 308

8 293

9 279

10 265

;

## REFERENCIAS

- ¡EduNote. (s.f.). *Implementación de la función de calidad*. Obtenido de <https://www.iedunote.com/es/despliegue-de-la-funcion-de-calidad>
- Abdel-Fattah, I. M., Attia, E. A., & El-Banna, G. M. (2020). Irrigation Scheduling and Its Impacts on Freesia-Water Productivity, Vegetative and Flowering Parameters under Greenhouse Cultivation. *Environment, Biodiversity & Soil Security*, 59-71.
- AIEM. (Marzo de 2018). *CLASIFICACIÓN DE MADERAS SEGÚN SU DENSIDAD*. Obtenido de <https://www.aeim.org/index.php/clasificacion-de-maderas-comerciales-segun-sus-caracteristicas/>
- Akhink A. Hassan, M. T. (5 de Febrero de 2025). Impact of Duration Microwave Radiation Intensity and Growth Media on Morphological and Yield characteristics of (Freesia hybrida) plants production. 54(2), 3735-3752. Obtenido de <https://cuestionesdefisioterapia.com/index.php/es/article/view/1482/1126>
- Ali, W. N., Hammo, Y. H., Kako, S. M., & Naaman, Z. S. (Febrero de 2025). COMPARATIVE STUDY OF FREESIA (FREESIA HYBRID L.) VARIETAL RESPONSE TO NPK FERTILIZER AND 2, 4-DICHLOROPHENOXYACETIC ACID UNDER THE KURDISTAN CLIMATE CONDITIONS. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 158(2), 84-89.
- Alianza B@UNAM. (30 de Diciembre de 2023). *Progresión Aritmética*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2025, de Alianza B@UNAM, CCH & ENP ante la pandemia: <https://alianza.bunam.unam.mx/enp/progresion-aritmetica>
- ALIBABA. (s.f.). *ALIBABA*. Obtenido de [https://www.alibaba.com/product-detail/FFF-0-5-Best-selling-fire\\_11000003225962.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_title.166a13a0gj8DUE](https://www.alibaba.com/product-detail/FFF-0-5-Best-selling-fire_11000003225962.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.166a13a0gj8DUE)
- ALIBABA. (s.f.). *ALIBABA*. Obtenido de [https://www.alibaba.com/product-detail/3-AFFF-Foam-Concentrate-Best-selling\\_11000002939954.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_title.773a13a018LuC7](https://www.alibaba.com/product-detail/3-AFFF-Foam-Concentrate-Best-selling_11000002939954.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.773a13a018LuC7)
- Andess Chile. (s.f.). *El agua potable en Chile cuesta entre \$1 y \$2 por litro*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2025, de Andess Chile: <https://www.andess.cl/el-agua-potable-en-chile-cuesta-entre-1-y-2-por-litro/>
- Antognelli, S. (15 de Diciembre de 2022). Rotación de cultivos: aplicaciones y consejos. Obtenido de <https://www.agricolus.com/es/rotacion-de-cultivos-aplicaciones-y-consejos/>
- Azcón-Bieto, J., & Talon, M. (2000). *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (Vol. II). Madrid, España: Universidad de Barcelona y McGraw-Hill. Recuperado el 4 de Octubre de 2025, de <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcón.pdf>
- Banco Central de Chile. (s.f.). *Indicadores diarios*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2025, de Banco Central de Chile: <https://www.bancochile.cl/indicadores-diarios>

- dQBvAGQARwBQAGUARQBvAG0ASwB4AEQAbABTAGgARgAxAGUAQgBxAHkA  
cwA5AG8ARQAzAGgAMQBPAFQARgBSAEwASABZAE0ARgBKAFoAMwBmAHYA  
TgBoAGMANQBpAE8ANwBFAGMAJAA
- Banco de Bogotá. (s.f.). *Tipos de tasas de interés*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2025, de Banco de Bogotá: <https://www.bancodebogota.com/educacion-financiera/creditos/tipos-de-tasas-de-interes#:~:text=Para%20saber%20cuál%20es%20la,o%20número%20de%20períodos%20compuestos>.
- Banco Santander. (s.f.). *¿Qué es el tipo de interés?* Recuperado el 27 de Noviembre de 2025, de Santander: <https://www.bancosantander.es/glosario/tipo-de-interes>
- BBC Gardeners. (2 de Agosto de 2022). How to grow freesias. *BBC Gardeners' World Magazine*. Obtenido de <https://www.gardenersworld.com/how-to/grow-plants/how-to-grow-freesias/>
- Bergstra, J., & Bengio, Y. (2 de Diciembre de 2012). Random Search for Hyper-Parameter Optimization. *Journal of Machine Learning Research*, 281-305. Recuperado el 14 de Noviembre de 2025, de <https://www.jmlr.org/papers/volume13/bergstra12a/bergstra12a.pdf>
- Black, B. (4 de Febrero de 2019). *Interaction Between the Secondary Nutrients: Calcium, Magnesium and Sulfur*. Obtenido de Omex: <https://omexcanada.com/blog/interaction-between-secondary-nutrients-calcium-magnesium-sulfur>
- Bookdown. (s.f.). *The Beta Distributio*. Obtenido de Bayesian Statistics the Fun Way: <https://bookdown.org/pbaumgartner/bayesian-fun/05-beta-distribution.html>
- Bowden, A., M. DelPrince, J., Knight, P., & Coker, C. (s.f.). *Freesia (Freesia × hybrida) for the Farmer Florist*. Obtenido de Mississippi Estate University: <https://extension.msstate.edu/publications/freesia-freesia-hybrida-for-the-farmer-florist>
- Bressoux, P. (2020). Using multilevel models is not just a matter of statistical adjustment. Illustrations in the educational field. *L'année psychologique/Topics in Cognitive Psychology*, 120, 5-38. Recuperado el 13 de Octubre de 2025, de <https://shs.cairn.info/revue-l-annee-psychologique-2020-1-page-5?lang=en&tab=cites-par>
- Brooke, A. (1 de Abril de 2025). Modelling Inflation. *Financial Edge*. Obtenido de <https://www.fe.training/free-resources/project-finance/modelling-inflation/>
- Brücher, A. (25 de Abril de 2024). *¿Cómo se calcula el IPC en Chile?* Obtenido de holdo: <https://www.holdo.cl/blog/ipc/que-es-ipc#:~:text=¿Para%20qué%20sirve%20el%20IPC,dinero%20está%20sufriendo%20una%20devaluación>.
- Bussines Research Insight. (04 de Agosto de 2025). *Flower and Ornamental Plants Market Size, Share, Growth, And Industry Analysis By Type (Potted Plants and Cut Flowers) By Application (Home and Commercial), Regional Forecast To 2033*. Obtenido de <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/flower-and-ornamental-plants-market-103548>
- Bybee-Finley, K., Muller, K., White, K., Cavigelli, M., Han, E., Schomberg, H., . . . Bowles, T. (2024). Rotational complexity increases cropping system output under poorer growing conditions. *One Earth*, 7(9), 1638-1654. doi:<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.07.008>.
- Caixeta-Filho, J. V., Van Swaay-Neto, J. M., & Lopes, R. L. (Noviembre-Diciembre de 2000). Linear programming applied to the flower sector: a Gladiolus bulb production case study. *International Transactions in Operational Research*, 7(6), 525-537. doi:10.1111/j.1475-3995.2000.tb00215.x
- Caixeta-Filho, J. V., van Swaay-Neto, J. M., & Wagemaker, A. d. (Enero-Febrero de 2002). Optimization of the Production Planning and Trade of Lily Flowers at Jan de Wit Company. *Interfaces*, 32(1), 35-46. Recuperado el 11 de Abril de 2025
- CENTRO DE ABASTECIMIENTO (T) (ADQ). (s.f.). *Adquisición de espuma afff, Orden de Compra generada por invitación a compra ágil*. Obtenido de

- <https://www.mercadopublico.cl/PurchaseOrder/Modules/PO/DetailsPurchaseOrder.aspx?q=O/H7+44LHuG5r9VCgobndw==>
- Centro de Modelamiento Matemático. (s.f.). *Apuntes Unidad 3 Variable aleatoria y función de probabilidad*. Recuperado el 11 de Octubre de 2025, de Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile:  
[https://static.sumaysigue.uchile.cl/disponibilizacion\\_aula360/PYE/U3%20-%20Situaciones%20o%20fenómenos%20que%20se%20modelan%20por%20medio%20de%20las%20distribuciones%20binomial%20y%20normal\\_/T1%20-%20Conceptos%20fundamentales%20de%20probabilidad/C2%20-%20](https://static.sumaysigue.uchile.cl/disponibilizacion_aula360/PYE/U3%20-%20Situaciones%20o%20fenómenos%20que%20se%20modelan%20por%20medio%20de%20las%20distribuciones%20binomial%20y%20normal_/T1%20-%20Conceptos%20fundamentales%20de%20probabilidad/C2%20-%20)
- Chandel, A., Thakur, M., Rakwal, A., Chauhan, S., & Bhargava, B. (2023). Exogenous applications of gibberellic acid modulate the growth, flowering and longevity of calla lily. *Heliyon*, 1-12. Recuperado el 28 de Noviembre de 2025, de  
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10208936/pdf/main.pdf>
- Chaudhary, T. (2025). *Global Flower And Ornamental Plants Market Overview*. Market Research Future. Market Research Future. Recuperado el 22 de Agosto de 2025, de  
<https://www.marketresearchfuture.com/reports/flower-and-ornamental-plants-market-23214>
- ChileTrabajos. (2024). *Salario o sueldo promedio de asistente comercial*. Obtenido de  
<https://www.chiletrabajos.cl/sueldos/asistente/comercial>
- Comisión para el Mercado Financiero. (s.f.). *Es un indicador que sirve para calcular mensualmente la evolución de la inflación*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2025, de Educa: Portal de educación financiera: <https://www.cmfchile.cl/educa/621/w3-article-27462.html>
- Contreras, P., Faini, F., & Rojas, M. C. (Junio de 2001). OBTENCION Y SEPARACION DE GIBERELINAS LACTONICAS PRODUCIDAS POR EL HONGO GIBBERELLA FUJIKUROI PARA USARLAS COMO ESTANDARES CROMATOGRAFICOS. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*, 46(2). doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0366-16442001000200014>
- Cooprisem. (29 de Noviembre de 2025). *Sulfato De Cobre 25 Kgs*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2025, de Cooprisem: <https://cooprinsem.cl/nutricion-animal/3069-sulfato-de-cobre-25-kgs.html#:~:text=Sulfato%20De%20Cobre%2025%20Kgs,Chatea%20con%20Nosotros>
- Copeval. (29 de Noviembre de 2025). *Fertilizante Ácido Bórico Soluble 25 kg*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2025, de Copeval: [https://copeval.cl/fertilizante-cido-brico-soluble-25-kg/?srsltid=AfmBOorkaX1oAWsHYoNcKOEoXExvY3MZ293wUmwvQALDP2Lvheo\\_VIPp#:~:text=Fertilizante%20Ácido%20Bórico%20Soluble%2025,560%20%3B](https://copeval.cl/fertilizante-cido-brico-soluble-25-kg/?srsltid=AfmBOorkaX1oAWsHYoNcKOEoXExvY3MZ293wUmwvQALDP2Lvheo_VIPp#:~:text=Fertilizante%20Ácido%20Bórico%20Soluble%2025,560%20%3B)
- Copeval. (25 de Noviembre de 2025). *Fertilizante Copeval Nitrato de calcio soluble 25 kg*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2025, de Copeval: [https://copeval.cl/fertilizante-copeval-nitrato-de-calcio-soluble-25-kg/?srsltid=AfmBOoohW2Vjls075VCbALLs\\_BBgxIUfaqo1992nqYy3F3vLqppjphN#:~:te xt=Fertilizante%20Copeval%20Nitrato%20de%20calcio,700%20%3B](https://copeval.cl/fertilizante-copeval-nitrato-de-calcio-soluble-25-kg/?srsltid=AfmBOoohW2Vjls075VCbALLs_BBgxIUfaqo1992nqYy3F3vLqppjphN#:~:te xt=Fertilizante%20Copeval%20Nitrato%20de%20calcio,700%20%3B)
- Copeval. (29 de Noviembre de 2025). *Fertilizante Copeval Sulfato de magnesio soluble 25 kg*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2025, de Copeval: [https://copeval.cl/fertilizante-copeval-sulfato-de-magnesio-soluble-25-kg/?setCurrencyId=1&sku=29010&gad\\_source=1&gad\\_campaignid=23300587104&gclid=Cj0KCQiA0KrJBhCOARIsAGIy9wDhhZMrVBo-KrsIYijJSEy9bG8GDilXza8\\_InpTkywDULZ3jeSKEv8aAhhBEALw\\_wcB](https://copeval.cl/fertilizante-copeval-sulfato-de-magnesio-soluble-25-kg/?setCurrencyId=1&sku=29010&gad_source=1&gad_campaignid=23300587104&gclid=Cj0KCQiA0KrJBhCOARIsAGIy9wDhhZMrVBo-KrsIYijJSEy9bG8GDilXza8_InpTkywDULZ3jeSKEv8aAhhBEALw_wcB)
- Copeval. (29 de Noviembre de 2025). *Fertilizante Copeval Sulfato de zinc soluble 25 kg*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2025, de Copeval: [https://copeval.cl/fertilizante-copeval-sulfato-de-zinc-soluble-25-kg/?srsltid=AfmBOor3WOMD\\_6mjvS3IVN4HgyxKos2-ab0lIAO4YK0m0wGae\\_6PVQYS#:~:text=Fertilizante%20Copeval%20Sulfato%20de%20zinc,600%20%3B](https://copeval.cl/fertilizante-copeval-sulfato-de-zinc-soluble-25-kg/?srsltid=AfmBOor3WOMD_6mjvS3IVN4HgyxKos2-ab0lIAO4YK0m0wGae_6PVQYS#:~:text=Fertilizante%20Copeval%20Sulfato%20de%20zinc,600%20%3B)
- Copeval. (29 de Noviembre de 2025). *Fertilizante Copeval Sulfato de zinc soluble 25 kg*.

- Recuperado el 29 de Noviembre de 2025, de Copeval: [https://copeval.cl/fertilizante-copeval-sulfato-de-zinc-soluble-25-kg/?srsltid=AfmBOOr3WOMD\\_6mjvS3IVN4HgyxKos2-ab0lIAO4YK0m0wGae\\_6PVQYS#:~:text=Fertilizante%20Copeval%20Sulfato%20de%20zinc,600%20%3B](https://copeval.cl/fertilizante-copeval-sulfato-de-zinc-soluble-25-kg/?srsltid=AfmBOOr3WOMD_6mjvS3IVN4HgyxKos2-ab0lIAO4YK0m0wGae_6PVQYS#:~:text=Fertilizante%20Copeval%20Sulfato%20de%20zinc,600%20%3B)
- Copeval. (29 de Noviembre de 2025). *Fitorregulador Anasac Giberplus 2.0 5 l*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2025, de Copeval: [https://copeval.cl/fitorregulador-anasac-giberplus-2.0-5-l/?srsltid=AfmBOOqeESakLzP5LCtfUZTF1sSJw8XFM4G\\_q38jRcNSGWrnMpAowBSh](https://copeval.cl/fitorregulador-anasac-giberplus-2.0-5-l/?srsltid=AfmBOOqeESakLzP5LCtfUZTF1sSJw8XFM4G_q38jRcNSGWrnMpAowBSh)
- Copeval. (29 de Noviembre de 2025). *Fungicida Quimetal Azufre landia 350 25 kg*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2025, de Copeval: <https://copeval.cl/fungicida-quimetal-azufre-landia-350-25-kg/?srsltid=AfmBOOq28D2Id9wEZmw2Uywe4bJZnZweWOOj5aYq3vLg56GcizrufidE#:~:text=Fungicida%20Quimetal%20Azufre%20landia%20350,520%20%3B>
- Díaz, N. (26 de Abril de 2024). *Estas son las 5 empresas que más contaminan por producción de plástico en el mundo*. Obtenido de BIO-BIO Chile: <https://www.biobiochile.cl/noticias/servicios/toma-nota/2024/04/26/estas-son-las-5-empresas-que-mas-contaminan-por-produccion-de-plastico-en-el-mundo.shtml>
- Díaz, N. (26 de Abril de 2024). *Estas son las 5 empresas que más contaminan por producción de plástico en el mundo*. Obtenido de BIO-BIO Chile: <https://www.biobiochile.cl/noticias/servicios/toma-nota/2024/04/26/estas-son-las-5-empresas-que-mas-contaminan-por-produccion-de-plastico-en-el-mundo.shtml>
- Dolar Online. (29 de Noviembre de 2025). *Valor Dólar Hoy*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2025, de Dolar Online: <https://www.dolaronline.cl>
- Dutch-Bulbs. (2019). *Guía de la fresia: cultivo eficaz, cuidados, poda y mucho más*. Obtenido de <https://blog.dutch-bulbs.com/es/guia-de-la-fresia-cultivo-eficaz-cuidados-poda-y-muchomas/>
- EOS Data Analytics. (s.f.). Cultivo De Avena: Condiciones Y Cuidados Necesarios. Obtenido de <https://eos.com/es/blog/cultivo-de-avena/#:~:text=El%20desarrollo%20del%20cultivo%20de,humedad%20relativa%20y%20precipitaciones%20regulares>.
- Epidat. (Octubre de 2014). *DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2025, de Epidat: [https://www.sergas.es/Saude-publica/Documents/1899/Ayuda\\_Epidat\\_4\\_Distribuciones\\_de\\_probabilidad\\_Octubre2014.pdf](https://www.sergas.es/Saude-publica/Documents/1899/Ayuda_Epidat_4_Distribuciones_de_probabilidad_Octubre2014.pdf)
- Epidat. (Octubre de 2014). *Epidat 4: Ayuda de Distribuciones de probabilidad*. Obtenido de Distribuciones De Probabilidad: [https://www.sergas.es/Saude-publica/Documents/1899/Ayuda\\_Epidat\\_4\\_Distribuciones\\_de\\_probabilidad\\_Octubre2014.pdf](https://www.sergas.es/Saude-publica/Documents/1899/Ayuda_Epidat_4_Distribuciones_de_probabilidad_Octubre2014.pdf)
- FaCENA. (s.f.). *TEMA 26. MUERTE CELULAR PROGRAMADA. SENESCENCIA Y ABSCISIÓN*. Recuperado el 6 de Septiembre de 2025, de FaCENA Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura: <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Muerte%20celular%20programada%20senescencia%20y%20abscision.pdf>
- Flores, N. (30 de Marzo de 2023). *Six sigma: todo lo que debes saber para aplicarla*. Obtenido de <https://blog.maestriasydiplomados.tec.mx/six-sigma-todo-lo-que-debes-saber-para-aplicarla>
- Flores, T. (6 de Agosto de 2018). Derechos de agua: hasta \$68 millones puede costar el litro por segundo en Chilo. *La tercera*. Obtenido de [www.latercera.com/pulso/noticia/derechos-agua-68-millones-puede-costar-litro-segundo-chile/270548/](http://www.latercera.com/pulso/noticia/derechos-agua-68-millones-puede-costar-litro-segundo-chile/270548/)
- Forestal Maderero . (28 de Octubre de 2016). *Tabla de Densidad de maderas*. Obtenido de <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/tabla-de-densidad-de-maderas.html>
- Fuentes Molina, O., Causa Ureta, K., & Soto Núñez, S. (Marzo de 2024). *Avena: síntesis de*

- resultados temporada 2022/23, perspectivas 2023/24 y análisis implementación Reglamento Transacciones Comerciales para la Avena. Recuperado el 27 de abril de 2025, de <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/73260/ArticuloAvena032024.pdf>
- Garden Cultura. (1 de Octubre de 2020). *Fresia*. Obtenido de <https://www.gardencultura.com/flores-de-jardin/fresia/>
- Global Grown Insight. (2025). *Flower and Ornamental Plants Market Size, Share, Growth, and Industry Analysis, By Types (Live and Potted Plants, Fresh Cut Flowers), By Applications Covered (Brick and Mortar Stores Retail, E-commerce) and Regional Forecast to 2033*. Global Grown Insight. Global Grown Insight.
- GoldBio. (24 de Junio de 2014). *Physical Differences between Gibberellins GA3, GA4 and GA7*. Obtenido de GoldBio Gold Biotechnology: <https://goldbio.com/uploads/documents/8b643efc99df1595fddc37f046ba71b0.pdf>
- González U., W. G. (1987). PAUTAS PARA LA MEDICION Y CLASIFICACION DE LOS CORMELOS EN ARACEAS COMESTIBLES (*Colocasia esculenta* (L.) Schott y *Xanthoxomas* spp.). *Boletin Tecnico*, 20. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10669/78676>
- González, M. (2020). *Incendios en Chile: Causas, Impacto y Resiliencia*. Obtenido de <https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2020/01/Informe-CR2-IncendiosforestalesenChile.pdf>
- Grupo Altrac. (2022). Evolución de las herramientas agrícolas. Obtenido de <https://www.altrac.es/evolucion-herramientas-agricolas-antiguas-y-modernas/>
- Grupo Bárymont. (14 de Agosto de 2025). *IPC: calcular la actualización*. Obtenido de Grupo Bárymont: <https://www.barymont.com/blog/fiscalidad/actualizacion-ipc-como-se-calcula#:~:text=Para%20hacer%20el%20cálculo%20hay,el%20nuevo%20sueldo%20de%20Laura>
- Grupo Semillas. (27 de Abril de 2022). Una breve historia de los orígenes de la agricultura, la domesticación y la diversidad de los cultivos. 11. Obtenido de [una-breve-historia-de-los-origenes-de-la-agricultura-la-domesticacion-y-la-diversidad-de-los-cultivos.pdf](https://www.gruposemillas.com/una-breve-historia-de-los-origenes-de-la-agricultura-la-domesticacion-y-la-diversidad-de-los-cultivos.pdf)
- H. Zou, K., & T. Normand, S.-L. (28 de Junio de 2001). On determination of sample size in hierarchical binomial models. *STATISTICS IN MEDICINE*, 20(14), 2163–2182. doi:<https://doi.org/10.1002/sim.855>
- Haifa. (s.f.). *A complete fertilization program for gladiolus*. Obtenido de Haifa: <https://www.haifa-group.com/complete-fertilization-program-gladioli#:~:text=How%20to%20grow%20gladiolus%20with,200%20mm%20in%20winter>
- Halweb. (s.f.). *Capítulo 3: El Modelo Beta-Binomial*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2025, de TEMA 5: INFERENCIA SOBRE PROPORCIONES: [https://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/LibroElec/Tema6/b\\_binomial.htm](https://halweb.uc3m.es/esp/Personal/personas/jmmarin/esp/LibroElec/Tema6/b_binomial.htm)
- Hansen, J. (s.f.). *Atraiga a los polinizadores, como abejas, aves y mariposas hacia su jardín*. Obtenido de <https://www.gardentech.com/es/blog/garden-and-lawn-protection/gardening-for-bees-birds-and-butterflies#:~:text=Los%20polinizadores%20también%20tienen%20preferencias,y%20tubos%20de%20néctar%20cortos.&text=Las%20flores%20tubulares%20con%20forma,nativas%20de>
- Hernández Vallecillo, G. A., Gutiérrez Castorena, M. D., Barragán Maravilla, S. M., Ángeles Cervantes, E. R., Gutiérrez Castorena, E. V., & Ortiz Solari, C. A. (s.f.). La mineralogía en la estimación de las temperaturas de los incendios forestales y sus efectos inmediatos en Andosoles, Estado de México. *Madera y bosques*, 26(1). doi:<https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611932>
- Hughes, G., & Maiden, L. (1993). Using the Beta-Binomial Distribution to Describe Aggregated

- Patterns of Disease Incidence. doi:<https://doi.org/10.1094/Phyto-83-759>
- Huijser, P., & Schmid, M. (2011). The control of developmental phase transitions in plants. *Development*, 138(19), 4117-4129. doi:10.1242/dev.063511
- Iberdrola. (s.f.). La evolución de la población mundial y su impacto en el futuro del planeta. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/evolucion-poblacion-mundial#:~:text=En%20el%20siglo%20XIX%20la,económicos%20propiciaron%20este%20crecimiento%20exponencial>.
- Idealista. (4 de Abril de 2023). *El mercado de las flores mueve millones de dólares, con Países Bajos en cabeza*. Obtenido de Idealista: <https://www.idealista.com/news/inmobiliario/internacional/2023/04/04/805277-el-mercado-de-las-flores-mueve-millones-de-dolares-con-paises-bajos-en-cabeza>
- Index Mundi. (Junio de 2025). *Potassium Chloride Monthly Price - US Dollars per Metric Ton*. Obtenido de Index Mundi: <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=potassium-chloride>
- Infante, J. M. (20 de agosto de 2019). *Guioteca*. Obtenido de <https://www.guioteca.com/viajes-por-chile/lonquimay-la-magia-de-un-bosque-milenario-de-araucarias/>
- Instituto de Desarrollo Agropecuario. (2024). *Fichas Técnicas*. Obtenido de Ministerio de Agricultura: <https://www.indap.gob.cl/fichas-tecnicas>
- Intagri. (s.f.). *Sistema de Riego por Goteo*. Recuperado el 29 de Abril de 2025, de Intagri: <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/sistema-de-riego-por-goteo#:~:text=El%20riego%20por%20goteo%20evita,el%20follaje%2C%20tallos%20o%20frutos>.
- Intituto de Salud Pública. (2022). *Boletín de registro de plaguicidas de uso sanitario y doméstico Chile, 2019-2021*. Obtenido de [https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2022/04/BoletinRegistroPlaguicidas\\_30marzo2022-1.pdf](https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2022/04/BoletinRegistroPlaguicidas_30marzo2022-1.pdf)
- Ito, A., Sakamoto, D., Itai, A., Nishijima, T., Oyama-Okubo, N., Nakamura, Y., . . . Nakajima, I. (2016). Effects of GA3+4 and GA4+7 Application Either Alone or Combined with. *the Japanese Society for Horticultural Science*, 85(3), 201–208. doi:10.2503/hortj.MI-107
- J. Gaffney, et al. (2019). Global Food Security. *ScienceDirect*.
- J. Gaffney, et al. (2019). Science-based intensive agriculture: Sustainability, food security, and the role of technology. *ScienceDirect*.
- Jansen, K., & Holling, H. (19 de Julio de 2023). Rare events meta-analysis using the Bayesianbeta-binomial model. *Research Synthesis Method Wiley*, 853-873. doi:10.1002/jrsm.1662
- Jawaharlal, M., & Padmadevi, K. (s.f.). Balanced Fertilization for Important Cut Flower Crops . *Department of Floriculture & Landscaping*, 128-141. Obtenido de [https://www.haifa-group.com/sites/default/files/2024-03/Balanced%2520fertilization%2520for%2520rose%252C%2520carnation%252C%2520anthurium%252C%2520chrysant%252C%2520gerbera%252C%2520gladiolus%252C%2520orchid%252C%2520Kumar%252C%2520India.pdf#:~:text=Iron%](https://www.haifa-group.com/sites/default/files/2024-03/Balanced%2520fertilization%2520for%2520rose%252C%2520carnation%252C%2520anthurium%252C%2520chrysant%252C%2520gerbera%252C%2520gladiolus%252C%2520orchid%252C%2520Kumar%252C%2520India.pdf#:~:text=Iron%20)
- Kaiser, B. N., Gridley, K. L., Brady, J. N., Phillips, T., & Tyreman, S. D. (20 de Julio de 2005). The Role of Molybdenum in Agricultural Plant Production. *Annals of Botany*, 96, 745-754. doi:doi:10.1093/aob/mci226
- Kentelky, E., & Szekely-Varga, Z. (20 de Septiembre de 2021). Impact of Foliar Fertilization on Growth, Flowering, and Corms Production of Five Gladiolus Varieties. *Plants*, 10(9), 1-11. doi:<https://doi.org/10.3390/plants10091963>
- Khattak, M., Ul Amin, N., & Azim Khan, M. (2011). RESPONSE OF FREESIA CULTIVARS TO DIFFERENT GROWING MEDIA UNDER PESHAWAR CONDITIONS. *Sarhad Journal of Agriculture*, 27(1), 44-49. Recuperado el 5 de Septiembre de 2025, de [https://www.researchgate.net/publication/281740348\\_RESPONSE\\_OF\\_FREESIA\\_CULTIVARS\\_TO\\_DIFFERENT\\_GROWING\\_MEDIA\\_UNDER\\_PESHAWAR\\_CONDITIONS](https://www.researchgate.net/publication/281740348_RESPONSE_OF_FREESIA_CULTIVARS_TO_DIFFERENT_GROWING_MEDIA_UNDER_PESHAWAR_CONDITIONS)

- KISTLER. (s.f.). *Incertidumbre de medición*. Recuperado el 2024, de KISTLER:  
<https://www.kistler.com/ES/es/incertidumbre-de-medicion/C00000124>
- L.F.M. Marcelis, A. B. (2006). *Quantification of the Growth Response to Light Quantity of Greenhouse Grown Crops*. doi:10.17660/ActaHortic.2006.711.9
- Laborium. (s.f.). Obtenido de <https://cl.indeed.com/career/ejecutivo-comercial/salaries>
- León, F. (1974). El Reajuste por Inflación en las Operaciones Financieras. *Revista de Economía y Estadística*, 18(1-2-3-4), 9-31. Recuperado el 27 de Noviembre de 2025, de <http://revistas.unc.edu.ar/index.php/REyE/article/view/3697/>
- Longfield Gardens. (s.f.). *7 Tips for Growing and Using Gladiolus*. Recuperado el 27 de Junio de 2025, de Longfield Gardens: <https://www.longfield-gardens.com/blog/?p=7-tips-for-growing-gladiolus>
- Longfields Garden. (s.f.). *Your Guide to Planning, Planting, and Growing Freesias*. Recuperado el 29 de Mayo de 2025, de Longfields Garden: <https://www.longfield-gardens.com/article/all-about-freesia/>
- López, R. (30 de Junio de 2020). *Plaguicidas y salud, una historia en constante evolución*. Obtenido de Gaceta UNAM : <https://www.gaceta.unam.mx/plaguicidas-y-salud-una-historia-en-constante-evolucion/>
- López, J. F. (s.f.). *Variable aleatoria*. Recuperado el 8 de Marzo de 2024, de Rankia España: <https://www.rankia.com/diccionario/trading/variable-aleatoria>
- Manley Barber, M., De la Maza, L., & Ugalde, J. (s.f.). *REPORTE NACIONAL 2011 Día Internacional de la Limpieza de Playas*. Obtenido de [https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/09/Reporte\\_Nacional\\_2011.pdf](https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2015/09/Reporte_Nacional_2011.pdf)
- Manuel Saavedra & Asociados. (1999). *Situación comercial de ocho*. Centro Universitario de la Trapananda, Santiago. Obtenido de <https://bibliotecadigital.fia.cl/server/api/core/bitstreams/f66e3d7c-fcd1-45e6-a09a-4e4432a66f8f/content>
- Mares Limpios. (s.f.). *Limpieza de fondos marinos y playas*. Obtenido de <https://mareslimpios.cl/servicios/>
- Mares Limpios. (s.f.). *Limpieza de fondos marinos y playas*. Obtenido de <https://mareslimpios.cl/servicios/>
- Martínez Gómez, M., & Marí Benlloch, M. (2024). *Distribuciones de Probabilidad para Variables Aleatorias Discretas*. Recuperado el 9 de Marzo de 2025, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7942/Distribuciones%20de%20Probabilidad%20para%20V%20A%20discretas.pdf;jsessionid=9F469F263F9B4C48D831F55A2599F3A8?sequence=3>
- Martínez, J. (12 de Noviembre de 2019). *Medium*. Obtenido de Modelos Estocásticos: Teoría de Colas y Modelos de Markov: <https://medium.com/modelos-estocásticos-teoría-de-colas-y-modelos-de-markov-18c0100ad077>
- Martínez-Lagos, E. M. (2019). *Los micronutrientes del suelo*. INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS, INIA. Recuperado el 4 de Octubre de 2025, de <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/a9d1327d-0f98-405b-8db0-030abe299f0f/content>
- MedCalc. (s.f.). *Coefficiente de correlación intraclase*. Obtenido de MedCalc: <https://www.medcalc.org/es/manual/intraclass-correlation-coefficient.php>
- Meteoblue. (s.f.). *Windy.com*. Obtenido de Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para Cordillera Lonquimay : [https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/cordillera-lonquimay\\_chile\\_3882533](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/cordillera-lonquimay_chile_3882533)
- Minitab. (2024). *¿Qué son variables categóricas, discretas y continuas?* Recuperado el 2 de Marzo de 2025, de Minitab: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/statistical->

- modeling/regression/supporting-topics/basics/what-are-categorical-discrete-and-continuous-variables/
- Molinos, S. (9 de Diciembre de 2023). *La Jardinoteca*. Obtenido de Frecias: Cómo plantar, cuidar y reproducir: <https://jardineriaplantasyflores.com/fichas/fresias-como-plantar-cuidar-y-reproducir/>
- Mordor Intelligence. (2024). *Industria de las flores de los Países Bajos - Análisis de tamaño y participación - Tendencias y pronósticos de crecimiento (2024 - 2029)*. Obtenido de Mordor Intelligence: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/netherlands-floriculture-market>
- Moreno, A. M. (s.f.). *¿Qué son los macronutrientes y por qué son importantes para las plantas?* Recuperado el 29 de Agosto de 2025, de Hanna Instruments: <https://www.hannacolombia.com/blog/post/1223/que-son-los-macronutrientes-y-por-que-son-importantes-para-las-plantas?srsId=AfmBOooeeOUltGbtBpyo4yDd7GHZUSuSI3gjRuams8BKY7zkyLMjQO4a>
- Mosa, H. F., & Abdulrahman, Y. A. (23 de Octubre de 2022). RESPONSE OF FREESIA (FREESIA REFRECTA L.) PLANT TO DIFFERENT GROWTH MEDIA, CALCIUM CHLORIDE AND GIBBERELLIC ACID. *Journal of University of Duhok*, 25(2), 144-154. Recuperado el 17 de Noviembre de 2025
- Mundo Ingenieril. (17 de Octubre de 2024). *¿Qué es six sigma? | Definición y aplicaciones*. Obtenido de <https://mundoingenieril.com/que-es-six-sigma/>
- Municipalidad de Lonquimay. (2019). *PLAN REGULADOR COMUNAL DE LONQUIMAY*. Municipalidad de Lonquimay.
- NucleoJardin. (s.f.). *¿Cuánto cuesta instalar un sistema de riego por goteo?* Recuperado el 1 de Mayo de 2025, de NucleoJardin: <https://nucleojardin.com/cuanto-cuesta-instalar-un-sistema-de-riego-por-goteo>
- Pérez, E. G., Garay, Ó. J., Salazar, J. A., Santos, G. G., Morales, M. d., & Muñoz, J. J. (8 de Septiembre de 2011). Estudio del desarrollo, calidad de flor y dosis de fertilización en gladiolo. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 34(4), 277 - 283. doi:<https://doi.org/10.35196/rfm.2011.4.277>
- Perrett, J. J., & Higgins, J. J. (2006). A Method for Analyzing Unreplicated Agricultural Experiments. (C. S. America, Ed.) *CROP SCIENCE*, 46, 2482-2485. Recuperado el 23 de Octubre de 2025, de Oregon State University: <https://agsci.oregonstate.edu/sites/agscid7/files/cbarc/attachments/PerrettCropScience2482.pdf>
- Petruzzello., M. (8 de Abril de 2024). *Fressia*. Obtenido de Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/plant/freesia>
- Picture This. (31 de julio de 2024). *Descubre los Notables Beneficios de Freesia leichtlinii y Cómo Cultivarlo*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2024, de [https://www.picturethisai.com/es/benefits/Freesia\\_leichtlinii.html#:~:text=Control%20de%20Erosión,el%20paisaje%20de%20tu%20jardín](https://www.picturethisai.com/es/benefits/Freesia_leichtlinii.html#:~:text=Control%20de%20Erosión,el%20paisaje%20de%20tu%20jardín)
- Piovano, M. V., Pisi, G. E., & Francescangeli, N. (2016). *Guía práctica para el cultivo de Fresia*. Obtenido de [https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/INTADig\\_e1d5017fc9f500bd3e67193a17adcb16](https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/INTADig_e1d5017fc9f500bd3e67193a17adcb16)
- Plant, P. (2015). Green guidance: Guidance for the future. *Revista Española de Orientación y Psicopedagogía*, 115-123. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=338238765009>
- Plant, P. (2015). GREEN GUIDANCE: GUIDANCE FOR THE FUTURE. *Revista Española de Orientación y Psicopedagogía*, 115-123.
- Ploeg, R. v. (13 de Enero de 2022). *World Floriculture Map shows global trends in production and*

- trade. Obtenido de Floriculture Internacional: <https://aiph.org/floraculture/news/world-floriculture-map-shows-global-trends-in-production-and-trade>
- Proain Tecnología Agrícola. (6 de Octubre de 2020). *LOS MACRONUTRIENTES Y SU RELACIÓN EN EL SUELO*. Obtenido de Proain Tecnología Agrícola: [https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/los-macronutrientes-y-su-relacion-en-el-suelo?srsltid=AfmBOooKAHuRepObt\\_jH8dJQ5jhy7Ubu2v3j8mBuP9BTFPENeQcgM7Ll](https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/los-macronutrientes-y-su-relacion-en-el-suelo?srsltid=AfmBOooKAHuRepObt_jH8dJQ5jhy7Ubu2v3j8mBuP9BTFPENeQcgM7Ll)
- Productos Químicos. (29 de Noviembre de 2025). *Molibdato de Sodio 25 KG*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2025, de Productos Químicos: [https://productosquimicos.cl/producto/molibdato-de-sodio-25-kg/?srsltid=AfmBOopO4b6gm1umMcBzlJ8bq0DgYn1POotEUedUGtlQz2\\_pqOfmtg17](https://productosquimicos.cl/producto/molibdato-de-sodio-25-kg/?srsltid=AfmBOopO4b6gm1umMcBzlJ8bq0DgYn1POotEUedUGtlQz2_pqOfmtg17)
- Productos Químicos Chile. (29 de Noviembre de 2025). *Sulfato De Manganeso Monohidratado*. Obtenido de Productos Químicos Chile: [https://productosquimicoschile.cl/productos/sulfato-de-manganeso-monohidratado/?srsltid=AfmBOooUEFVwFnN7zXO9MCw7\\_Lgiq40367Twwp19SP0OopsLLEWNT4ie](https://productosquimicoschile.cl/productos/sulfato-de-manganeso-monohidratado/?srsltid=AfmBOooUEFVwFnN7zXO9MCw7_Lgiq40367Twwp19SP0OopsLLEWNT4ie)
- Química Industrial. (29 de Noviembre de 2025). *Sulfato De Hierro (Hierro) (Ferroso)*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2025, de Química Industrial: <https://quimicaindustrial.cl/producto/sulfato-de-hierro-hierro-ferroso?srsltid=AfmBOooMqSREnqfv3PLqSdQT0lMdwuaJU6fVVcpl8IjGZSOGTuDuhyFZ>
- Rajan, J. (3 de Marzo de 2025). *Papel de los nutrientes primarios y secundarios de las plantas en la producción de cultivos*. Obtenido de Organica Biotech: <https://organicabiotech.com/es/role-of-primary-and-secondary-plant-nutrients-in-crop-production/#:~:text=Los%20nutrientes%20secundarios%20como%20el,y%20la%20fijación%20del%20nitrógeno>
- Rincón, L. (21 de Diciembre de 2022). *Ácido Giberélico*. Obtenido de TSI LifeScience: <https://tecnosolucionescr.net/blog/707-acido-giberelico>
- Rober Half. (2024). *GUÍA SALARIAL 2024*. Obtenido de <https://content.roberthalfonline.com/SG24/SG24-PDF/Guia-Salarial-2024-Robert-Half-Chile.pdf>
- Roberts, J. K. (2004). An Introductory Primer on Multilevel and Hierarchical Linear Modeling. *Learning Disabilities: A Contemporary Journal*, 2(1), 33-38. Obtenido de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1290360.pdf>
- Rossas. (s.f.). *Fresia. Cultivo, Cuidado y Multiplicación*. Recuperado el 7 de Noviembre de 2024, de <https://www.rosass.net/bulbos/otono/fresia/>
- Santilli, M., Bas-Nahas, S. S., & Medrano, N. N. (2023). Occurrence and duration of phenological phases of Freesia x hybrida grown at different planting dates. *Ornamental Horticulture*, 9(2), 200-207. doi:<https://doi.org/10.1590/2447-536x.v29i2.2568>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (26 de Agosto de 2019). *¿Qué es y para qué sirve el fertilizante?* Obtenido de Gobierno de Mexico: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/que-es-y-para-que-sirve-el-fertilizante#:~:text=Los%20fertilizantes%20son%20sustancias%20ricas,desarrollo%20de%20los%20cultivos%20agrícolas>
- Seidenfeld, D., Handa, S., Hoop, T. d., & Morey, M. (2023). IntraclassCorrelations Values in International Development: Evidence Across Commonly Studied Domains in sub-Saharan Africa. *Sage Journal*, 47(5), 786-819. doi:<https://doi.org/10.1177/0193841X231154714>
- Silva, P., Acevedo, E., & Vergara, W. (2018). Rotación de cultivo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/77dac04e-f3e2-4dfc-bf59-d064f65f45d8/content>
- Smith, B. M. (2006). *Foundations of Artificial Intelligence* (Vol. II).

- doi:[https://doi.org/10.1016/S1574-6526\(06\)80015-5](https://doi.org/10.1016/S1574-6526(06)80015-5)
- Sodicmac. (s.f.). *Bulbo fresia surtido 12 unidades*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2025, de Sodicmac: <https://www.sodicmac.cl/sodicmac-cl/articulo/110133490/Bulbo-fresia-surtido-12-unidades/110133492>
- Sodicmac. (s.f.). *Bulbo fresia surtido 12 unidades*. Recuperado el 1 de Mayo de 2025, de Falabella.com: <https://sodicmac.falabella.com/sodicmac-cl/product/110147677/bulbo-fresia-surtido-12-unidades/110147680>
- Sosa, J. (Abril de 2025). *Modelo Binomial*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2025, de Rpubs: <https://rpubs.com/jstats1702/1295459>
- StatisticsEasily. (s.f.). *Qué es: modelo determinista*. Recuperado el 12 de febrero de 2025, de StatisticsEasily.: <https://es.statisticseasily.com/glosario/¿Qué-es-el-modelo-determinista%3F/>
- Symborg. (s.f.). *Fertilizantes Orgánico y Fertilizantes Inorgánicos ¿Conoces la diferencia?* Obtenido de Symborg.
- Tariq, M., Ali, H., Hussain, N., Nasim, W., Mubeen, M., Ahmad, S., & Hasanuzzaman, M. (2019). *Fundamentals of Crop Rotation in Agronomic Management*. Springer Nature.
- Tersoglio, E., & Naranjo, C. (2009). Identificación del inicio de la ecodormancia en cerezo variedad “Bing”. *INFORMACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA AGRARIA*, 105(4), 272-281. Obtenido de [https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2009/105-4/272-281 ITEA\\_105-4.pdf](https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2009/105-4/272-281 ITEA_105-4.pdf)
- The World Bank. (25 de Junio de 2016). *IMPLEMENTATION COMPLETION AND RESULTS REPORT ON A LOAN IN THE AMOUNT OF EURO 310.0 MILLION (US\$ 400.0 MILLION EQUIVALENT) AND AN ADDITIONAL FINANCING LOAN IN THE AMOUNT OF EURO 109.8 MILLION (US\$ 150 MILLION EQUIVALENT) TO THE REPUBLIC OF TURKEY FOR ANISTAN*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2025, de <https://documents1.worldbank.org/curated/en/292841467306935392/pdf/ICR3698-P078359-Box396255B-OUO-9.pdf#:~:text=Discount%20Rate,a%20discount%20rate%20of%206>
- TNAU Agritech. (s.f.). *FERTILIZER SCHEDULE FOR FLOWER CROPS*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2025, de TNAU Agritech Portal: <https://agritech.tnau.ac.in/horticulture/FERTILIZER%20SCHEDULE%20FOR%20FLOWER%20CROPS.pdf#:~:text=Gladiolus%20Basal%20N%2060%20kg%2Fha%2C,Golden%20rod>
- Trading Economics. (29 de Noviembre de 2025). *Di-ammonium Phosphate*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2025, de Trading Economics: <https://tradingeconomics.com/commodity/di-ammonium#:~:text=Di>,
- Trading Economics. (s.f.). *Urea*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2025, de Trading Economics: <https://tradingeconomics.com/commodity/urea#:~:text=Economics%20tradingeconomics,thann%20a%20year%20ago%2C>
- UNIR. (2 de septiembre de 2024). *Introducción al Modelado Matemático*. Obtenido de UNIR: <https://ecuador.unir.net/actualidad-unir/introduccion-modelado-matematico/>
- Universidad de Granada. (s.f.). *Tema 5 Variables aleatorias: distribuciones de probabilidad y características*. Recuperado el 11 de Octubre de 2025, de Universidad de Granada: <https://www.ugr.es/~proman/EDIP/2013-2014/PDF/Tema5>
- Universidad de la Plata. (s.f.). *Escuela Universitaria de Oficios*. Obtenido de Propagación de especies vegetales: <https://unlp.edu.ar/wp-content/uploads/51/33751/3cd2590b7da51ba898e5d33639a3c6a1.pdf>
- Universidad de Valencia. (s.f.). *CATALOGO VIRTUAL DE ESPECIES VEGETALES*. Obtenido de Jardí Botànic de la Universitat de València: [https://www.jardibotanic.org/index.php?apid=catalog\\_virtual\\_despecies-220&pid=1151&idioma=\\_spa](https://www.jardibotanic.org/index.php?apid=catalog_virtual_despecies-220&pid=1151&idioma=_spa)

- USDA Natural Resources Conservation Service. (Febrero de 2012). *Prescribed Burning Fact Sheet*. Obtenido de USDA Natural Resources Conservation Service : [https://efotg.sc.egov.usda.gov/references/public/ND/prescribed\\_burning\\_fact\\_sheet.pdf](https://efotg.sc.egov.usda.gov/references/public/ND/prescribed_burning_fact_sheet.pdf)
- Vaz Martins, D., & Fassio, A. (s.f.). Doble cultivo de maíz para producción animal. *Revista del Plan Agropecuario*(19). Obtenido de <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/13421/1/R101-19.pdf>
- Vilab. (23 de Junio de 2023). *Modelos de desarrollo de las Plantas (1era parte)*. Obtenido de Vilab: <https://www.vilab.cl/p/fenologia>
- Villagómez, É. M., Carrillo Salazar, A., Rodríguez Mendoza, M. d., Colinas León, T., Livera Muñoz, M., & Gaytán Acuña, A. (2013). Crecimiento y calidad del tallo floral de *Freesia x hybrida* en hidroponía. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 37(1), 1. Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-73802014000100006](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000100006)
- Visiotech. (s. f.). *Emisividad en cámaras termográficas portátiles*. Obtenido de <https://support.visiotechsecurity.com/hc/es/articles/360012930300-Emisividad-en-cámaras-termográficas-portátiles>
- Wang, B., Yin, K., Wu, C., Wang, L., Yin, L., & Lin, H. (17 de Mayo de 2022). Medium Optimization for GA4 Production by *Gibberella fujikuroi* Using Response Surface Methodology. *Fermentation*, 8(230), 14. doi:<https://doi.org/10.3390/fermentation8050230>
- World Bank. (2025). *Global Economic Prospect, June 2025*. Washington DC. doi:10.1596/978-1-4648-2193-6
- Xu, J., Gao, J., de Holanda, H. V., Rodríguez, L. F., Caixeta-Filho, J. V., Zhong, R., . . . Lin, T. (15 de Abril de 2021). Double cropping and cropland expansion boost grain production in Brazil. *Nat Food*, 264–273. doi:<https://doi.org/10.1038/s43016-021-00255-3>
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*.