

**ANÁLISIS DEL DESARROLLO DEL MINICLAVEL Y DE SU PRODUCTIVIDAD
CON BASE EN EL MÉTODO DE GRADOS DÍA Y EL DESCABECE EN
DIFERENTES ESTADOS FENOLÓGICOS**

LUZ HELENA MANCERA MÉNDEZ

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS
CHIA
2011**

**ANÁLISIS DEL DESARROLLO DEL MINICLAVEL Y DE SU PRODUCTIVIDAD
CON BASE EN EL MÉTODO DE GRADOS DÍA Y EL DESCABECE EN
DIFERENTES ESTADOS FENOLÓGICOS**

LUZ HELENA MANCERA MÉNDEZ

**Trabajo de grado para optar el título de Magíster en Diseño y Gestión de
Procesos**

**DIRECTOR
DUSKO KALENATIC Ph.D**

**CODIRECTOR
M.Sc LEONARDO JOSÉ GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD DE LA SABANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN DISEÑO Y GESTIÓN DE PROCESOS
NOVIEMBRE
2011**

Firma del presidente del jurado

Luz Indira Sotelo Ph.D

M.Sc Feizar Javier Rueda

M.Sc Edgar Gutiérrez Franco

Chía, febrero 8 de 2012

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a Dios por permitirme llevar a acabo esta investigación y por guiar cada paso en mi vida.

Agradezco de manera especial al Centro de Innovación de la Floricultura Colombiana (CENIFLORES) y al área de Proyectos Especiales de la Universidad de La Sabana quienes depositaron su confianza en mí como investigadora para llevar a cabo este proyecto.

De igual manera, agradezco al profesor Leonardo José González y al Doctor Dusko Kalenatic, quienes me acompañaron en la dirección de este proyecto, su conocimiento y experiencia en el campo investigativo fueron fundamentales para el desarrollo del mismo.

Quiero extender un sincero agradecimiento al Doctor Manuel Peña, Gerente General de Florval Ltda y al Ing. Charles Galindo, Gerente Técnico, quienes aportaron todo su conocimiento acerca del cultivo del miniclavel y me permitieron llevar acabo esta investigación en al empresa Florval Ltda. Sin lugar a dudas su experiencia en la floricultura fue de gran importancia para direccionar y llevar a feliz término el presente trabajo.

Agradezco a todas las personas que trabajan en la facultad de ingeniería de la Universidad de La Sabana, quienes a lo largo de mis estudios me brindaron valiosos aportes en mi formación personal y profesional.

Por último agradezco profundamente a mis padres por su apoyo incondicional, a ellos les debo todo lo que soy.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
2. OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. JUSTIFICACIÓN	20
3.1 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	20
3.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL	23
3.3 CONTRIBUCIÓN RESPECTO AL CONOCIMIENTO.....	23
4. MARCO DE REFERENCIA.....	24
4.1 ANTECEDENTES.....	24
4.2 MARCO TEÓRICO	27
4.2.1 Producción de miniclavel	27
4.2.2 Método de Grados día	31
4.2.3 Dinámica de sistemas.....	34
4.4 VARIABLES.....	36

4.5 SUPUESTOS	36
4.6 HIPÓTESIS	37
5. CURVAS DE CRECIMIENTO DEL MINICLAVEL A PARTIR DE LOS GRADOS DÍA ACUMULADOS	38
5.1 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CURVAS	38
5.1.1 RECOLECCIÓN DE DATOS	38
5.1.1.1 Determinación de las variedades a estudiar	38
5.1.1.2 Determinación del tamaño de la muestra	39
5.1.1.3 Marcación de tallos	42
5.1.1.4 Recolección de datos	43
5.1.2 Análisis de información	45
5.1.2.1 Cálculo de los grados día acumulados	45
5.1.2.2 Pruebas de bondad de ajuste	46
5.1.3 Curvas de crecimiento	54
6. PRODUCTIVIDAD	61
6.1 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD	61
6.1.1 Recolección de datos	61
6.1.2 Análisis de puntos por tallo	61
6.1.3 Análisis de grados día requeridos desde el descabece hasta le corte	62
7. MODELO DINÁMICO	74

7.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA.....	74
7.2 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DINÁMICO .	76
7.2.1 Representación Forrester para la simulación	76
7.2.1.1 Generación de grados día y grados día acumulados	76
7.2.1.2 Generación y cambio entre estados fenológicos	79
7.2.1.3 Descabece y corte	83
7.3 VALIDACIÓN DEL MODELO	84
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	85
9. CONCLUSIONES.....	94
10. BIBLIOGRAFÍA	96

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Consumo de flores por país.....	20
Figura 2 Exportaciones de flores por país	21
Figura 3 Principales productos de la floricultura exportados por Colombia para el 2007	22
Figura 4 Proceso productivo del miniclavel.....	28
Figura 5 Estados de desarrollo fenológico del miniclavel	30
Figura 6 Variedades cultivadas participación porcentual	39
Figura 7 Marcación de tallos	42
Figura 8 Metodología para la recolección de datos	44
Figura 9 Curva de crecimiento. Variedad Apricot Lady.....	54
Figura 10 Curva de crecimiento. Variedad Chateau	55
Figura 11 Curva de crecimiento. Variedad Esperia.....	55
Figura 12 Curva de crecimiento. Variedad Nirvana	56
Figura 13 Curva de crecimiento. Variedad Danny	56
Figura 14 Curva de crecimiento. Variedad Edison.....	57
Figura 15 Curva de crecimiento. Variedad Ibis	57
Figura 16 Curva de crecimiento. Variedad Spectro	58
Figura 17 Curva de crecimiento. Variedad Jester.....	58
Figura 18 Curva de crecimiento. Variedad Berry	59

Figura 19	Curva de crecimiento. Variedad Cherry Tessino	59
Figura 20	Curva de crecimiento. Variedad Purple Spectro	60
Figura 21	Curva de crecimiento. Variedad Milka	60
Figura 22	Productividad Var. Apricot Lady	62
Figura 23	Productividad Var. Chateau	63
Figura 24	Productividad Var. Esperia	64
Figura 25	Productividad Var. Nirvana	65
Figura 26	Productividad Var. Danny	66
Figura 27	Productividad Var. Edison	67
Figura 28	Productividad Var. Ibis	68
Figura 29	Productividad Var. Jester	69
Figura 30	Productividad Var. Berry	70
Figura 31	Productividad Var. Cherry Tessino	71
Figura 32	Productividad Var. Purple Spectro	72
Figura 33	Productividad Var. Milka	73
Figura 34	Descripción del sistema	74
Figura 35	Diagrama causal	75
Figura 36	Representación Forrester para la generación de grados día durante el mes de enero	76
Figura 37	Representación Forrester para la generación de grados acumulados.	78
Figura 38	Representación Forrester para la generación de grados acumulados necesarios para la diferenciación.....	79
Figura 39	Distribución de probabilidad para la diferenciación. Var Edison	80

Figura 40 Representación Forrester para el cambio de estado	80
Figura 41 Representación Forrester para el tamaño 8 mm	81
Figura 42 Representación Forrester para el cambio de los tallos del tamaño 8 mm a 9 mm.....	82
Figura 43 Representación Forrester para el descabece y el corte.....	83
Figura 44 Grados día requeridos para cada estado fenológico	87
Figura 45 Curva de crecimiento. Variedad Apricot Lady	88
Figura 46 Estado fenológico para el descabece	89
Figura 47 Productividad por variedad	90
Figura 48 Grados día totales acumulados por variedad	91
Figura 49 Descabece y corte de tallos.....	92
Figura 50 Regla para la identificación de estados	101
Figura 51 Resultados de prueba de independencia para grados día 232,5 y 255,05.....	102
Figura 52 Resultados de prueba de independencia para grados día 304 y 325.	102
Figura 53 Resultados de prueba de independencia para grados día 373 y 387.	102
Figura 54 Resultados de prueba de independencia para grados día 402 y 407.	102
Figura 55 Resultados de prueba de independencia para grados día 430 y 444.	102
Figura 56 Resultados de prueba de independencia para grados día 469 y 489.	102
Figura 57 Resultados de prueba de independencia para grados día 514.....	103
Figura 58 Resultados de prueba de independencia para grados día 551 – 562.	103
Figura 59 Resultados de prueba de independencia para grados día 631.....	103
Figura 60 Resultados de prueba de independencia para grados día 688 – 702.	103

Figura 61	Resultados de prueba de independencia para grados día 712.....	103
Figura 62	Resultados de prueba de independencia para grados día 759 - 781 .	103
Figura 63	Resultados de prueba de independencia para grados día 802 – 810.	104
Figura 64	Resultados de prueba de independencia para grados día 835.....	104
Figura 65	Resultados de prueba de independencia para grados día 848.....	104
Figura 66	Resultados de prueba de independencia para grados día promedio	909
	104
Figura 67	Resultados de prueba de independencia para grados día promedio	966
	104
Figura 68	Resultados de prueba de independencia para grados día promedio	1039.....
	104
Figura 69	Ingreso de parámetros al modelo	105

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Tallos cultivados por variedad.....	40
Tabla 2 Cálculo del tamaño de muestra	41
Tabla 3 Tamaño de muestra para cada variedad y estado.....	41
Tabla 4 Datos recolectados. Tallo 2083.....	45
Tabla 5 Distribuciones de probabilidad. Variedad Apricot Lady	47
Tabla 6 Distribuciones de probabilidad. Variedad Chateau	48
Tabla 7 Distribuciones de probabilidad. Variedad Esperia.....	48
Tabla 8 Distribuciones de probabilidad. Variedad Nirvana	49
Tabla 9 Distribuciones de probabilidad. Variedad Danny	49
Tabla 10 Distribuciones de probabilidad. Variedad Edison	50
Tabla 11 Distribuciones de probabilidad. Variedad Ibis	50
Tabla 12 Distribuciones de probabilidad. Variedad Spectro	51
Tabla 13 Distribuciones de probabilidad. Variedad Jester	51
Tabla 14 Distribuciones de probabilidad. Variedad Berry	52
Tabla 15 Distribuciones de probabilidad. Variedad Cherry Tessino.....	52
Tabla 16 Distribuciones de probabilidad. Variedad Purple Spectro	53
Tabla 17 Distribuciones de probabilidad. Variedad Milka	53
Tabla 18 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Apricot Lady	62
Tabla 19 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Chateau.....	63

Tabla 20 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Esperia	64
Tabla 21 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Nirvana	65
Tabla 22 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Danny	66
Tabla 23 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Edison	67
Tabla 24 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Ibis.....	68
Tabla 25 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Jester	69
Tabla 26 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Berry.....	70
Tabla 27 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Cherry Tessino	71
Tabla 28 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Purple Spectro.....	72
Tabla 29 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Milka.....	73
Tabla 30 Frecuencias relativas acumuladas para la generación de GD. Enero	77
Tabla 31 Distribuciones de probabilidad. Variedad Milka	77
Tabla 32 Resultado corridas del modelo de simulación.....	106

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. REGLA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ESTADOS.....	101
ANEXO B. PRUEBAS DE INDEPENDENCIA.....	102
ANEXO C. INGRESO DE PARÁMETROS AL MODELO	105
ANEXO D. RESULTADO DE CORRIDAS DEL MODELO.....	106

RESUMEN

El presente trabajo analiza el desarrollo del miniclavel y su productividad desde la perspectiva de los grados día y el descabece en diferentes estados fenológicos.

El objetivo fundamental del estudio es brindar herramientas para la planeación y el control de la producción del miniclavel en la Sabana de Bogotá de forma que se obtenga la flor en el momento esperado.

Como herramienta para la planeación se presenta un modelo de simulación continua que permite determinar la fecha de corte con base en los grados día requeridos por el miniclavel y en el estado fenológico en el cual se realiza el descabece.

Como herramienta para el control del plan de producción se presentan las curvas de crecimiento de 12 variedades, de forma que se brindan parámetros para determinar si el crecimiento del botón principal de los tallos es adecuado.

Las herramientas anteriormente mencionadas contribuyen a la planeación de las actividades en cultivo y poscosecha, impactando en aspectos como la planeación del personal y los inventarios de insumos, producto en proceso y producto terminado.

INTRODUCCIÓN

El sector floricultor Colombiano ha cobrado cada vez mayor importancia en los últimos años, posicionándose como el segundo exportador más importante a nivel mundial después de Holanda, representando el 14% de las exportaciones mundiales de flores frescas cortadas (Tenjo; 2006).

Las exportaciones de flores son dirigidas principalmente a Estados Unidos, quien absorbe más del 80% del valor del total exportado, por lo cual Colombia es considerado el principal proveedor de flores para este país. Sin embargo, han surgido nuevos participantes en el sector con productos de alta calidad, tal como Ecuador, quien ha ganado cada vez mayor mercado en Estados Unidos y Europa. Los nuevos competidores presentan una estructura organizacional vertical y un mayor control de la cadena de valor, lo cual les permite producir con costos inferiores y ser más competitivos. (Giraldo; 2009).

Debido a esta situación, la identificación de las necesidades de los clientes y la satisfacción de las mismas juegan un papel fundamental a la hora de consolidar y mantener la participación del mercado ante el creciente número de empresas competidoras.

Desafortunadamente la alta exposición a factores no controlables, tales como los cambios climáticos y la fluctuación del dólar, afectan notablemente el desempeño de las empresas y por lo tanto el cumplimiento al cliente, lo cual hace necesario el diseño y uso de herramientas que permitan un mejor planeación y control de la producción.

Es así como esta investigación brinda herramientas para la planeación y el control de la producción al determinar la relación entre el estado fenológico en el cual se realiza el descabece y la productividad del miniclavel, así los grados día necesarios entre cada estado fenológico.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La variabilidad de la demanda de flores, el cambio en las condiciones de comercialización y el creciente número de productores, han obligado a las empresas a replantear su operación con el fin de aumentar el cumplimiento de sus pedidos y por lo tanto la satisfacción del cliente.

La producción de miniclavel, como la de otras especies de flores, posee características particulares dadas por el cumplimiento de las exigencias de los clientes, los ciclos productivos de cada una de las variedades y el carácter perecedero del producto, entre otras. Lo cual hace que los sistemas de planeación y control de la producción jueguen cada vez un papel más importante en el sector (Mesa; 2007).

Actualmente las empresas pactan con los clientes compromisos de entrega de pedidos considerando el momento de la entrega y la cantidad y la calidad de flor. Dicho proceso es realizado con base en las plantas sembradas, el ciclo productivo de las mismas y los rendimientos por hectárea esperados. Desafortunadamente, en algunos casos, el error de estimación en los pronósticos de producción es considerablemente alto, debido a las variables no controlables, tales como la temperatura y la humedad.

Esta situación obliga a las empresas a buscar medidas alternativas para cumplir con los pedidos, tales como la compra de flor a terceros, aumentando la posibilidad de generar no conformidades en el cliente debidas al incumplimiento en la calidad y/o cantidad e impactando negativamente en los costos.

Como herramienta para mitigar esta situación se han desarrollado estudios, en especial en rosa (Pérez, Cure, Monroy; 2001 y Rodríguez y Flórez; 2006), que relacionan los grados día con el desarrollo fenológico de la flor, permitiendo determinar a tiempo atrasos o adelantos en el desarrollo de la planta y por lo tanto tomar decisiones encaminadas a obtener la producción en el momento esperado.

Adicionalmente, es de vital importancia poder estimar la cantidad de producción a obtener. En clavel estándar esta productividad está asociada al desbotone, el cual es una práctica de cultivo indispensable que consiste en quitar los brotes o botones laterales de un tallo floral desde el nudo más próximo al botón principal hasta el nudo donde se va a cortar la flor. Con esto se busca obtener sólo una flor proveniente del botón principal o yema apical del tallo floral y que ésta se desarrolle vigorosamente, que su tallo sea fuerte, que el tamaño de la flor sea grande y que complete satisfactoriamente su desarrollo (Arévalo, Ibarra, Flórez; 2007)

Por su parte en la producción de mini clavel se busca que cada uno de los tallos tenga más de un botón por lo cual la práctica llevada a cabo en este caso es el descabece. El momento de hacer el descabece se conoce como "punto de descabece" e influye directamente en el momento del corte, de tal forma que entre más rápido se descabece más rápido se obtiene el punto de corte y viceversa. Sin embargo, el punto ideal es aquel que una vez realizado permita la apertura uniforme de todos los botones del spray (Torres; ND).

En este contexto, esta investigación busca dar una solución a los problemas anteriormente mencionados resolviendo las siguientes preguntas de investigación:

¿Cómo se relacionan los grados día y el desarrollo fenológico del miniclavel cultivado en la Sabana de Bogotá?

¿Cómo influye en la producción de miniclavel el estado fenológico en el que se descabezan diferentes variedades cultivadas en la Sabana de Bogotá?

De la cual se derivan los siguientes interrogantes:

- *¿Cuántos grados día requiere cada una de las variedades observadas para pasar de un estado fenológico a otro?*
- *¿Cuántos puntos de flor son producidos para cada una de las variedades de acuerdo al estado fenológico en el cual se realiza el descabece?*

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la relación entre el estado fenológico en el cual se realiza el descabece y la productividad del miniclavel en la sabana de Bogotá, considerando los grados día necesarios entre cada estado fenológico, con el fin de establecer parámetros que faciliten la planeación de la producción y que permitan determinar si el desarrollo de la planta está acorde con el plan de producción fijado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las funciones matemáticas que representan el impacto de los grados día en cada uno de los estados fenológicos de diferentes variedades de miniclavel.
- Determinar el impacto que genera sobre los tallos producidos el estado fenológico en el que se realiza el descabece.
- Construir curvas de crecimiento para cada una de las variedades de miniclavel estudiadas.
- Construir un modelo dinámico que represente el desarrollo fenológico del miniclavel con el fin de brindar una herramienta que ayude a establecer el momento de la siembra y descabece adecuado a la fecha de corte esperada.

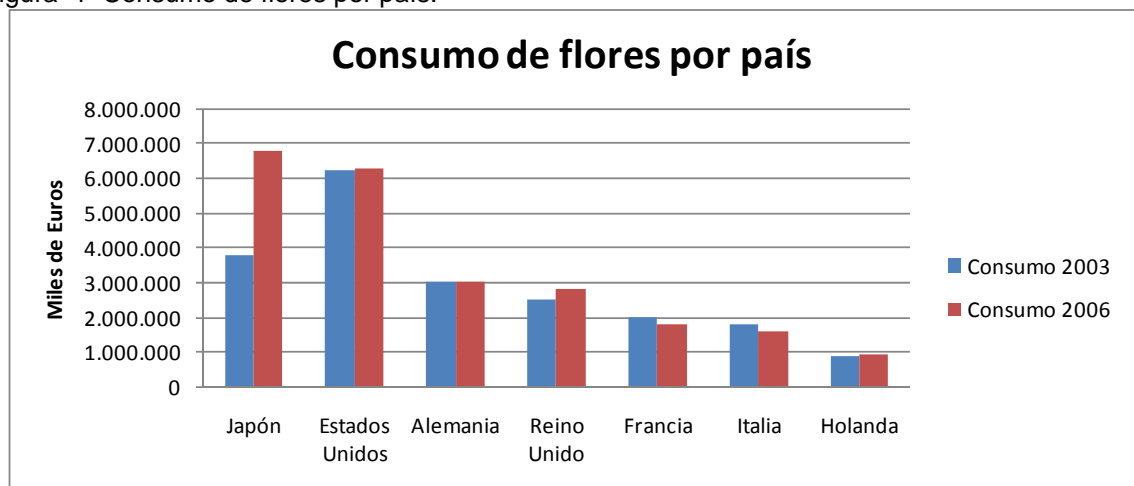
3. JUSTIFICACIÓN

A continuación se presenta la justificación del proyecto de investigación teniendo en cuenta aspectos económicos, sociales y de contribución al conocimiento.

3.1 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El consumo de flores en el mundo ha presentado un constante crecimiento, siendo Japón y Estados Unidos los países que registran el mayor consumo de flores, tal como lo muestra la figura 1.

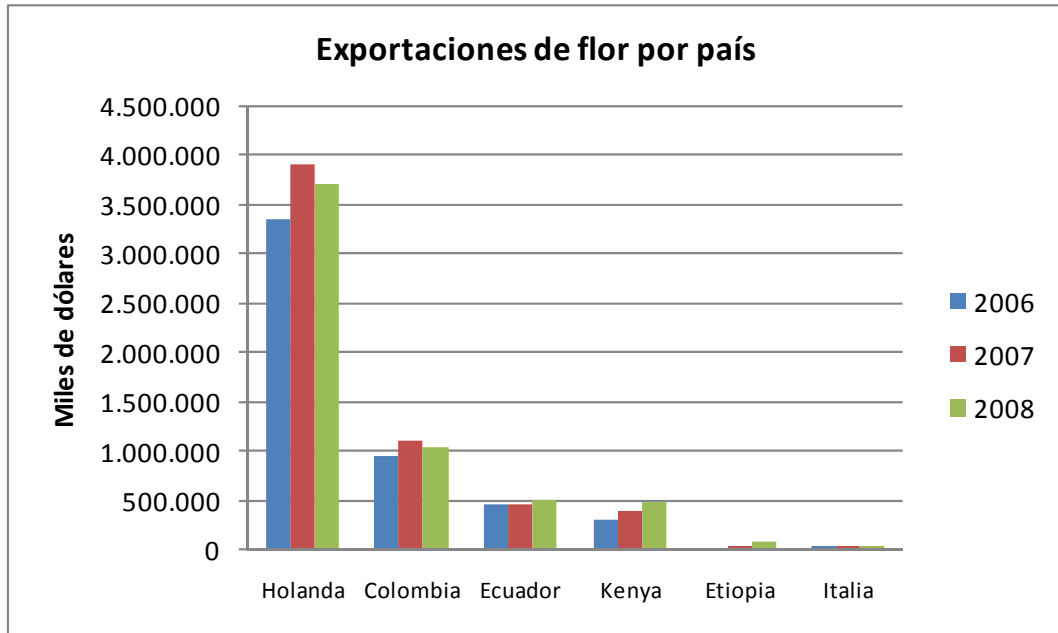
Figura 1 Consumo de flores por país.



Fuente: Castellanos, Rodríguez, Ospina (2010). Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de flores y follajes con énfasis en clavel.

Dentro de los países que suplen las necesidades de estos consumidores se encuentran Holanda y Colombia, quienes ocupan los primeros puestos en exportación de flores con el 53% y 16% del total de exportaciones en el mundo, respectivamente, tal como lo muestra la figura 2.

Figura 2 Exportaciones de flores por país



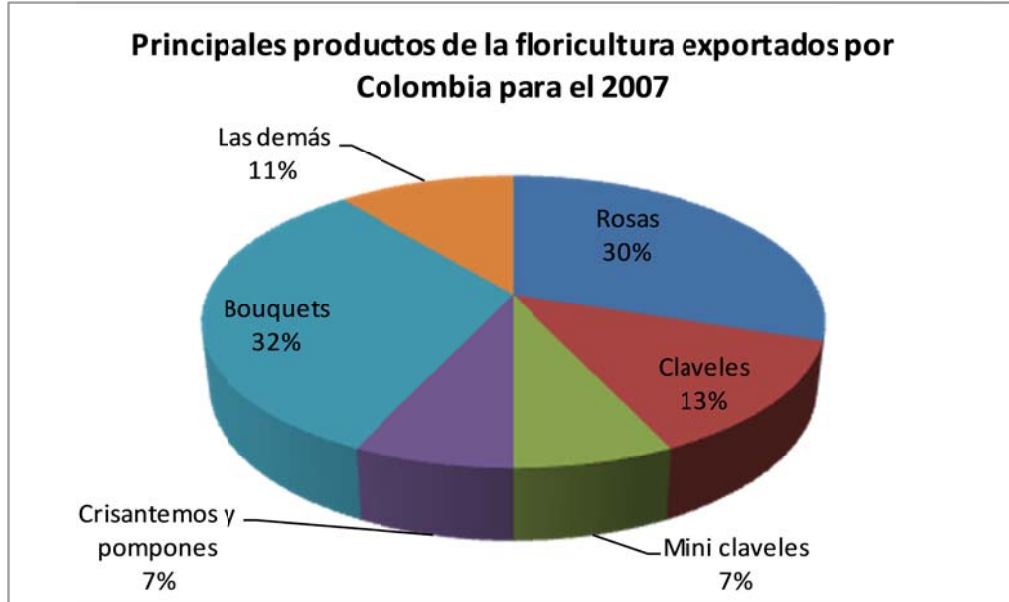
Fuente: Castellanos, Rodríguez, Ospina (2010). Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de flores y follajes con énfasis en clavel.

El puesto ocupado por Colombia en este ranking conduce a que actualmente el 95% de la producción nacional de flores se exporte, con lo cual el sector genera el 6,6% del PIB agropecuario, ocupando el primer lugar dentro de las exportaciones no tradicionales (Businesscol; 2009).

Estas exportaciones agrupan diferentes tipos de flor, siendo la rosa, el clavel y el miniclavel y los crisantemos las especies con mayores exportaciones tanto por Holanda como por Colombia. Específicamente en Colombia, las exportaciones de miniclavel representan el 7% del total de exportaciones de flor, tal como lo muestra la figura 3.

Según la Asociación Colombiana de Floricultores ASOCOLFLORES, las exportaciones del sector se encuentran concentradas en las PYMES, las cuales son responsables del 90% del valor exportado (Tenjo; 2006). Estas MYPES ascienden a 260 empresas cuya área cultivada es inferior a 50 Ha (Solano; 2009).

Figura 3 Principales productos de la floricultura exportados por Colombia para el 2007



Fuente: Castellanos, Rodríguez, Ospina (2010). Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de flores y follajes con énfasis en clavel.

Los cultivos de flores en Colombia se concentran en la Sabana de Bogotá, en un 92%, y en las zonas de Rionegro y la Ceja en Antioquia en menor proporción, lugares que cumplen con las condiciones climáticas necesarias y son cercanos al puerto de embarque aéreo (Greco; 2001). Entre las especies cultivadas en estas regiones el mini clavel y clavel estándar ocupan un lugar importante, representando en conjunto el 22,3% del área cultivada.

Por lo anterior el desarrollo de este proyecto tiene un impacto económico positivo ya que brinda información importante para la adecuada planeación de la producción del miniclavel en la Sabana de Bogotá, estudiando una de las especies de flores con mayor importancia para el sector y en la zona geográfica que concentra la mayor cantidad de cultivos.

Cabe aclarar que el tema del presente trabajo de grado fue aprobado por la Asociación Colombiana de Exportadores de Flores ASOCOLFLORES y por el Centro de Innovación para la Floricultura Colombiana CENIFLORES.

3.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL

El sector floricultor es considerado intensivo en mano de obra debido a las dificultades de la mecanización del proceso, en promedio son empleados 16 trabajadores por hectárea, valor considerado elevado en comparación con otros cultivos tales como el maíz y el café.

La rama de flores generó 75.000 empleos directos y 50.000 indirectos en 1999, y 60% del empleo directo fue cubierto por trabajo femenino no calificado (Greco; 2001)

Lo anterior, sumado a las 260 MYPES que hacen parte del sector, justifica el aporte del proyecto desde la perspectiva social.

3.3 CONTRIBUCIÓN RESPECTO AL CONOCIMIENTO

Esta investigación genera aporte respecto al conocimiento ya que se centra en variedades que no han sido estudiadas en la Sabana de Bogotá hasta el momento. Existen algunos estudios que utilizan el método de los grados día para predecir el momento y los tallos producidos en rosa. De igual manera se encuentran estudios que determinan el impacto del estado fenológico en el que se realiza el desbotone y la calidad de tallos producidos para el clavel estándar cultivado en la Sabana de Bogotá, sin embargo, en la revisión bibliográfica realizada, no se encontraron estudios que se centraran en el estudio de la influencia de los grados día y la productividad del miniclavel en la Sabana de Bogotá.

4. MARCO DE REFERENCIA

A continuación se presentan los antecedentes encontrados en la revisión de literatura realizada, así como el marco teórico y las bases conceptuales necesarias para el desarrollo de la presente investigación. De igual manera se presentan los supuestos y las hipótesis contempladas.

4.1 ANTECEDENTES

La planeación de la producción en la agricultura es un tema que ha sido ampliamente estudiado desde diferentes enfoques, tales como la modelación matemática y la simulación.

En cuanto a la modelación matemática Dourado & Teruel (1998) presentan algunos modelos aplicados, destacando las ventajas de cada uno, incluyendo modelos empíricos, matemáticos y de simulación.

Entre las aplicaciones puntuales se encuentra el trabajo presentado por Ahumada (2009), quien presenta un modelo mixto de programación entera, el cual busca brindar una herramienta para la planificación táctica de la producción y distribución de productos frescos. Este modelo considera el carácter perecedero de los cultivos de dos maneras diferentes, como una función de pérdida en su función objetivo, y como un obstáculo para el almacenamiento de los productos.

En cuanto a los modelos que buscan pronosticar el comportamiento de los cultivos, Rojas (2006) presenta un estudio para la estimación del crecimiento del manzano en Chile a través de modelos matemáticos, este estudio identificó y evaluó modelos matemáticos que describen el crecimiento del fruto, sin realizar muestreos destructivos. Se evaluaron los modelos de regresión lineal simple, regresión lineal múltiple y cuatro modelos no lineales, como resultado se presentan las ventajas y desventajas de cada modelo centrándose en la precisión de cada uno de ellos.

Respecto a los modelos aplicados en la floricultura, Catley (2000) evidencia la falta de modelos específicos para sistemas de producción de flores, por lo cual propone un modelo descriptivo de la toma de decisiones en el cultivo de flores como un medio para realizar una mejor gestión de los recursos.

Dentro de los trabajos más destacados en la floricultura, se encuentran los modelos desarrollados por Caixeta (2002) quien presenta un modelo de programación lineal como herramienta para la planificación de la producción de lirios en la empresa floricultora Jan de Wit, este modelo considera limitaciones, tales como la demanda, las exigencias del mercado, las características de la duración del ciclo de producción, los requisitos técnicos, el inventario de bulbo, y las limitaciones de los invernaderos. La implementación de este modelo ha mostrado resultados satisfactorios en la compañía, aumentando los ingresos en un 26% entre 1999 y 2000.

Específicamente, en el cultivo de miniclavel en la sabana de Bogotá, se encuentra el trabajo desarrollado por Mesa (2007), en donde se presenta una aplicación de modelos de programación lineal para la programación de siembras del miniclavel, integrando tanto requerimientos del mercado, como características de producción. Este modelo incluye restricciones referentes al rendimiento en el cultivo y al área disponible, sin embargo no considera el factor estocástico de las variables no controlables en la producción.

Respecto al uso de dinámica de sistemas se destaca el trabajo desarrollado por Acuña (1996) quien propone la Dinámica de Sistemas como metodología alternativa y complementaria para el Manejo Integrado de Plagas y describe una experiencia realizada en los cultivos de cítricos de la provincia de Tucumán. En este estudio se diseña un modelo de simulación para explicar y predecir el comportamiento del acaro rojo de los cítricos en el sistema bajo estudio. Además, se considera el software respectivo que permite a los profesionales disponer de una herramienta para la toma de decisiones técnicas. El grado de confiabilidad del modelo es satisfactorio conforme a los análisis cualitativo y estadístico entre los valores reales y simulados.

En relación al estudio de grados día en el cultivo de flores, se encuentran en su mayoría estudios aplicados a la rosa. Pasion (1994) estudio la aparición de brotes en la rosa y el desarrollo de los mismos en relación con los grados día, en este estudio se encontró que la temperatura base para la rosa es de 5,2 °C, así como los grados día necesarios entre el brote y la cosecha.

Posteriormente Neil, Mattson y Heiner (2005), profundizaron este estudio, recopilando datos de crecimiento y grados día desde el año 2003 hasta 2005, como resultado de este estudio se desarrolló un software para la producción de rosas con base en los grados día y en el historial de cultivo, este software asume una temperatura base de 5,2°C y una relación lineal entre la temperatura y el desarrollo de la rosa.

Específicamente en Colombia, Pérez, Cure y Monroy (2001) presentan un modelo de predicción y manejo de cultivos a través del desarrollo de un modelo de grados día para diferentes variedades de rosa cultivadas en la Sabana de Bogotá, como resultado de esta investigación se desarrollaron dos software que permiten pronosticar las fecha de cosecha a partir del desarrollo de la planta, así como el número de días faltantes para obtener la cosecha.

Rodríguez y Flórez (2006) estudiaron el comportamiento fenológico de tres variedades de rosas rojas en función de la acumulación de la temperatura, como resultado de este estudio se desarrollaron modelos de predicción para cada uno de los estados de desarrollo fenológico de la rosa y una tabla de predicción para la producción de botones florales, que permite estimar por medio de grados-día el número de botones probables a obtener en una fase de desarrollo específico.

En los últimos años se han desarrollado algunos estudios en clavel, López, Chaves, Flórez y Salazar (2010) presentan un modelo de aparición de nudos en clavel, cuyo objetivo fue determinar la temperatura base para la aparición de nudos y en función de este parámetro generar un modelo fenológico para tallos florales de clavel estándar. La temperatura base se estimó mediante el ajuste de un modelo exponencial entre la tasa de aparición de nudos y la temperatura acumulada, encontrando que la temperatura base es de 0,12°C. A partir del pinch, y hasta la aparición del botón floral se acumularon 1.363,2 grados día, y el pico de cosecha se alcanzó a los 2.226,5 grados día.

Como se evidencia, existen algunos estudios que han aplicado herramientas de optimización y simulación en la agricultura, sin embargo, en la revisión bibliográfica realizada no se encontraron estudios que determinen la relación entre los grados día y el desarrollo fenológico del miniclavel en la sabana de Bogotá, así como la productividad del mismo en función del estado en el que se realice el descabece. Tampoco fueron encontrados estudios que utilicen la dinámica de sistemas como herramienta para la determinación de fechas de corte y siembra del miniclavel en la Sabana de Bogotá.

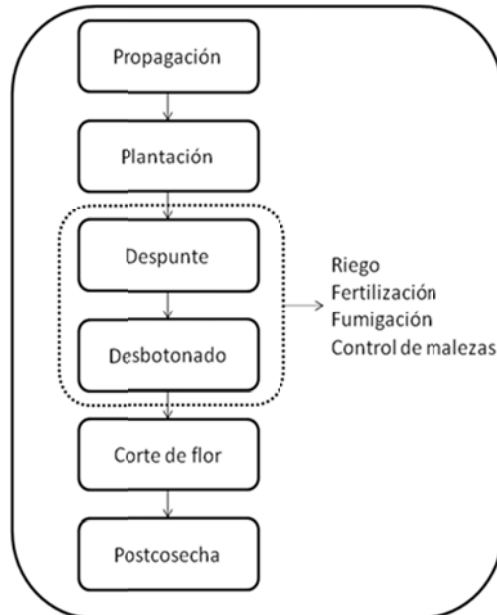
4.2 MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de esta investigación son necesarias bases conceptuales relacionadas con la producción del miniclavel, el método de los grados día y la dinámica de sistemas. A continuación se presentan los fundamentos teóricos de dichas áreas que van a ser usados en esta investigación:

4.2.1 Producción de miniclavel. El miniclavel es una planta con hojas lineares de 0,8 a 1,5 cm de longitud, planas y blandas, tiene un ramillete de 3 a 6 flores olorosas y su cáliz se encuentra entre 2 y 2,5 cm de longitud con dientes triangulares, sus pétalos son dentados, de forma irregular con una longitud de 0,5 a 1 cm y de diferentes colores de acuerdo a la variedad (Berrocal y Salazar; 2004).

La figura 4 muestra el diagrama del proceso productivo del miniclavel, el cual inicia con la propagación, la cual se efectúa por esquejes de brotes, los cuales son almacenados entre 0,5-1°C por un tiempo que varía entre 15 días y dos meses dependiendo de si estos se encuentran enraizados o no.

Figura 4 Proceso productivo del miniclavel



Fuente: Autor

El proceso continúa con la plantación, en donde los esquejes son sembrados en camas separados entre sí por una distancia de 15 cm.

Durante este periodo es necesario llevar a cabo riego y fertilizaciones con el fin de garantizar las condiciones necesarias para el adecuado crecimiento de la planta.

En cuanto a la fertilización, la dosis que más se utiliza en la producción del miniclavel es la 90-120-120, de N-P-K, respectivamente, la cual se puede fraccionar en cuatro partes y aplicarla. Las etapas de aplicación pueden ser antes de la plantación, al inicio de la elongación del tallo, al inicio del brote del botón y la cuarta cuando ya está en botón (Linares; 2004).

Posteriormente se realiza el despunte o pinchs, el objetivo de esta operación es garantizar que la planta ramifique y que las primeras flores sean más largas.

En clavel estándar el desbotone es una práctica de cultivo indispensable que consiste en quitar los brotes o botones laterales de un tallo floral desde el nudo

más próximo al botón principal hasta el nudo donde se va a cortar la flor. Con esto se busca obtener sólo una flor proveniente del botón principal o yema apical del tallo floral y que ésta se desarrolle vigorosamente, que su tallo sea fuerte, que el tamaño de la flor sea grande y que complete satisfactoriamente su desarrollo (Arévalo; 2007).

Contrario a esto en el miniclavel lo que se pretende es que el tallo tenga el mayor número de botones florales, por lo cual se lleva a cabo el descabece. El descabece es la actividad en la cual se quita el botón o cabeza principal del tallo o planta, es decir, la de mayor desarrollo. Tiene como objetivo eliminar la dominancia apical que ejerce este botón y permitir que los fotosintetizados lleguen a los botones laterales y así lograr un desarrollo más rápido y uniforme y por consiguiente, una floración más pareja. El momento de hacer el descabece se ha denominado "punto de descabece" y es el estado de desarrollo en que se encuentre el botón que se va a eliminar. Este estado afecta directamente el momento del corte, de tal forma que entre más rápido se descabece más rápido se obtiene el punto de corte y viceversa. Sin embargo, el punto ideal es aquel que una vez realizado permita la apertura uniforme de todos los botones del spray (Torres; ND).

Los estados de desarrollo o puntos de descabece en clavel miniatura cambian para las diferentes variedades, y muchas de ellas se pueden agrupar por su punto de descabece.

Teniendo en cuenta que dentro de la literatura revisada no se encontró una clasificación clara y formal de los estados de desarrollo fenológico del miniclavel, se realizó una adaptación de los estados definidos para la rosa y el clavel, teniendo en cuenta los estándares de tamaño del miniclavel, dicha adaptación fue realizada por el gerente técnico de la empresa Florval. Los estados establecidos fueron:

Arveja: se califica dentro del estado arveja al botón floral principal cuyo diámetro ecuatorial se encuentra entre 8 y 10 mm y su forma tiende a ser ovalada.

Garbanzo: se califica dentro del estado garbanzo al botón floral principal que presenta un diámetro ecuatorial entre 10 y 12mm y una tendencia del botón a

formar una punta más definida que tiende a desvanecerse en la medida que aumenta de tamaño.

Bola: se califica dentro del estado bola al botón floral principal que presenta un diámetro ecuatorial entre 12 y 15mm y la punta de los sépalos es de forma redondeada (cúpula).

Estrella: se califica dentro del estado estrella al botón floral principal que presenta un diámetro ecuatorial entre 15 y 17mm en este estado el botón presenta cinco puntas que muestran el color de la variedad.

Ajustado: se califica dentro del estado ajustado al botón floral principal que presenta un diámetro ecuatorial de 18 mm, este tamaño varía según la variedad observada, sin embargo, se clasifican como ajustados aquellos botones que presentan una apertura de los pétalos entre 3 y 5mm de longitud. La figura 5 muestra los diferentes estados de desarrollo contemplados en esta investigación.

Figura 5 Estados de desarrollo fenológico del miniclavel



Fuente: Florval Ltda

El cultivo del miniclavel exige una temperatura diurna entre los 15-22°C y una temperatura nocturna entre 10-13°C. (Newman; 1999).

En el cultivo de miniclavel estándar, temperaturas inferiores a las indicadas producen rajaduras en los cálices, grupos adicionales de pétalos (cabezas de toros) y flores aplanadas con botones que no abren totalmente. Con temperaturas

inferiores a 2°C se observan manchas negras y necróticas en la flor, ocurre desnaturalización de enzimas y proteínas e interrupción de rutas de energía necesarias para la fotosíntesis. (Fisher; 2007).

Las temperaturas bajas estimulan la iniciación floral, en tanto que las temperaturas elevadas ocasionan un crecimiento vegetativo rápido, entrenudos más cortos, tallos más débiles, menor tamaño de la flor y poca vida en florero. (Beisland y Kristofferse; 1969, citados por Boshell; 2009).

Por su parte, la humedad tiene un papel fundamental en la generación de plagas y enfermedades, en especial las de origen fungoso, las cuales se activan con una humedad relativa superior al 80% y se inhiben en periodos con humedad inferior a dicho umbral.

Cuando la humedad relativa es baja, existe un gradiente importante entre la tensión hídrica en el aire en relación con los tejidos vegetales. Una humedad relativa inferior al 60% incrementa significativamente la demanda hídrica. Los valores de humedad menores al 30% son considerados críticos ya que ocasionan elevada transpiración, requiriendo de riegos adecuados (Boshell; 2009).

4.2.2 Método de Grados día. El concepto de grados día fue propuesto por primera vez en 1730 por Reaumur quien desarrolló la conocida escala térmica Reaumur, después de este avance el progreso en la investigación acerca del tema fue bastante lento, hasta que en 1920 JW Smith publicó el primer texto, titulado "Meteorología Agrícola" (Reifsnyder; ND). En su libro, Smith (1920) asegura que la temperatura es una de las causas del crecimiento vegetal, al afirmar que las condiciones para el crecimiento vegetal son una óptima combinación de la temperatura, la humedad y la luz solar en la que las plantas tienen el mejor crecimiento, y en virtud de la cual se obtienen los mayores rendimientos (Smith; 1920).

Desde entonces los grados día han sido estudiados ampliamente como método para el análisis del desarrollo de cultivos e insectos. Debido a este estudio han sido desarrolladas diferentes ecuaciones basadas en fórmulas matemáticas como

son, en su orden de creciente de complejidad matemática, los métodos del triángulo sencillo y doble y del seno y del seno doble (Rodríguez, Flórez; 2006).

Sin embargo, quizás la fórmula más usada en los cultivos debido a la facilidad de su aplicación es llamada fórmula canónica para el cálculo de los grados día (GDC) (McMaster, Wilhelm; 1997) la cuál es:

$$GDC = \left[\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right] - T_{base} \quad (1)$$

Donde:

T_{max}: Temperatura máxima del aire durante el día

T_{min}: Temperatura mínima del aire durante el día

T_{base} : Temperatura por debajo de la cual el proceso de interés no progresa, es decir, no hay crecimiento activo

Esta temperatura base varía en función del cultivo y de la especie

En la literatura se encuentran dos interpretaciones de la ecuación 1, bajo la primera interpretación, si $\left[\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right] < T_{base}$ entonces $\left[\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right] = T_{base}$ esta interpretación es la más usada en los modelos de simulación (McMaster, Wilhelm; 1997).

Bajo la segunda interpretación encontrada, si $T_{max} < T_{base}$ entonces $T_{max} = T_{base}$ y si $T_{min} < T_{base}$ entonces $T_{min} = T_{base}$.

La diferencia entre las dos interpretaciones se debe al valor que es comparado con la temperatura base, en la interpretación 1 se compara la temperatura promedio, mientras que en la interpretación 2 se comparan las temperaturas máxima y mínima.

Según McMaster y Wilhelm (1997) no hay evidencia en estudios anteriores que determinen cual de las dos interpretaciones es la correcta ya que es posible encontrar autores que utilizan la interpretación 1, tales como; Davidson y Campbell (1983), Gallagher (1970), Jefferies y Mackerron (1987) y McMaster y Smika (1988); y autores que utilizan la interpretación 2 tales como: Baker (1986), Cutforth y Shaykewich (1989) y Swanson y Wilhelm (1996).

Por tal motivo McMaster y Wilhelm (1997) realizaron experimentación con las dos interpretaciones en datos de un cultivo de trigo encontrando grandes diferencias, sin embargo, en este estudio no fue posible determinar cuál de las dos interpretaciones es la más acertada ya que para determinados estados de desarrollo la interpretación 1 mostró mejores resultados que la interpretación 2 y viceversa.

Se han realizado modificaciones a esta ecuación con el propósito de mejorar su significado biológico. Por ejemplo, la incorporación de un umbral superior (Rodríguez y Flórez; 2006), la conversión a unidades fototermales, añadiendo una variable de fotoperiodo, con sólo la temperatura máxima o mínima e incorporando funciones para otros factores ambientales (McMaster y Wilhelm, 1997).

Precisamente, el método más usado en Colombia es aquel que incluye un umbral superior, el manual del riesgo climático en la floricultura colombiana (Boshell; 2009) indica éste como método de cálculo de los grados día.

Este método es muy similar a la interpretación 1, en este método, si $\left[\frac{T_{max}+T_{min}}{2}\right] < T_{base}$ entonces $\left[\frac{T_{max}+T_{min}}{2}\right] = T_{base}$ y se aplica la ecuación (1); es decir, el dato no se tiene en cuenta debido a que bajo esta temperatura no se produce un crecimiento activo. La diferencia entre este método y la interpretación 1 radica en el establecimiento de un límite superior sobre el cual tampoco se consigue un crecimiento adecuado, en este caso, si T_{bmax} es el límite superior entonces: $\left[\frac{T_{max}+T_{min}}{2}\right] > T_{bmax}$ entonces $\left[\frac{T_{max}+T_{min}}{2}\right] = T_{bmax}$ y se aplica la ecuación (1).

Por lo anterior este método será el seguido en la presente investigación ya que se encuentra expuesto en un estudio de CENIFLORES (Centro de la innovación para la floricultura colombiana).

4.2.3 Dinámica de sistemas. El uso de la dinámica de sistemas en este proyecto está fundamentado en dos razones principales: primero, la existencia de demoras estructurales representadas por el tiempo necesario para el desarrollo de la planta, es decir, el tiempo que transcurre entre un estado fenológico y otro, y segundo, el efecto de la variable no controlable grados día en el desarrollo de la planta.

La Dinámica de Sistemas es una metodología para la construcción de modelos de simulación para sistemas complejos, como los que son estudiados por las ciencias sociales, la economía o la ecología.

El objeto de los modelos de Dinámica de Sistemas es llegar a comprender cómo la estructura del sistema es responsable de su comportamiento. Esta comprensión normalmente debe generar un marco favorable para la determinación de las acciones que puedan mejorar el funcionamiento del sistema o resolver los problemas observados.

La ventaja de la Dinámica de Sistemas consiste en que estas acciones pueden ser simuladas a bajo costo, con lo que es posible valorar sus resultados sin necesidad de ponerlas en práctica sobre el sistema real.

La dinámica de sistemas trabaja sobre sistemas dinámicos, los cuales son el modelo del comportamiento dinámico de un sistema, para la construcción de estos modelos es fundamental definir claramente los límites del sistema. El concepto de límite pretende explicar que el comportamiento de interés del sistema se genera en el interior de los límites y no viene dado por el medio (Aracil; 1986). Un modelo está compuesto por un conjunto de definiciones que permiten identificar los elementos que constituyen el sistema y un conjunto de relaciones que especifican las interacciones entre los elementos que aparecen en el modelo.

Los elementos que intervienen en el modelo pueden clasificarse como exógenos y endógenos, los primeros pueden ser modificados desde el exterior del mismo, mientras que los segundos están determinados completamente por la estructura del sistema.

Esta definición de modelo está acorde con el proyecto a realizar ya que en el cultivo del miniclavel interactúan variables que en conjunto afectan el desarrollo de la planta.

Para representar las relaciones entre los elementos del sistema se usaran los diagramas causales, los cuales se construyen con flechas que relacionan los elementos, y con signos que representan relaciones positivas o negativas.

Estos diagramas causales se usaran para identificar y cuantificar el impacto que genera los grados día en el desarrollo de la planta, así como el momento en el que se realiza el descabece en la calidad de la flor, lo cual nos permite comprender mejor la estructura del sistema.

Para simular estos diagramas causales se usaran los Diagrama Forrester, los elementos que constituyen el diagrama causal se representan por medio de variables, las cuales se clasifican en tres grupos: variables de nivel, variables de flujo y variables auxiliares.

Las variables de nivel constituyen el conjunto de variables cuya evolución es significativa para el estudio del sistema; las variables de flujo determinan las variaciones en los niveles del sistema y las variables auxiliares representan pasos o etapas en que se descompone el cálculo de una variable de flujo a partir de los valores tomados por los niveles (Forrester; 1981). Los diagramas de Forrester también incluyen canales de material y de información, así como retrasos y variables exógenas.

Por último un aspecto importante que se debe considerar en el estudio de sistemas dinámicos es el retraso que se produce en la transmisión de información o de materiales a lo largo de estos.

Al construir el diagrama causal de un sistema se debe considerar que la relación causal que liga a dos variables puede implicar la transmisión de información o material para la cual se requiere el transcurso de cierto tiempo, lo cual implica un retraso. Los retrasos de materiales se producen cuando existen elementos en el

sistema que almacenan el material que fluye por el mismo, en este caso estos retrasos generan almacenamiento de tallos en cada estado fenológico.

4.4 VARIABLES

Con base en lo expuesto en el marco teórico, a continuación se presentan las variables controlables y no controlables a considerar en este estudio:

Variables controlables

Las variables controlables a tener en cuenta son:

- Estado en el que se realiza el descabece
- Variedades de miniclavel a estudiar
- Camas a analizar

Variables no controlables

Las variables no controlables a tener en cuenta

- Grados día, temperatura
- Puntos producidos por la flor de acuerdo al estado fenológico en el que se llevó a cabo el descabece.

4.5 SUPUESTOS

En el cultivo de miniclavel el descabece afecta la calidad de la flor producida tal como ocurre con el desbotone en la rosa y en el clavel estándar.

El desarrollo fenológico del miniclavel depende de los grados día acumulados, tal como ocurre en la rosa y en el clavel estándar.

4.6 HIPÓTESIS

Existe una relación entre los grados día y el desarrollo fenológico del miniclavel.

El desarrollo fenológico en el que se realiza el descabece impacta en la cantidad promedio de puntos producidos en diferentes variedades de miniclavel.

5. CURVAS DE CRECIMIENTO DEL MINICLAVEL A PARTIR DE LOS GRADOS DÍA ACUMULADOS

Las curvas de crecimiento desarrolladas en el presente trabajo muestran la relación entre los grados día acumulados desde el momento de la siembra hasta que el diámetro del botón principal de los tallos estudiados alcanza diferentes tamaños.

5.1 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CURVAS

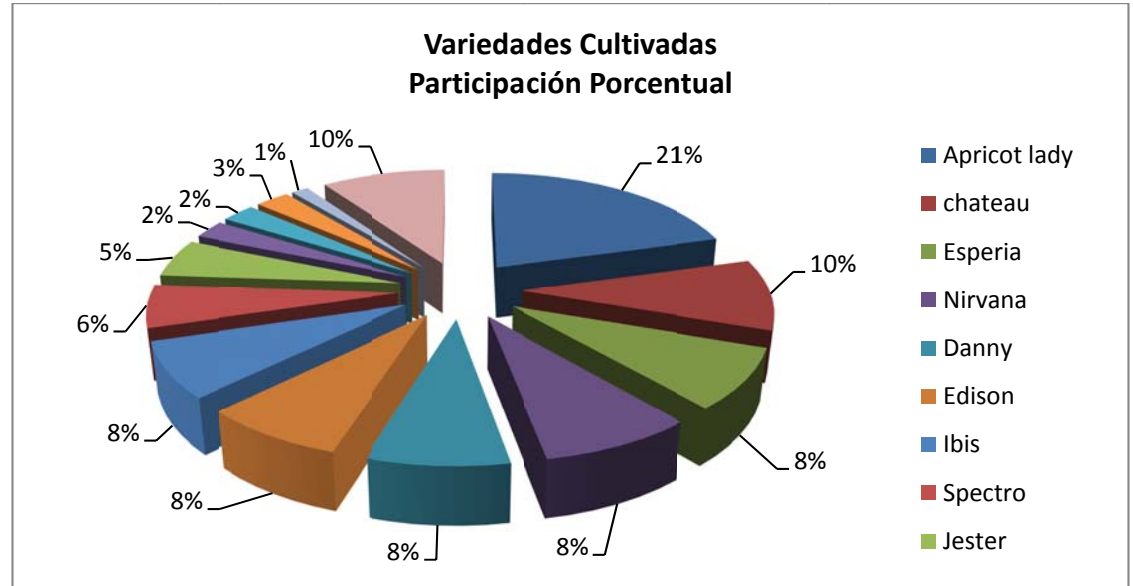
El desarrollo de las curvas de crecimiento se llevó a cabo en tres etapas: recolección de datos, análisis de la información y construcción de las curvas.

5.1.1 RECOLECCIÓN DE DATOS. La información requerida para el desarrollo de las curvas se centra en los grados día registrados en cada uno de los bloques en donde se encuentran sembradas las variedades a estudiar y en el tamaño de los botones estudiados.

5.1.1.1 Determinación de las variedades a estudiar. El presente estudio fue llevado a cabo en la empresa floricultora Florval Ltda., la cual es una empresa representativa en el cultivo de miniclavel en el país. Florval Ltda. cuenta con más de 30 hectáreas cultivadas de miniclavel, en las cuales se puede encontrar más de 20 variedades de la especie. Estas características convierten a Florval Ltda. en una de las empresas productoras de miniclavel más grandes de Colombia. La selección de las variedades a estudiar se realizó con base en el número de camas cultivadas de cada una de las variedades para los meses de agosto y septiembre, y en el interés particular de la empresa por el estudio de algunas variedades específicas.

La figura 6 muestra la participación porcentual de cada una de las variedades. Con base en la información mostrada se seleccionaron doce variedades a estudiar, las cuales, en conjunto, representan el 90.3% de los tallos sembrados para ser cortados en los meses de agosto y septiembre de 2011.

Figura 6 Variedades cultivadas participación porcentual



Fuente: Autor a partir del plan de siembras 2011 Florval Ltda.

Las variedades seleccionados fueron:

- Apricot lady
- Chateau
- Esperia
- Nirvana
- Danny
- Edison
- Ibis
- Spectro
- Jester
- Berry
- Cherry Tessino
- Purple spectro
- Milka

5.1.1.2 Determinación del tamaño de la muestra. Teniendo en cuenta que el tamaño de la población a estudiar es de 745.920 tallos se hace necesario seleccionar aleatoriamente una muestra asumiendo que el tamaño de la población es infinito. La tabla 1 muestra la cantidad de tallos sembrados para cada una de las variedades en estudio:

Tabla 1 Tallos cultivados por variedad

Variedad	Camas	Plantas Totales	Tallos Totales
Apricot lady	32	28.416	170.496
Chateau	15	13.320	79.920
Esperia	13	11.544	69.264
Nirvana	13	11.544	69.264
Danny	12	10.656	63.936
Edison	12	10.656	63.936
Ibis	12	10.656	63.936
Spectro	9	7.992	47.952
Jester	8	7.104	42.624
Berry	4	3.552	21.312
Cherry Tessino	4	3.552	21.312
Purple spectro	4	3.552	21.312
Milka	2	1.776	10.656
Total	140	124.320	745.920

Fuente: Autor a partir del plan de siembras 2011 Florval Ltda.

Inicialmente se realizó un muestreo para cada uno de los estados con el fin de obtener los datos para el cálculo del tamaño de la muestra, el cual se realizó con base en la ecuación (2).

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2}{e^2} \quad (2)$$

Donde:

z = Nivel de confianza

e =Error máximo aceptado

σ =Desviación estándar

n = Tamaño de la muestra

La tabla 2 muestra los cálculos realizados para obtener el tamaño de la muestra para cada uno de los estados

Tabla 2 Cálculo del tamaño de muestra

Estado	N	e^2	z^2	σ^2
Arveja	814,066932	0,0025	3,8416	0,52977075
Garbanzo	365,621271	0,0025	3,8416	0,23793554
Bola	943,061383	0,0025	3,8416	0,61371654
Estrella	383,577429	0,0025	3,8416	0,24962088
Ajustado	1149,14598	0,0025	3,8416	0,74783032

Fuente: Autor

Este tamaño de muestra fue obtenido con un error máximo admisible del 5% y un nivel de confianza del 95%. Posteriormente, el tamaño de muestra obtenido para cada uno de los estados fue distribuido proporcionalmente entre las variedades a estudiar con base en la cantidad de tallos sembrados. La tabla 3 muestra la cantidad de tallos para cada una de las variedades en estudio:

Tabla 3 Tamaño de muestra para cada variedad y estado

Variedad	Participación porcentual Tallos sembrados	Tamaño de muestra Arveja	Tamaño de muestra Garbanzo	Tamaño de muestra Bola	Tamaño de muestra Estrella	Tamaño de muestra Ajustado
Apricot lady	23%	186	84	216	88	263
Chateau	11%	87	39	101	41	123
Esperia	9%	76	34	88	36	107
Nirvana	9%	76	34	88	36	107
Danny	9%	70	31	81	33	98
Edison	9%	70	31	81	33	98
Ibis	9%	70	31	81	33	98
Spectro	6%	52	24	61	25	74
Jester	6%	47	21	54	22	66
Berry Cherry	3%	23	10	27	11	33
Tessino	3%	23	10	27	11	33
Purple spectro	3%	23	10	27	11	33
Milka	1%	12	5	13	5	16
Total	100%	815	364	945	385	1149

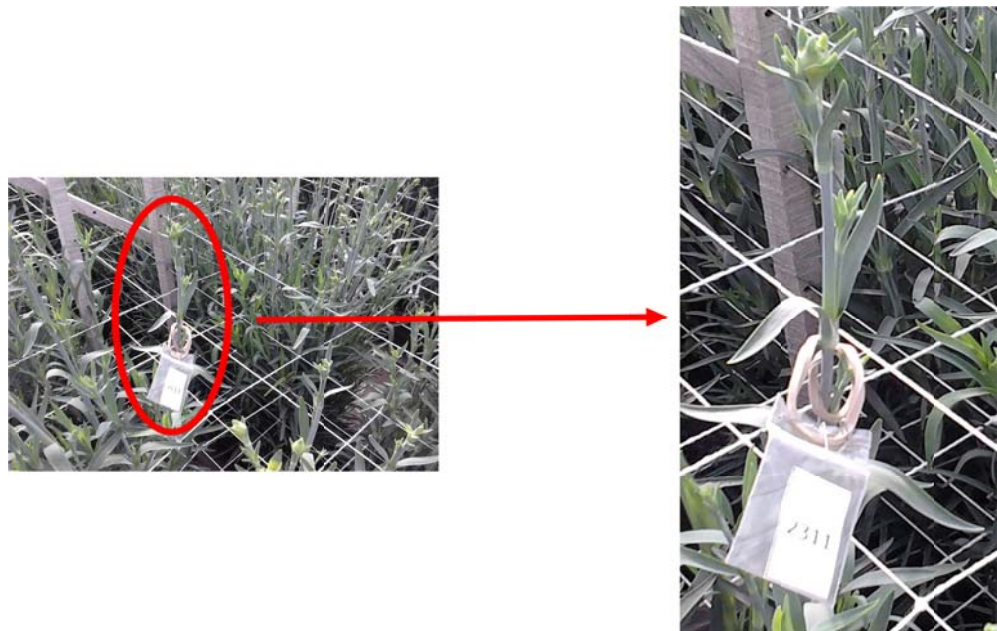
Fuente: Autor

Debido a las condiciones del cultivo, el tamaño de muestra mínimo tomado fue de 50 tallos con el fin de evitar pérdidas de información ocasionadas por las pérdidas de tallos en cultivo.

5.1.1.3 Marcación de tallos. Para el proceso de recolección de datos fueron marcados tallos aleatoriamente en las camas cultivadas. A cada uno de los tallos le fue colgada una etiqueta numerada para facilitar su identificación.

Los tallos marcados se encontraban en estado de diferenciación, es decir, se seleccionaron tallos que acaban de iniciar su periodo productivo. Los datos almacenados asociados a esta marcación fueron: ubicación (bloque, nave y cama), fecha de siembra y fecha de diferenciación, la cual, en este caso es la misma fecha en la que se realizó la marcación de tallos. La figura 7 muestra un ejemplo de la marcación realizada:

Figura 7 Marcación de tallos



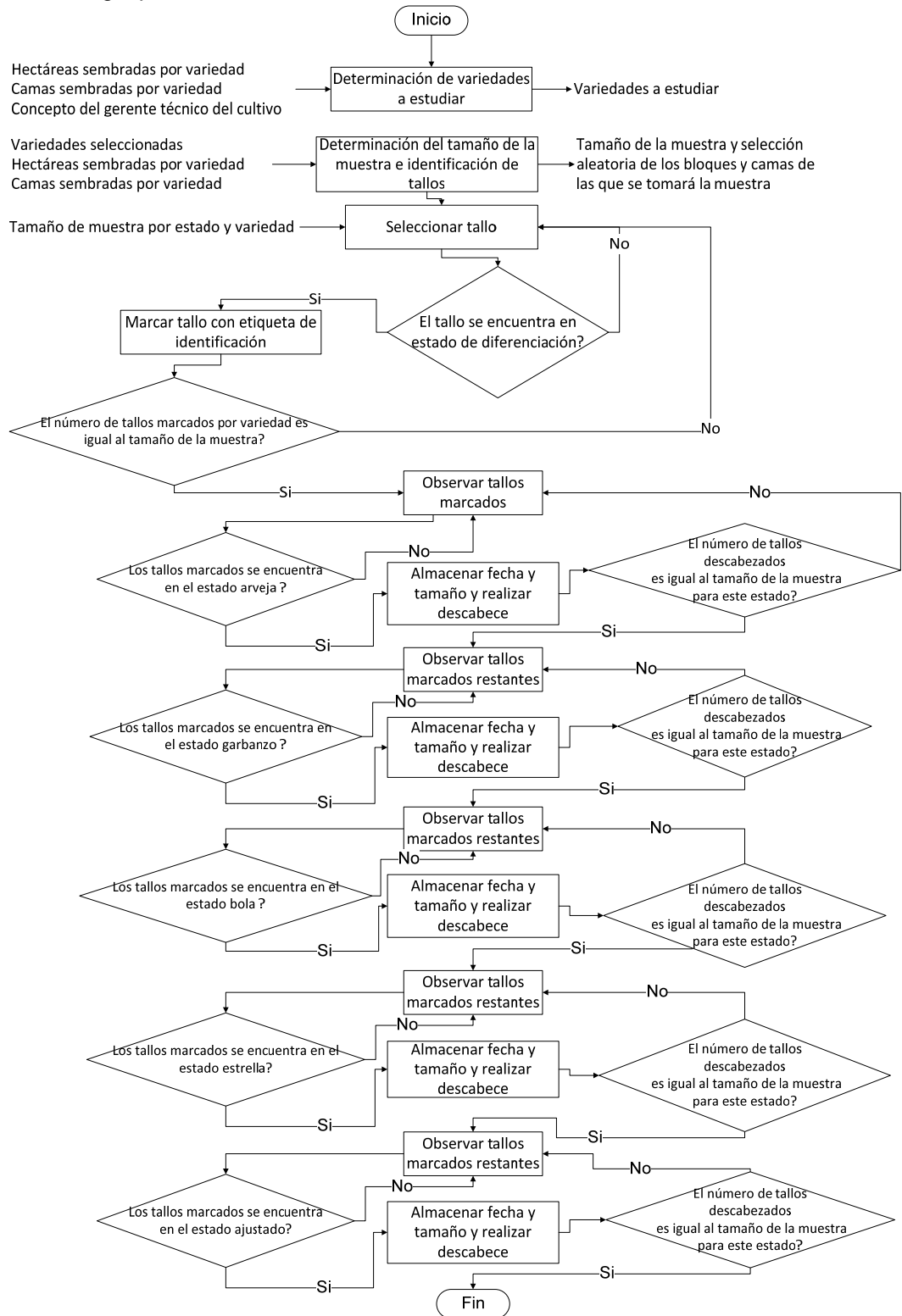
Fuente: Trabajo de campo

5.1.1.4 Recolección de datos. Con base en la definición de estados fenológicos presentada en el marco de referencia del presente documento y de acuerdo al tamaño de la muestra, se seleccionaron tallos que pasaron del estado diferenciación al estado arveja, del estado arveja al estado garbanzo, del estado garbanzo al estado bola, del estado bola al estado estrella y del estado estrella al estado ajustado. La información asociada a este proceso fue el tamaño del diámetro del botón principal de cada tallo y la fecha en la que se realizó el seguimiento, con el fin de determinar posteriormente los grados día acumulados.

Con el fin de identificar claramente cada uno de los estados de desarrollo se construyó la herramienta mostrada en el Anexo A, de acuerdo a los estados presentados en el marco de referencia del presente documento. Paralelamente se realizó el descabece de los tallos en cada uno de los estados, por ejemplo para los tallos que pasaron de diferenciación a arveja no solo se tomó como dato la fecha de cambio y el tamaño, también se realizó el descabece con el fin de determinar posteriormente la fecha de corte y la cantidad de puntos que produce cada una de las variedades de acuerdo al momento en que se lleva a cabo el descabece. La metodología para la recolección de información es mostrada en la figura 8.

Esta metodología para la recolección de datos es válida ya que todos los esquejes usados en el cultivo son clonados, es decir, tienen las mismas características genéticas y por lo tanto se espera que no se encuentren diferencias significativas entre cada uno de los tallos observados.

Figura 8 Metodología para la recolección de datos



Fuente: Autor

5.1.2 Análisis de información. El análisis de datos se llevo a cabo en dos etapas, primero fueron calculados los grados día acumulados por cada uno de los tallos y posteriormente fueron realizadas pruebas de bondad de ajuste para determinar si los datos se ajustan a una determinada distribución de probabilidad continua.

5.1.2.1 Cálculo de los grados día acumulados. Una vez recopilada toda la información acerca de las fechas se determinaron los grados día acumulados para cada tallo marcado. Para esto se utilizó la información recolectada por los dataloggers que se encuentran instalados en el cultivo entre 1,7 y 1,8 metros de altura. Los dataloggers registran cada media hora la temperatura, en grados centígrados, del bloque en donde se encuentran ubicados, por lo cual se contó con información suficiente para realizar el análisis.

Con la información suministrada se identificó diariamente la temperatura máxima y mínima de cada uno de los bloques, con el fin de aplicar la ecuación (1) presentada en el marco de referencia del presente documento:

$$GDC = \left[\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right] - T_{base} \quad (1)$$

La tabla 4 muestra la información referente al tallo N° 2083 el cual pertenece a la variedad Berry.

Tabla 4 Datos recolectados. Tallo 2083

Bloque	Nave	Cama	Fecha de siembra	Fecha de diferenciación	Fecha de descabece	Tamaño (mm)
14	24	11	12/01/2011	04/06/2011	25/06/2011	11

Fuente: Trabajo de campo

Para determinar los grados día acumulados es necesario determinar la temperatura mínima y máxima diariamente desde la fecha de siembra, para posteriormente hacer el caculo de los grados día diariamente. Por ejemplo para el 13 enero de 2011 se registró una temperatura máxima de 34,01°C y una temperatura mínima de 10,21°C, aplicando la ecuación (1) se tiene:

$$GDC = \left[\frac{34,01^{\circ}C + 10,21^{\circ}C}{2} \right] - 0,12^{\circ}C = 21,99^{\circ}C \quad (1)$$

Donde $0,12^{\circ}C$ es la temperatura base del clavel, encontrada por López, Chaves, Flórez y Salazar (2010).

Cabe anotar que los grados día acumulados fueron calculados en grados centígrados para todos los análisis realizados en el presente estudio.

Posteriormente se realizó la sumatoria de los grados día desde la fecha de siembra hasta la fecha de diferenciación y desde la fecha de siembra hasta la fecha en la que se realizó el descabece, en este caso el tallo acumuló 2962.38 grados día hasta la diferenciación y 3407,345 grados día hasta el descabece, el cual se realizó cuando el botón tenía un diámetro ecuatorial de 11 mm.

Este procedimiento fue realizado para todos los tallos marcados.

5.1.2.2 Pruebas de bondad de ajuste. Las curvas de crecimiento fueron construidas a partir de los resultados obtenidos de las pruebas de bondad de ajuste realizadas. Los pasos seguidos para realizar las pruebas fueron:

Pruebas de Independencia: Con el fin de determinar si los datos son independientes se realizaron las pruebas de corridas arriba y abajo y corridas arriba y abajo del promedio. El objetivo de estas pruebas fue determinar si los tamaños del diámetro de los tallos, presentados para diferentes niveles de grados día acumulados, dependen de la variedad estudiada, o si por el contrario, todas las variedades presentan el mismo comportamiento.

El anexo B presenta los resultados obtenidos, en donde se observa que las pruebas realizadas fueron rechazadas para todos los niveles de grados día

estudiados, es decir, para analizar adecuadamente los datos se hace necesario separarlos de acuerdo a la variedad estudiada y los grados día acumulados.

Pruebas de bondad de ajuste: Una vez separados los datos de acuerdo con los resultados de las pruebas de independencia, se llevaron a cabo las pruebas de bondad de ajuste. Los datos ajustados corresponden al tamaño observado para cada variedad estudiada en los diferentes niveles de grados día acumulados. Las pruebas realizadas fueron Anderson Darling, Kolmogorov Smirnov y Chi Cuadrado.

Los resultados obtenidos para cada una de las variedades estudiadas se muestran a continuación:

Apricot Lady

Al realizar las pruebas de bondad de ajuste se encontró que para esta variedad la diferenciación ocurre a los 2881,8 grados día después de la siembra de acuerdo a la distribución Pert(2861,3; 2781,1; 3064,1). La tabla 5 muestra las distribuciones obtenidas para cada grupo conformado:

Tabla 5 Distribuciones de probabilidad. Variedad Apricot Lady

Grados día acumulados después de la diferenciación	Distribución de probabilidad	Tamaño medio (mm)
290,0375	Pareto(332,19; 9)	9,0272
496,085	Weibull(21,111; 11,992)	11,689
631,135	Erlang(22; 0,57292)	12,604
712,27	Erlang(1; 0,6686; 14,0)	14,936
848,585	Logistic(0,48286; 17,727)	17,727
917,65	ChiSqr(3; 15,902)	18,902

Fuente: Autor

Chateau

Al realizar las pruebas de bondad de ajuste se encontró que para esta variedad la diferenciación ocurre a los 2656 grados. La tabla 6 muestra las distribuciones obtenidas para cada grupo conformado:

Tabla 6 Distribuciones de probabilidad. Variedad Chateau

Grados día acumulados después de la diferenciación	Distribución de probabilidad	Tamaño medio (mm)
324,57	Pareto(6,8441; 8)	9,3689
514,03	Pert(11,0; 11,0; 17,768)	12,128
702,505	Weibull(23,732; 13,84)	13,527
836,185	Pareto(101,33; 16)	16,159
948,335	Beta(0,32194; 0,16759; 15,0; 18,0)	16,973
1040,175	Uniform(16,903; 20,697)	18,800

Fuente: Autor

Esperia

Al realizar las pruebas de bondad de ajuste se encontró que para esta variedad la diferenciación ocurre a los 2790,5 grados día después de la siembra de acuerdo a la distribución $\text{Exp}(0,10625; 2781,1)$. La tabla 7 muestra las distribuciones obtenidas para cada grupo conformado:

Tabla 7 Distribuciones de probabilidad. Variedad Esperia

Grados día acumulados después de la diferenciación	Distribución de probabilidad	Tamaño medio (mm)
324,57	Constante	9,000
514,03	Weibull(9,0577; 11,274)	10,679
631,135	Frechet(18,689; 13,611)	14,072
781,335	LogLogistic(38,129; 16,07)	16,088
917,65	Pert(18,0; 14,266; 18,0)	17,378

Fuente: Autor

Nirvana

Al realizar las pruebas de bondad de ajuste se encontró que para esta variedad la diferenciación ocurre a los 1966,7 grados día después de la siembra de acuerdo a la distribución $\text{Rayleigh}(1569,2)$. La tabla 8 muestra las distribuciones obtenidas para cada grupo conformado:

Tabla 8 Distribuciones de probabilidad. Variedad Nirvana

Grados día acumulados después de la diferenciación	Distribución de probabilidad	Tamaño medio (mm)
407,25	Pearson6(8,1197; 1,4907E+9; 1,8549E+9)	10,103
444,965	Exp(0,08845)	11,306
653,1866	Lognormal(0,02815; 3,7207; -26,798)	14,514
825,61	LogPearson3(26,138; -0,01034; 3,0952)	16,884
1325,635	Constante	18,000

Fuente: Autor

Danny

Al realizar las pruebas de bondad de ajuste se encontró que para esta variedad la diferenciación ocurre a los 2364,7 grados día después de la siembra de acuerdo a la distribución Exp(4,2288E-4). La tabla 9 muestra las distribuciones obtenidas para cada grupo conformado:

Tabla 9 Distribuciones de probabilidad. Variedad Danny

Grados día acumulados después de la diferenciación	Distribución de probabilidad	Tamaño medio (mm)
324,57	Erlang(165; 0,05631)	9,2903
402,595	LogLogistic(28,775; 11,615)	11,638
514,03	Weibull 3P(2,7007; 3,863; 10,524)	13,959
556,805	Erlang(348; 0,04082)	14,204
631,135	Weibull(15,67; 16,982)	16,422
836,185	Pareto(11,485; 16)	17,526

Fuente: Autor

Edisson

Al realizar las pruebas de bondad de ajuste se encontró que para esta variedad la diferenciación ocurre a los 2471,1 grados día después de la siembra de acuerdo a la distribución Triangular (2440,0; 2414,5; 2558,8). La tabla 10 muestra las distribuciones obtenidas para cada grupo conformado:

Tabla 10 Distribuciones de probabilidad. Variedad Edison

Grados día acumulados después de la diferenciación	Distribución de probabilidad	Tamaño medio (mm)
356,6475	GenGamma(1,0109; 195,44; 0,04921)	9,0833
433,44	Weibull(8,2801; 10,203)	9,6245
489,185	LogLogistic(31,815; 11,781)	11,800
552,95	Normal(0,8165; 14)	14,000
696,495	LogLogistic(31,819; 16,982)	17,009
819,41	Beta(0,72923; 0,04244; 14,289; 18,0)	17,796

Fuente: Autor

Ibis

Al realizar las pruebas de bondad de ajuste se encontró que para esta variedad la diferenciación ocurre a los 2758,3 grados día después de la siembra de acuerdo a la distribución Pareto (14,845; 2572,5). La tabla 11 muestra las distribuciones obtenidas para cada grupo conformado:

Tabla 11 Distribuciones de probabilidad. Variedad Ibis

Grados día acumulados después de la diferenciación	Distribución de probabilidad	Tamaño medio (mm)
255,505	ChiSqr(8)	9,2708
444,965	LogLogistic(29,149; 11,57)	11,592
551,95	Uniform(12,363; 15,031)	13,697
688,265	Constante	16,000
848,585	Pareto(78,351; 16)	16,207
930,845	Pareto(6,6975; 16)	18,808

Fuente: Autor

Spectro

Al realizar las pruebas de bondad de ajuste se encontró que para esta variedad la diferenciación ocurre a los 2224,4 grados día después de la siembra de acuerdo a la distribución Weibull (40,017; 2255,6). La tabla 12 muestra las distribuciones obtenidas para cada grupo conformado:

Tabla 12 Distribuciones de probabilidad. Variedad Spectro

Grados día acumulados después de la diferenciación	Distribución de probabilidad	Tamaño medio (mm)
203,2675	Pareto(36,677; 8)	9,2708
373,86	Weibull(6,8469; 10,86)	11,592
407,25	Pearson5(215,14; 2879,6)	13,697
556,805	Rayleigh(3,2598; 11,871)	16,207
690,485	Constante	18,808
802,635	Beta(0,37725; 0,09928; 17,0; 20,0)	19,375

Fuente: Autor

Jester

Al realizar las pruebas de bondad de ajuste se encontró que para esta variedad la diferenciación ocurre a los 2498,5 grados día después de la siembra de acuerdo a la distribución Exp(4,0024E-4). La tabla 13 muestra las distribuciones obtenidas para cada grupo conformado:

Tabla 13 Distribuciones de probabilidad. Variedad Jester

Grados día acumulados después de la diferenciación	Distribución de probabilidad	Tamaño medio (mm)
325,07	Pareto(4,1676; 8)	10,526
478,22	Weibull(17,537; 11,716)	11,366
552,95	Weibull(14,546; 14,324)	13,819
631,135	Pert(13,002; 13,0; 22,338)	14,557
702,505	ChiSqr(16)	16,000
781,335	Pearson6(1,9477; 4,4331E+7; 3,8330E+7; 14,818)	16,502
836,185	Erlang(302; 0,04511; 3,8389)	17,463
948,335	Pareto(48,812; 18)	18,376

Fuente: Autor

Berry

Al realizar las pruebas de bondad de ajuste se encontró que para esta variedad la diferenciación ocurre a los 3042,4 grados día después de la siembra de acuerdo a la distribución Pert(3043,9; 2781,1; 3297,7). La tabla 14 muestra las distribuciones obtenidas para cada grupo conformado:

Tabla 14 Distribuciones de probabilidad. Variedad Berry

Grados día acumulados después de la diferenciación	Distribución de probabilidad	Tamaño medio (mm)
324,57	Uniform(7,794; 10,206)	9,000
444,965	ChiSqr(11)	11,000
551,95	Erlang(716; 0,01922)	13,760
659,7	Beta(1,3165; 0,55947; 12,6; 17,0)	15,688
781,335	Pareto(10,457; 15)	16,586
835,75	Constante	18,000

Fuente: Autor

Cherry Tessino

Al realizar las pruebas de bondad de ajuste se encontró que para esta variedad la diferenciación ocurre a los 2775,69 grados día después de la siembra. La tabla 15 muestra las distribuciones obtenidas para cada grupo conformado:

Tabla 15 Distribuciones de probabilidad. Variedad Cherry Tessino

Grados día acumulados después de la diferenciación	Distribución de probabilidad	Tamaño medio (mm)
255,505	ChiSqr(8)	8,000
514,1325	Erlang(28; 0,15023; 8,4911)	12,547
631,135	Beta(7,6567; 1,0725E+7; 12,36; 2,5190E+6)	14,159
712,27	Pareto(77,762; 16)	16,143
781,335	Constante	17,000
848,585	Pareto(68,811; 18)	18,265

Fuente: Autor

Purple Spectro

Al realizar las pruebas de bondad de ajuste se encontró que para esta variedad la diferenciación ocurre a los 2811,2 grados día después de la siembra de acuerdo con la distribución Triangular(2809,6; 2732,2; 2891,9). La tabla 16 muestra las distribuciones obtenidas para cada grupo conformado:

Tabla 16 Distribuciones de probabilidad. Variedad Purple Spectro

Grados día acumulados después de la diferenciación	Distribución de probabilidad	Tamaño medio (mm)
255,505	Exp(0,11905)	8,000
407,25	Constante	12,000
444,965	LogPearson3(9,8374; 0,02521; 2,2338)	12,001
556,805	Erlang(240; 0,06482)	15,56,0
701,378	Lognormal(0,02499; 3,3689; -11,584)	17,470
848,585	Constante	18,00

Fuente: Autor

Milka

Al realizar las pruebas de bondad de ajuste se encontró que para esta variedad la diferenciación ocurre a los 2764,7 grados día después de la siembra según la distribución de probabilidad Pearson6(386,4; 1,2930E+9; 9,2513E+9). La tabla 17 muestra las distribuciones obtenidas para cada grupo conformado:

Tabla 17 Distribuciones de probabilidad. Variedad Milka

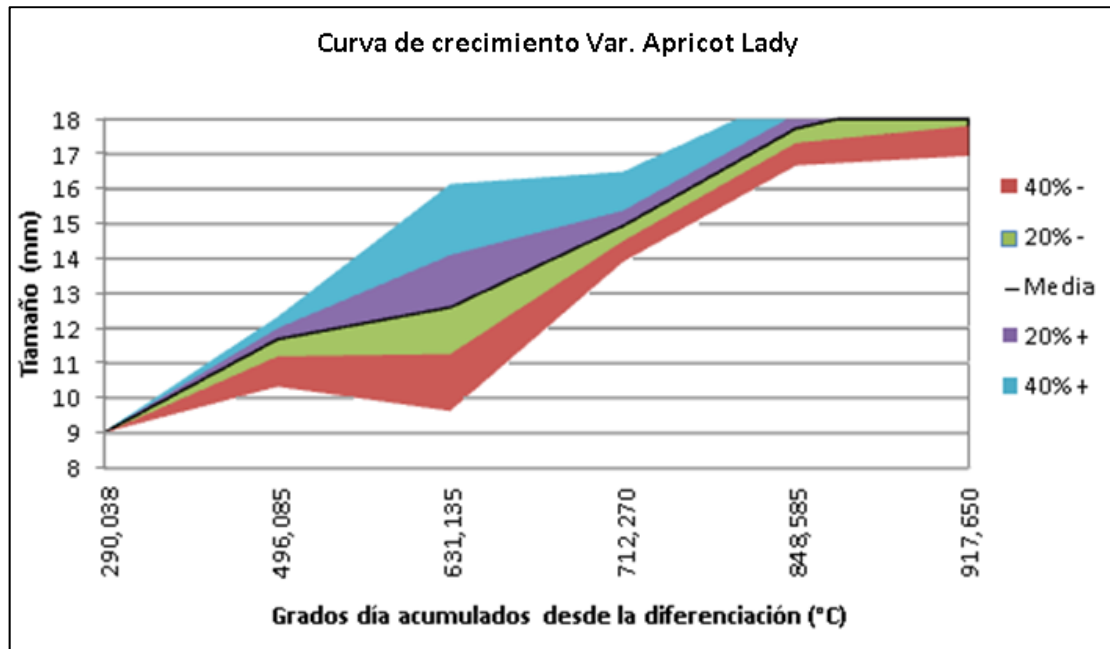
Grados día acumulados después de la diferenciación	Distribución de probabilidad	Tamaño medio (mm)
324,57	Constante	9,000
444,965	Weibull(23,562; 12,02)	11,746
514,03	Uniform(10,769; 14,517)	12,643
712,27	Uniform(13,087; 18,394)	15,741
781,335	Weibull(14,615; 17,812)	17,726

Fuente: Autor

5.1.3 Curvas de crecimiento. Las distribuciones de probabilidad encontradas para cada una de las variedades estudiadas permitieron construir las curvas de crecimiento, teniendo en cuenta diferentes probabilidades de ocurrencia y por lo tanto tamaños para diferentes valores de grados día.

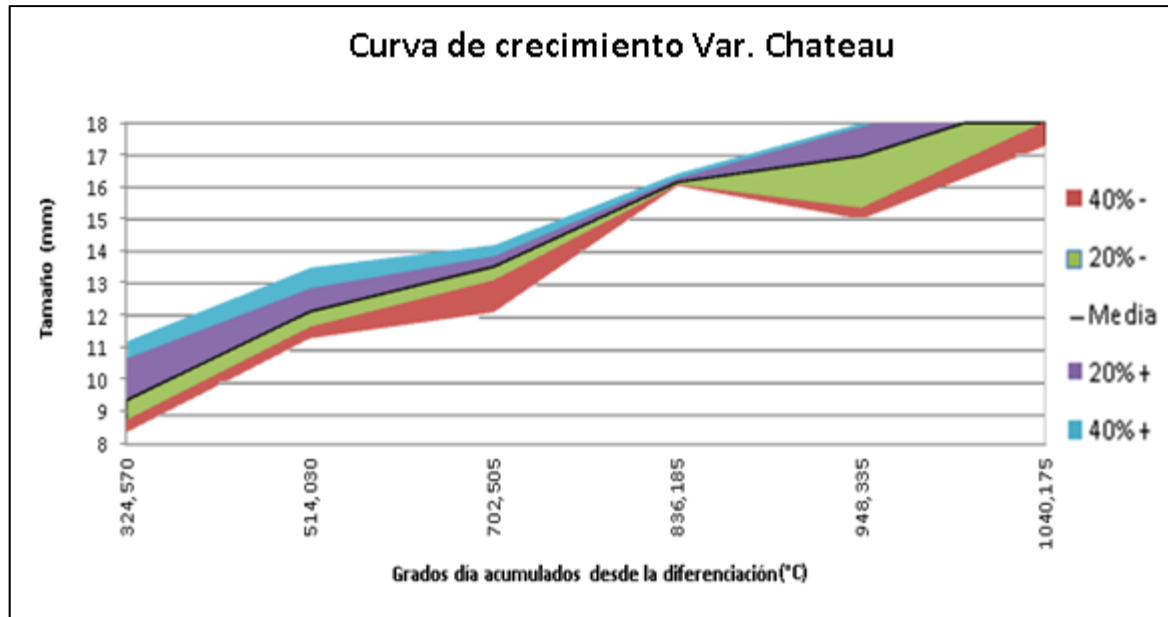
A continuación se muestran las curvas de crecimiento para cada una de las variedades, contemplando la media, y los tamaños que se encuentran 40% y 20% por encima y por debajo de la probabilidad de ocurrencia de la media.

Figura 9 Curva de crecimiento. Variedad Apricot Lady



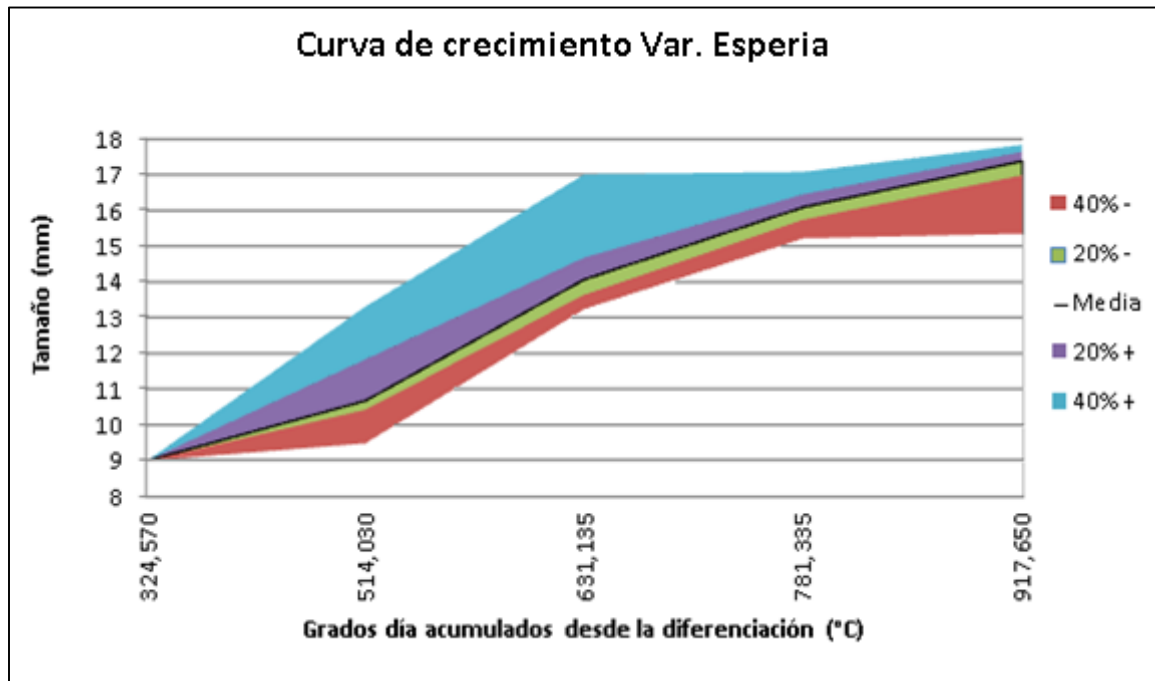
Fuente: Autor

Figura 10 Curva de crecimiento. Variedad Chateau



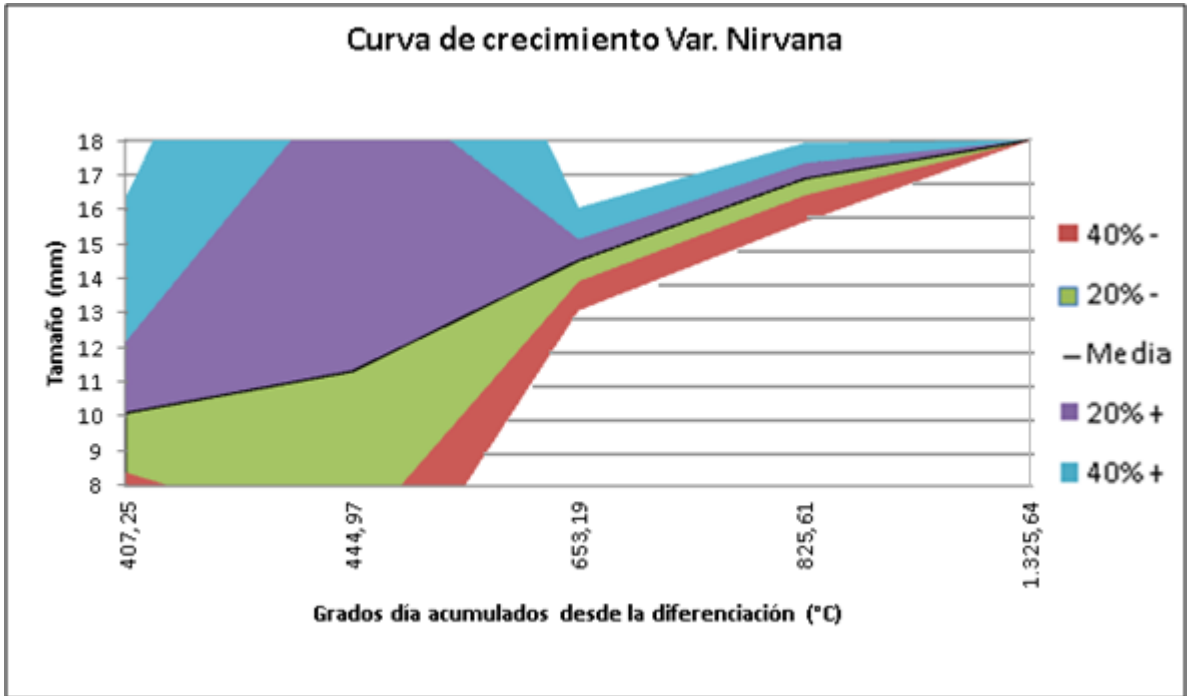
Fuente: Autor

Figura 11 Curva de crecimiento. Variedad Esperia



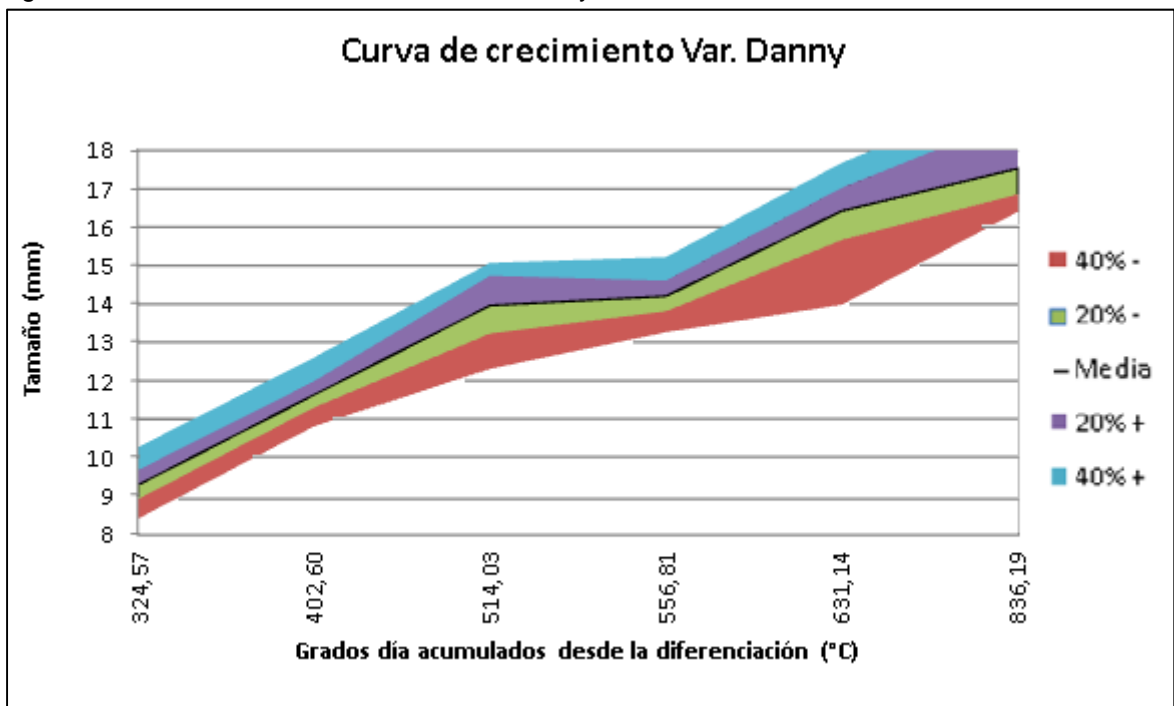
Fuente: Autor

Figura 12 Curva de crecimiento. Variedad Nirvana



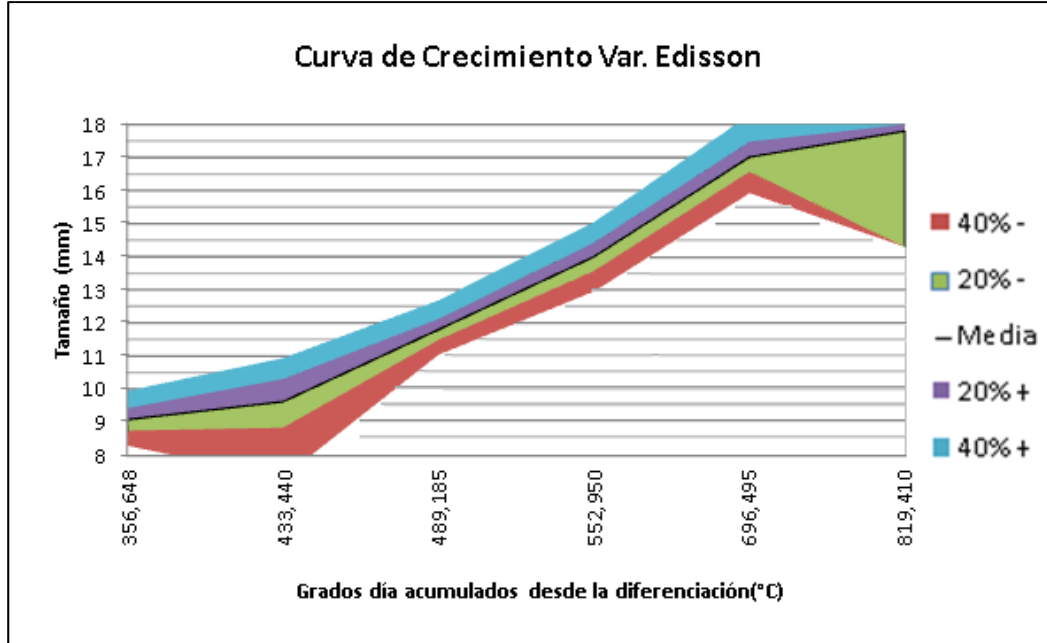
Fuente: Autor

Figura 13 Curva de crecimiento. Variedad Danny



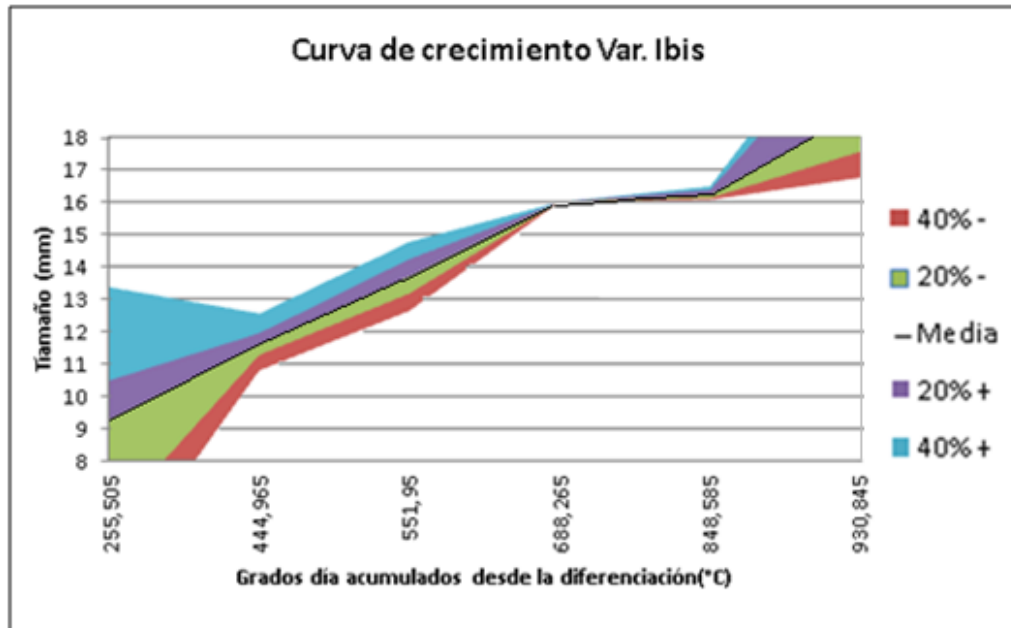
Fuente: Autor

Figura 14 Curva de crecimiento. Variedad Edison



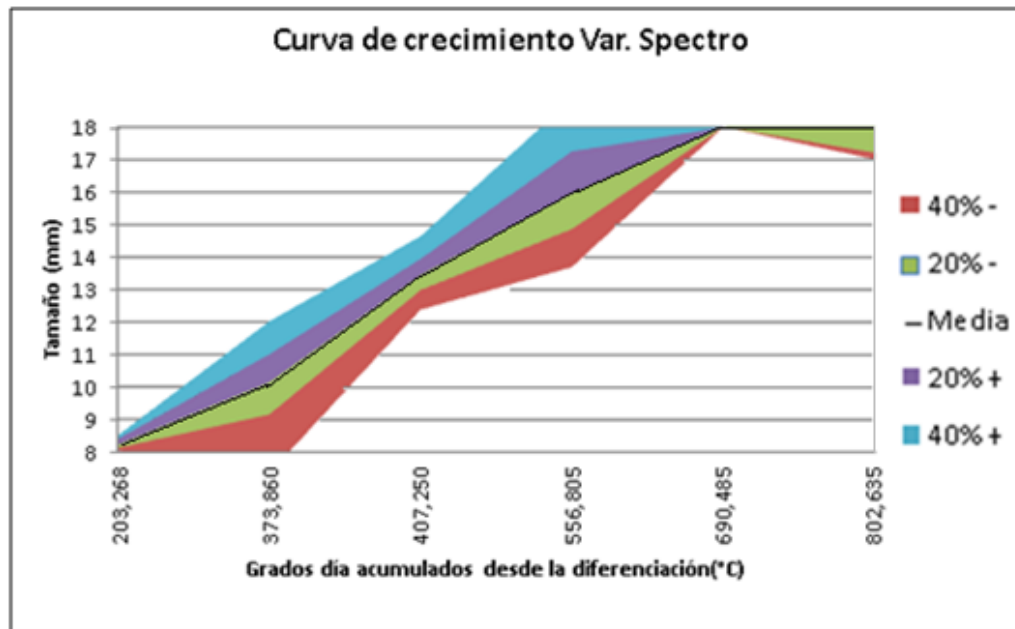
Fuente: Autor

Figura 15 Curva de crecimiento. Variedad Ibis



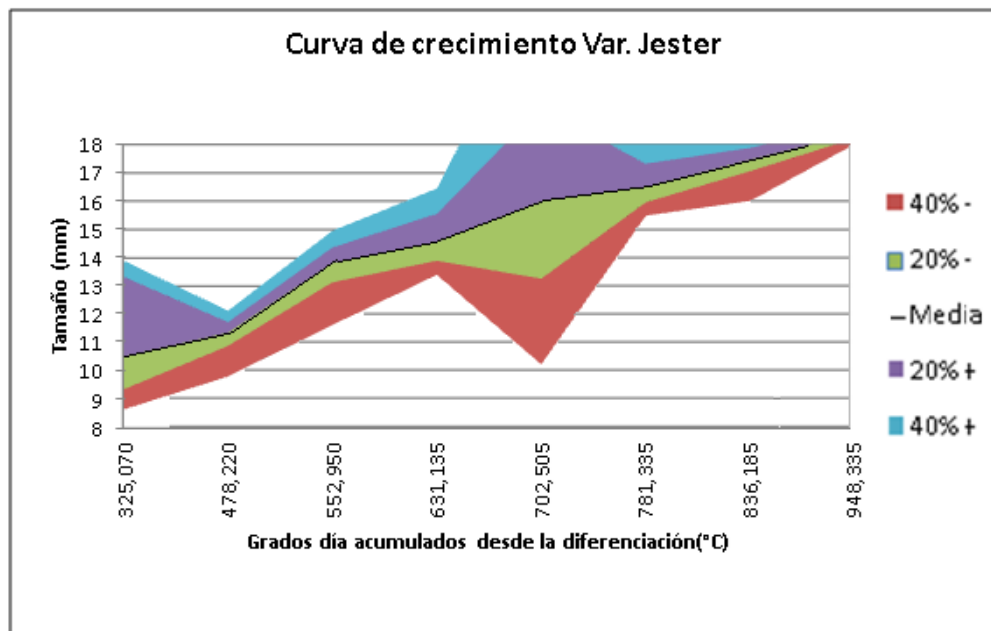
Fuente: Autor

Figura 16 Curva de crecimiento. Variedad Spectro



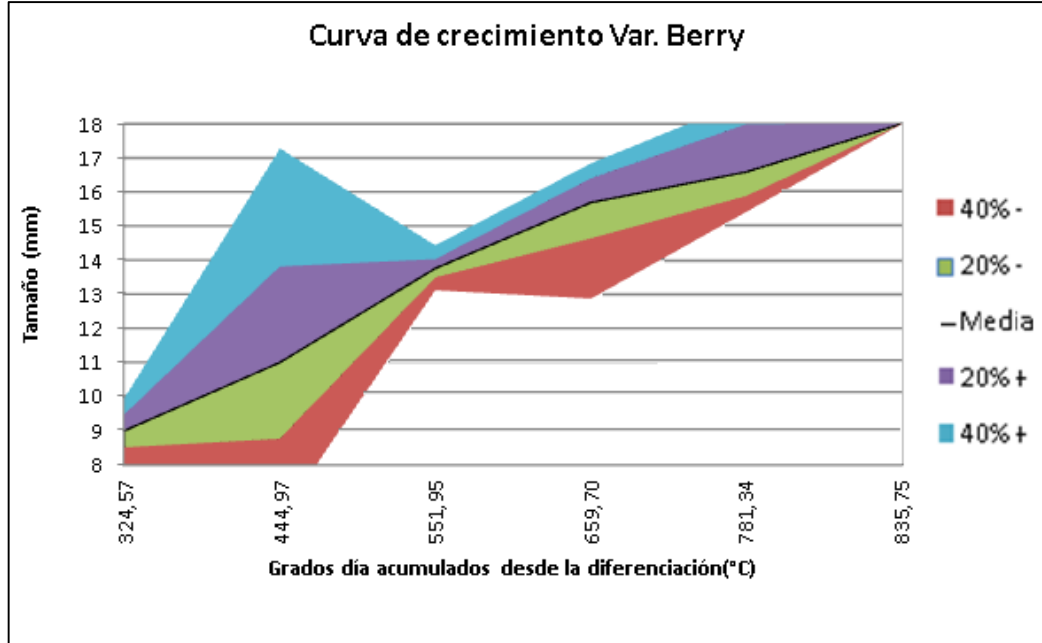
Fuente: Autor

Figura 17 Curva de crecimiento. Variedad Jester



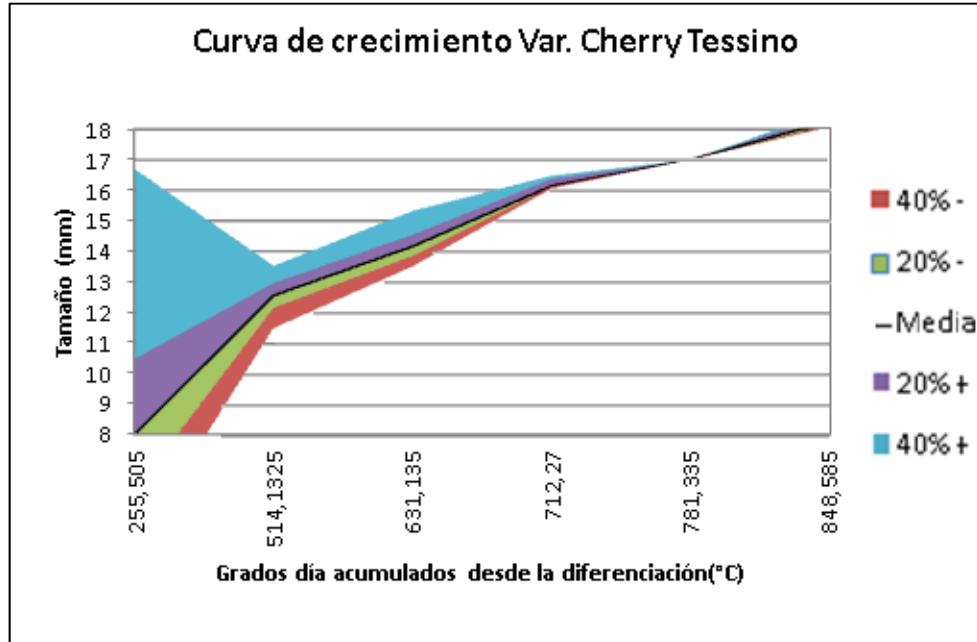
Fuente: Autor

Figura 18 Curva de crecimiento. Variedad Berry



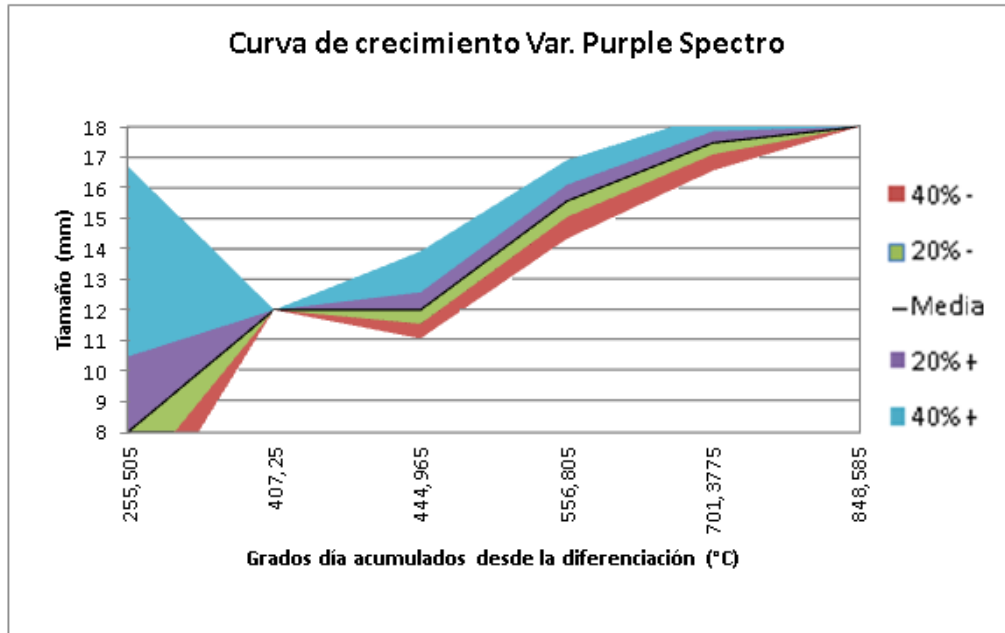
Fuente: Autor

Figura 19 Curva de crecimiento. Variedad Cherry Tessino



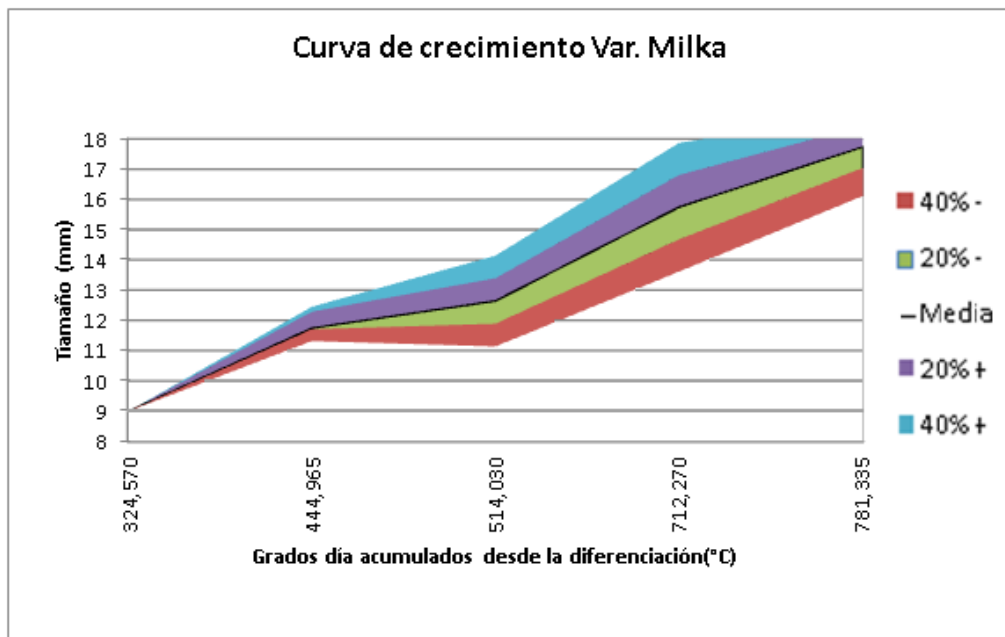
Fuente: Autor

Figura 20 Curva de crecimiento. Variedad Purple Spectro



Fuente: Autor

Figura 21 Curva de crecimiento. Variedad Milka



Fuente: Autor

6. PRODUCTIVIDAD

La productividad del miniclave está directamente relacionada con el estado fenológico en el cual se lleva a cabo el descabece (Torres; ND). El análisis de productividad presentado en este documento permite determinar el estado fenológico ideal para cada variedad a fin de obtener el mayor número de puntos por tallo, adicionalmente, se presentan los grados día acumulados requeridos desde el descabece en diferentes estados hasta el corte, brindando información fundamental para la planeación del cultivo.

6.1 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD

El análisis de productividad se realizó en tres grandes partes: recolección de datos en cultivo y poscosecha, análisis de puntos por tallo y por último análisis de los grados día requeridos desde el descabece hasta el corte.

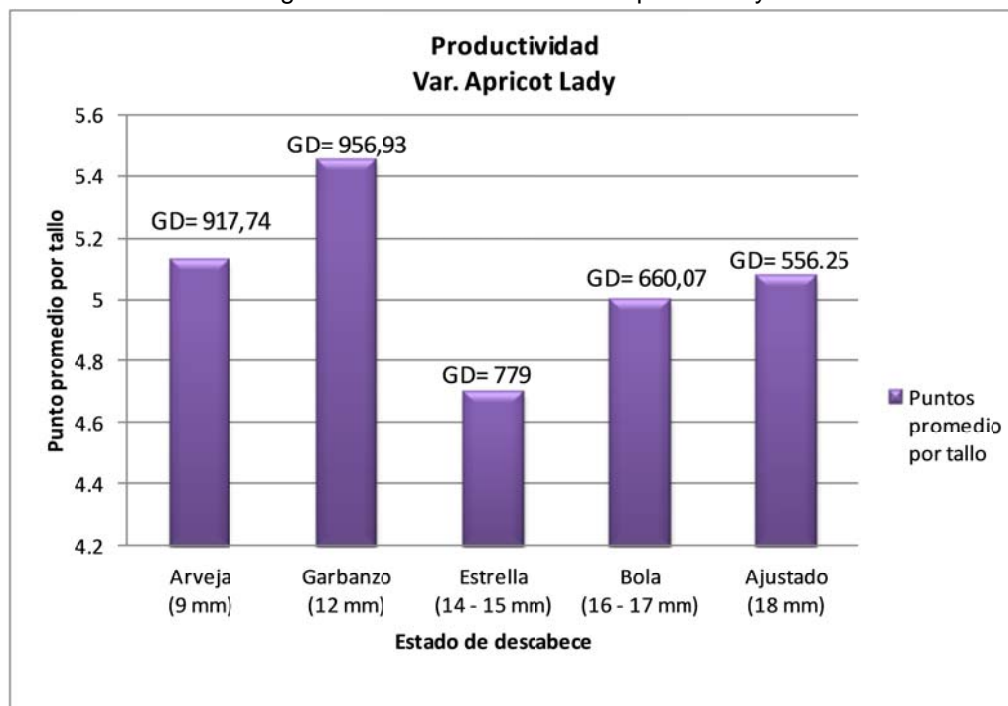
6.1.1 Recolección de datos. El presente análisis parte de la información recolectada en campo, tal como se explicó en la sección 5.1.4 de este documento. Fueron descabezados tallos en los cinco estados de desarrollo fenológico definidos para las variedades estudiadas. Una vez llegado el momento de corte, los tallos fueron almacenados en poscosecha, en donde fueron contados los puntos de cada tallo, entendiéndose por punto aquel botón cuya apertura de pétalos es mayor o igual a 3 mm.

6.1.2 Análisis de puntos por tallo. Con la información recolectada en poscosecha fueron realizadas pruebas de bondad de ajuste con el fin de determinar los puntos promedio por tallo de acuerdo al estado fenológico en el cual se realiza el descabece. Las figuras 22 a 33 muestran los resultados obtenidos para cada variedad estudiada.

6.1.3 Análisis de grados día requeridos desde el descabece hasta le corte.

De igual manera, fueron calculados los grados día desde el descabece hasta el corte de acuerdo con la ecuación (1) presentada en la sección 4.2.2 del presente documento. Posteriormente fueron realizadas pruebas de bondad de ajuste para determinar los grados día promedio requeridos para cada variedad. A continuación se presenten los resultados obtenidos para cada una de las variedades estudiadas:

Figura 22 Productividad Var. Apricot Lady



Fuente: Autor

Tabla 18 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Apricot Lady

Estado	Distribución de probabilidad para los puntos por tallo	Distribución de probabilidad para los GDA descabece / corte
Arveja (9 mm)	Beta(16,56; 5,1271; -3,3249; 7,7477)	Exp(0,00109)
Garbanzo (12 mm)	Beta(0,13044; 0,04892; 4,0; 6,0)	Pearson5(6,5657; 698,94; 831,35)
Estrella (14 - 15 mm)	Erlang(46; 0,10218)	ChiSqr(779)
Bola (16 - 17 mm)	Uniform(3,5229; 6,4771)	LogLogistic(18,908; 657,04)
Ajustado (18 mm)	Weibull(5,4979; 5,2702)	Weibull(6,8989E+7; 3,6485E+9; -3,6485E+9)

Fuente: Autor

Figura 23 Productividad Var. Chateau



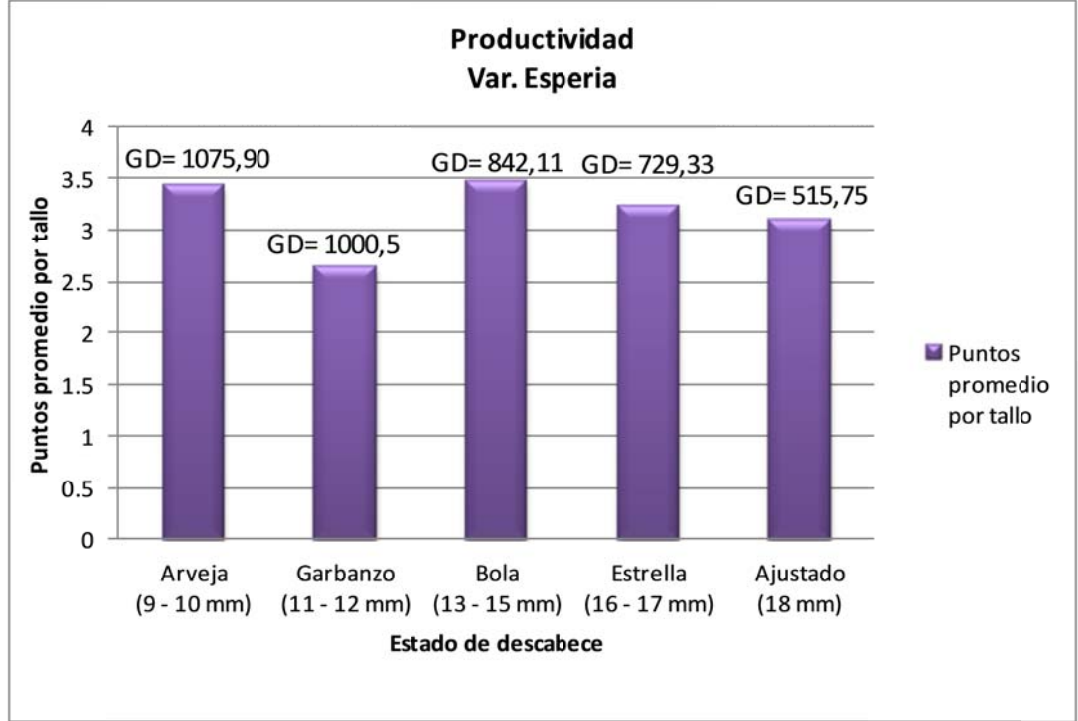
Fuente: Autor

Tabla 19 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Chateau

Estado	Distribución de probabilidad para los puntos por tallo	Distribución de probabilidad para los GDA descabece / corte
Arveja (8 - 10 mm)	LogLogistic(5,4292; 4,2581)	Erlang(1; 80,681; 974,99)
Garbanzo (11 - 12 mm)	Exp(0,58065; 2,0)	Pearson5(63,791; 58299,0)
Bola (13 - 15 mm)	Logistic(0,45457; 5,4138)	LogLogistic(9,6206E+8; 6,0229E+10; -6,0229E+10)
Estrella (16 - 17 mm)	Rayleigh(4,2725)	Beta(0,14065; 0,21476; 593,17; 721,79)
Ajustado (18 mm)	Normal(0,87026; 5,4118)	Exp(1,188; 609,63)

Fuente: Autor

Figura 24 Productividad Var. Esperia



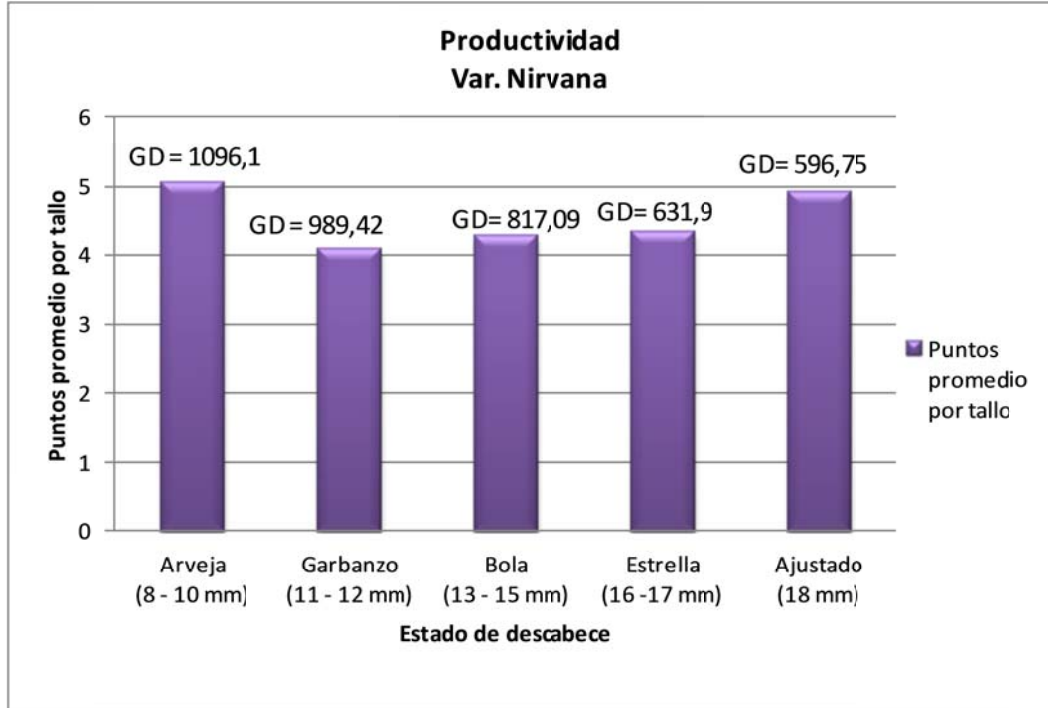
Fuente: Autor

Tabla 20 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Esperia

Estado	Distribución de probabilidad para los puntos por tallo	Distribución de probabilidad para los GDA descabece / corte
Arveja (9 - 10 mm)	GenExtreme(-0,35919; 1,1794; 3,0744)	Pearson5(197,15; 2,1104E+5)
Garbanzo (11 - 12 mm)	Dagum(0,0439; 3,7511; 3,8452; 2,0)	Weibull(16,086; 1033,9)
Bola (13 - 15 mm)	Rice(3,3528; 1,332)	Weibull(502,91; 21509,0; -20642,0)
Estrella (16 - 17 mm)	Cauchy(0,73515; 3,1835)	Uniform(579,21; 879,45)
Ajustado (18 mm)	Frechet(9,1612E+5; 7,9583E+5; -7,9583E+5)	Weibull(6,8711; 551,88)

Fuente: Autor

Figura 25 Productividad Var. Nirvana



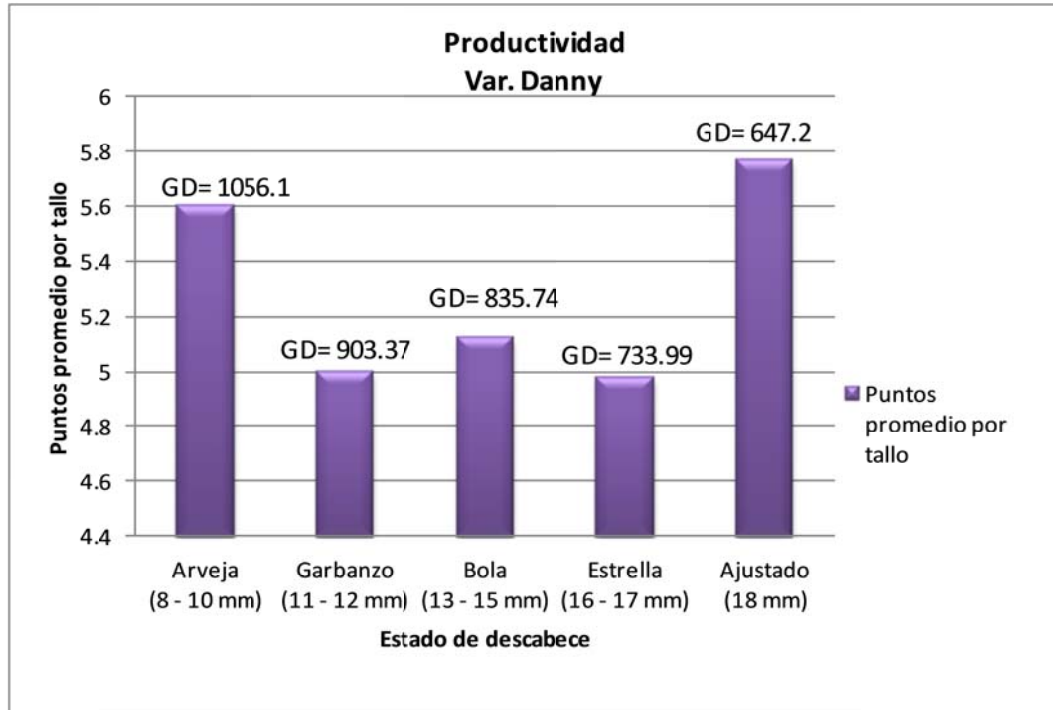
Fuente: Autor

Tabla 21 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Nirvana

Estado	Distribución de probabilidad para los puntos por tallo	Distribución de probabilidad para los GDA descabece / corte
Arveja (8 - 10 mm)	LogGamma(39,078; 0,04064)	Weibull(6,854; 1173,1)
Garbanzo (11 - 12 mm)	Gamma(25,731; 0,15954)	Exp(0,01099; 898,41)
Bola (13 - 15 mm)	Weibull(4,3082; 4,7133)	Pearson5(78,418; 63258,0)
Estrella (16 - 17 mm)	Pearson5(8,1016; 30,924)	Beta(1,3798; 2,588; 481,01; 914,92)
Ajustado (18 mm)	Beta(53,662; 129,99; -3,4532; 25,235)	LogPearson3(3,3818; -0,05037; 6,5577)

Fuente: Autor

Figura 26 Productividad Var. Danny



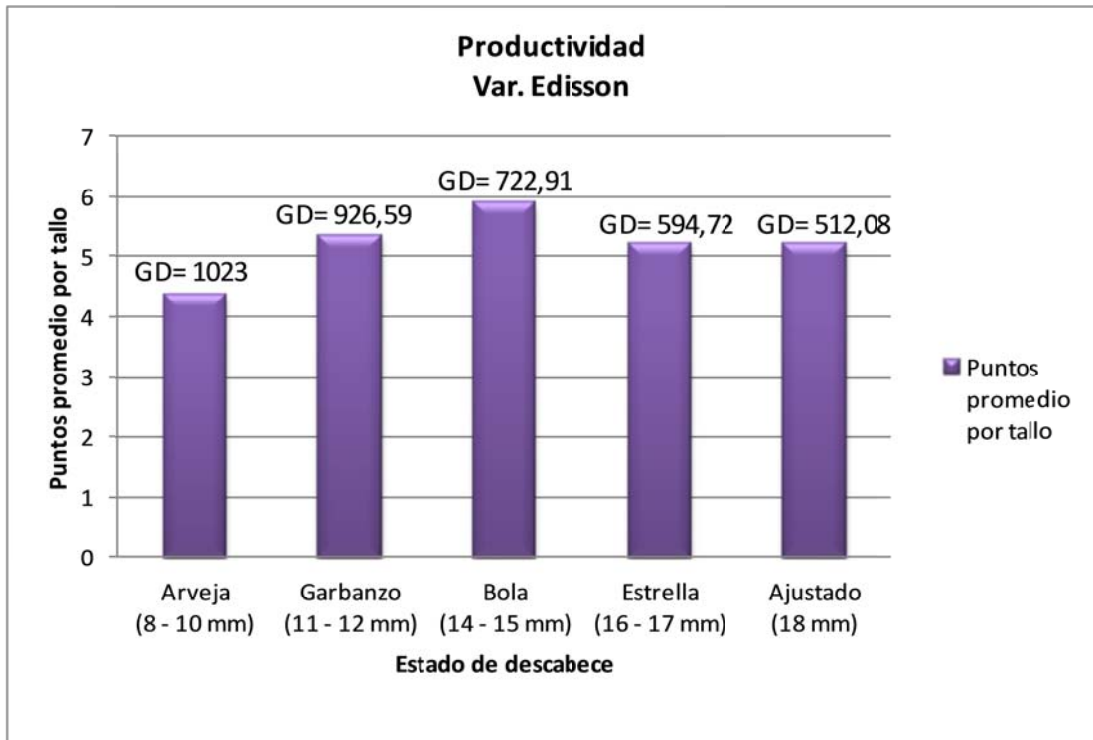
Fuente: Autor

Tabla 22 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Danny

Estado	Distribución de probabilidad para los puntos por tallo	Distribución de probabilidad para los GDA descabece / corte
Arveja (8 - 10 mm)	Beta(0,74269; 1,4854; 4,0; 8,8002)	Exp(0,00495; 853,9)
Garbanzo (11 - 12 mm)	ChiSqr(5)	Exp(0,00111)
Bola (13 - 15 mm)	Logistic(0,72358; 5,1277)	Erlang(92; 9,0841)
Estrella (16 - 17 mm)	Erlang(20; 0,24891)	Exp(0,00536; 547,34)
Ajustado (18 mm)	Gamma(19,535; 0,2952)	Exp(0,00155)

Fuente: Autor

Figura 27 Productividad Var. Edison



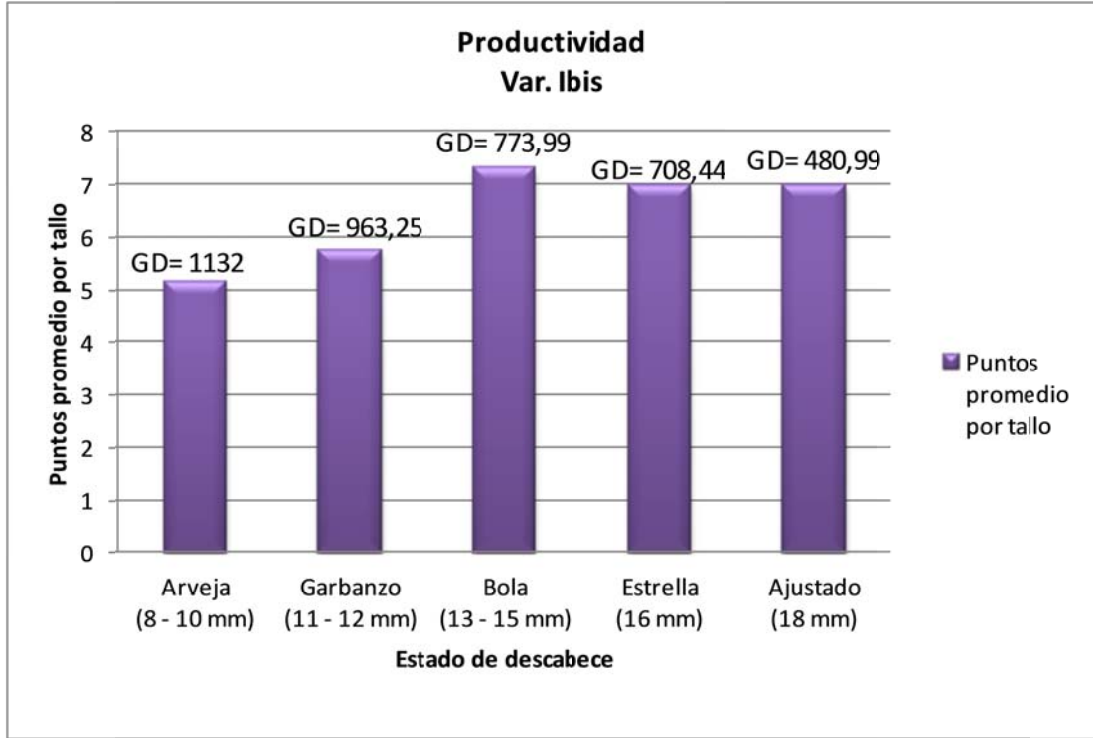
Fuente: Autor

Tabla 23 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Edison

Estado	Distribución de probabilidad para los puntos por tallo	Distribución de probabilidad para los GDA descabece / corte
Arveja (8 - 10 mm)	Erlang(16; 0,27329)	ChiSqr(1023)
Garbanzo (11 - 12 mm)	InvGaussian(94,214; 5,3571)	Exp(0,16576; 920,56)
Bola (14 - 15 mm)	LogLogistic(5,7688; 5,6214)	Constante
Estrella (16 - 17 mm)	LogGamma(27,071; 0,05924)	LogLogistic(10,233; 585,42)
Ajustado (18 mm)	LogGamma(39,076; 0,04141)	Exp(0,00195)

Fuente: Autor

Figura 28 Productividad Var. Ibis



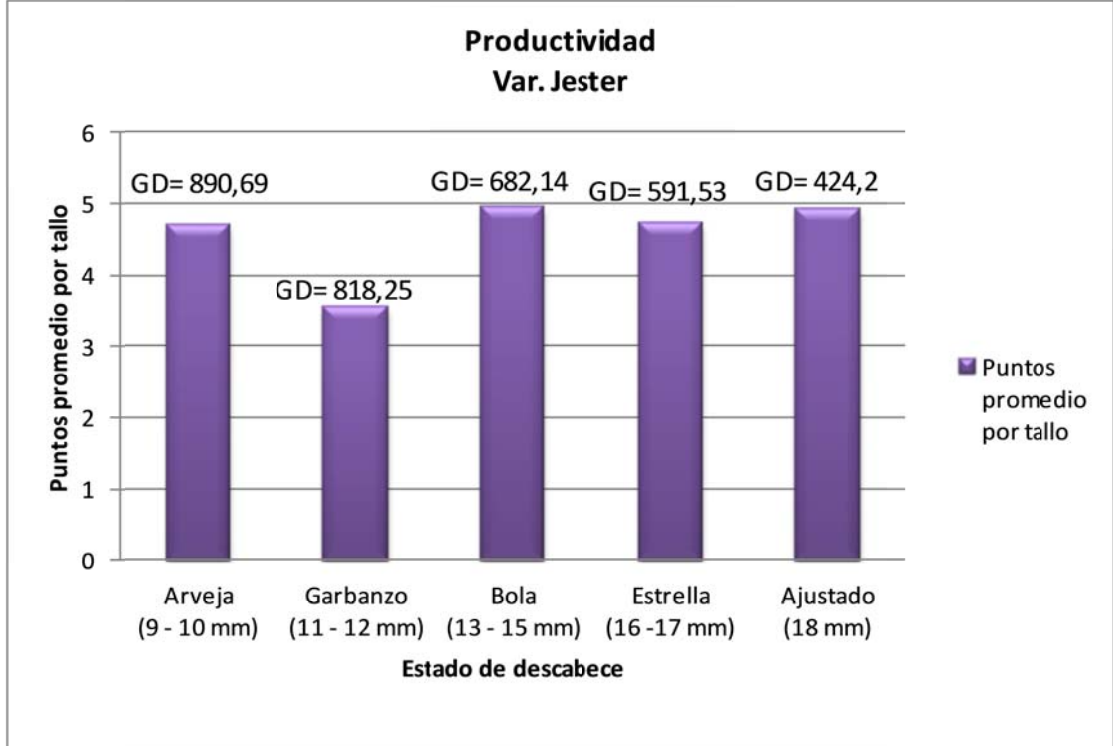
Fuente: Autor

Tabla 24 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Ibis

Estado	Distribución de probabilidad para los puntos por tallo	Distribución de probabilidad para los GDA descabece / corte
Arveja (8 - 10 mm)	Erlang(8; 0,642)	Exp(8,8341E-4)
Garbanzo (11 - 12 mm)	Weibull(3,4291; 6,389)	LogLogistic(12,365; 952,92)
Bola (13 - 15 mm)	Beta(1,3542; 0,87528; 1,6; 11,0)	Weibull(7,8455; 822,65)
Estrella (16 mm)	Rayleigh(5,5187)	Logistic(77,06; 708,44)
Ajustado (18 mm)	N/A	N/A

Fuente: Autor

Figura 29 Productividad Var. Jester



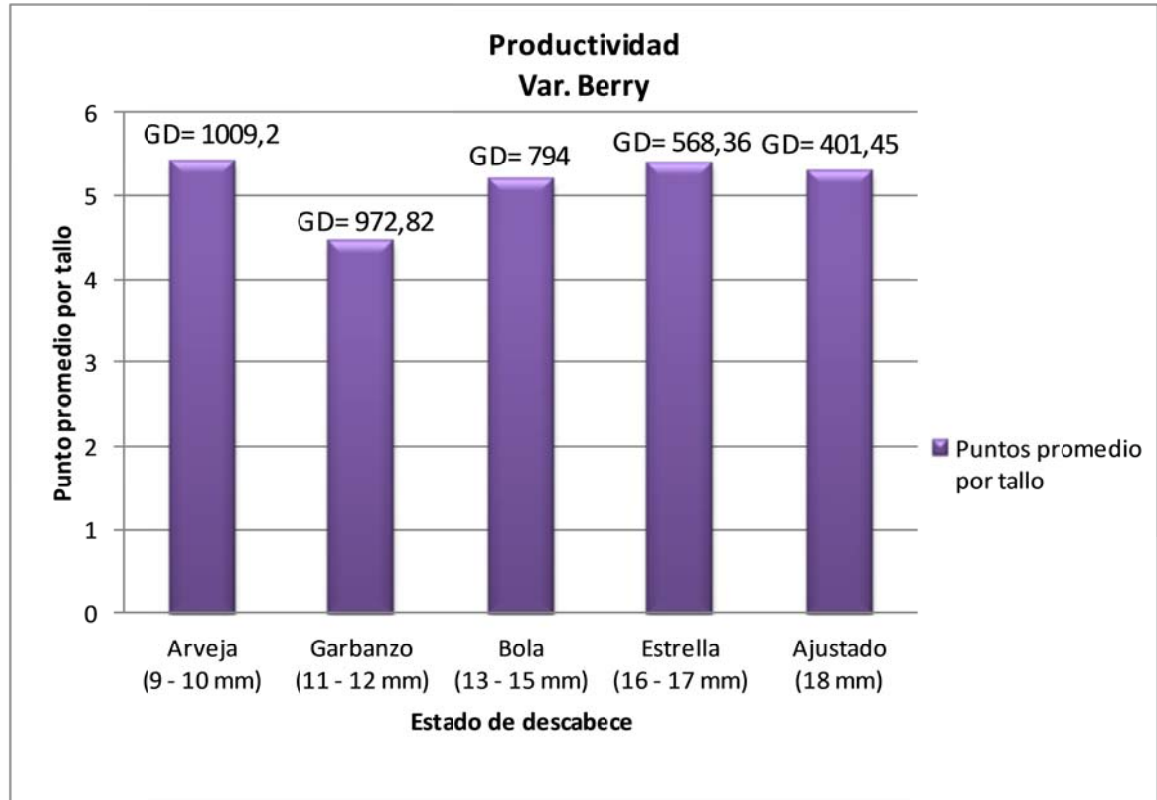
Fuente: Autor

Tabla 25 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Jester

Estado	Distribución de probabilidad para los puntos por tallo	Distribución de probabilidad para los GDA descabece / corte
Arveja (9 - 10 mm)	Pearson5(16,049; 70,891)	Weibull(13,895; 924,65)
Garbanzo (11 - 12 mm)	LogPearson3(5,2927; -0,11715; 1,8582)	LogLogistic(1,6268E+8; 4,0832E+9; -4,0832E+9)
Bola (13 - 15 mm)	Gamma(19,065; 0,26012)	Pearson6(22,546; 7,2442E+8; 2,1918E+10)
Estrella (16 - 17 mm)	Lognormal(0,24757; 1,5212)	Exp(0,00756; 459,26)
Ajustado (18 mm)	Erlang(30; 0,16654)	GenPareto(0,49826; 22,179; 380,0)

Fuente: Autor

Figura 30 Productividad Var. Berry



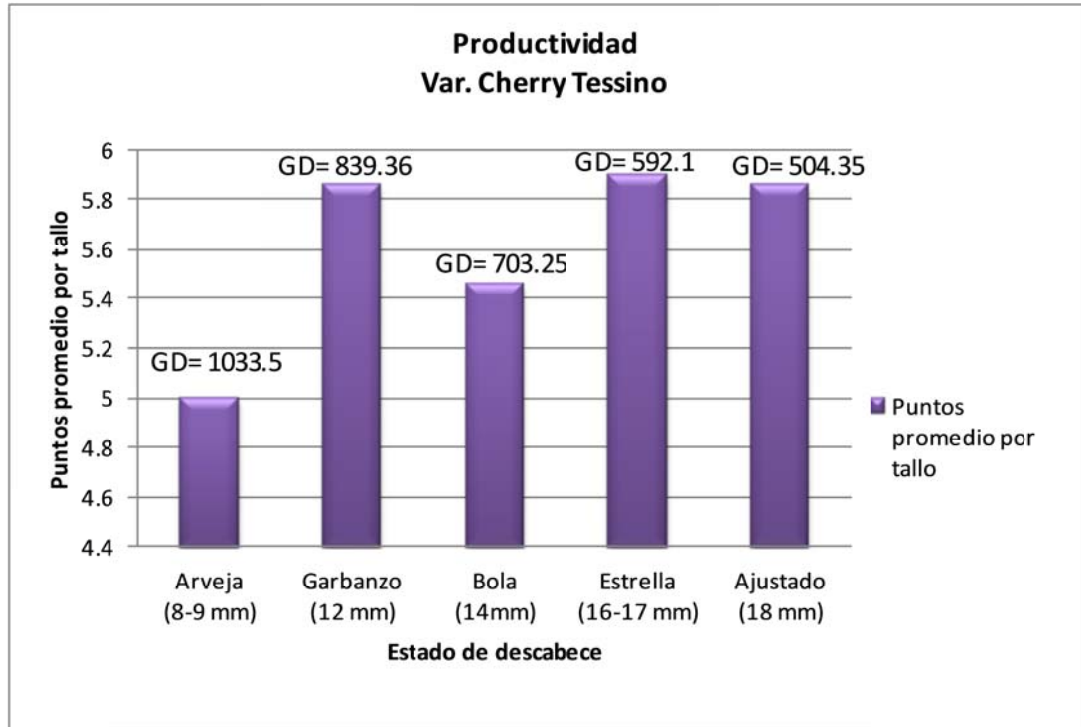
Fuente: Autor

Tabla 26 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Berry

Estado	Distribución de probabilidad para los puntos por tallo	Distribución de probabilidad para los GDA descabece / corte
Arveja (9 - 10 mm)	Dagum(0,27517; 19,32; 6,2814)	Exp(0,01045; 913,48)
Garbanzo (11 - 12 mm)	Weibull(5,2836; 4,8515)	Weibull(17,657; 1002,6)
Bola (13 - 15 mm)	Reciprocal(4,0; 6,0)	ChiSqr(794)
Estrella (16 - 17 mm)	Weibull(6,2993; 5,791)	Beta(0,63077; 0,63044; 336,84; 799,76)
Ajustado (18 mm)	GumbelMin(0,7797; 6,4501)	Uniform(269,25; 533,64)

Fuente: Autor

Figura 31 Productividad Var. Cherry Tessino



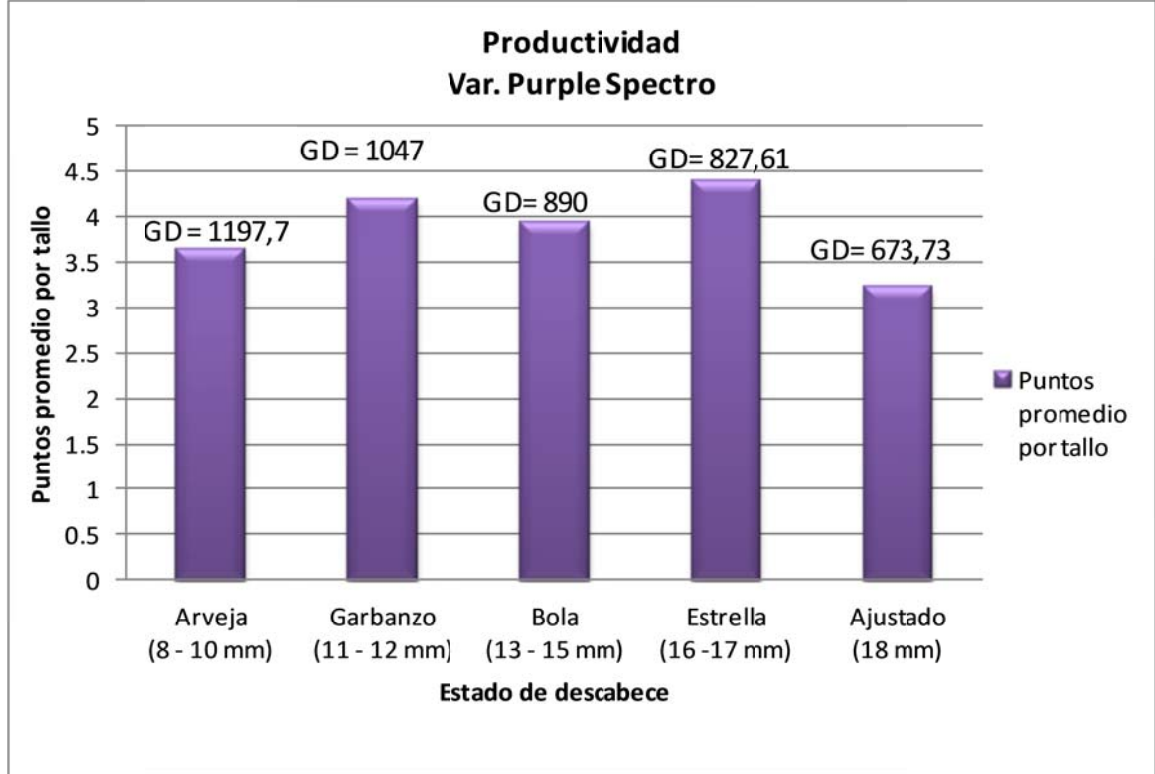
Fuente: Autor

Tabla 27 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Cherry Tessino

Estado	Distribución de probabilidad para los puntos por tallo	Distribución de probabilidad para los GDA descabece / corte
Arveja (8 - 9 mm)	GenPareto(-0,3913; 2,1202; 3,865)	Beta(0,35965; 0,14871; 853,41; 1108,0)
Garbanzo (12 mm)	Weibull(5,9599; 6,3223)	Beta(2,1028; 1,1374; 664,44; 918,56)
Bola (14 mm)	LogLogistic(6,4372; 5,2509)	Exp(0,00142)
Estrella (16 - 17 mm)	ChiSqr(3; 2,897)	Erlang(50; 11,842)
Ajustado (18 mm)	Beta(0,53061; 0,32653; 4,0; 7,0)	Weibull(28,154; 514,27)

Fuente: Autor

Figura 32 Productividad Var. Purple Spectro



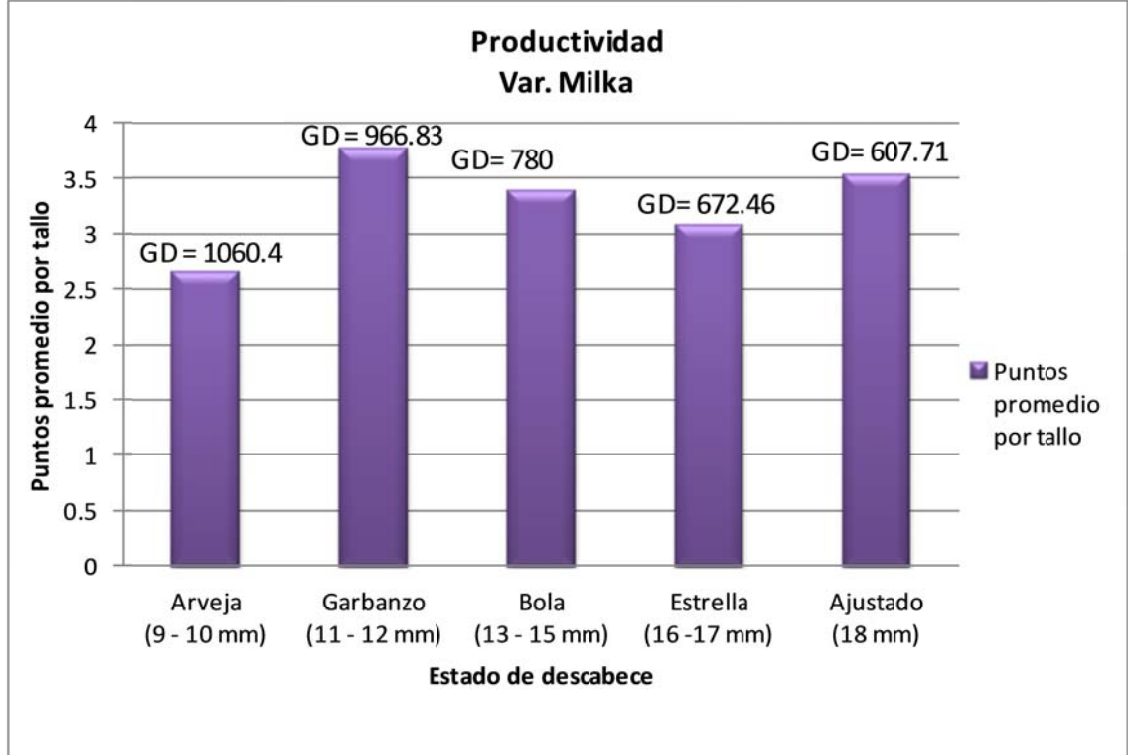
Fuente: Autor

Tabla 28 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Purple Spectro

Estado	Distribución de probabilidad para los puntos por tallo	Distribución de probabilidad para los GDA descabece / corte
Arveja (8 - 10 mm)	LogGamma(39,078; 0,04064)	Exp(0,00669; 1048,3)
Garbanzo (11 - 12 mm)	Gamma(25,731; 0,15954)	Beta(1,5423; 3,6686; 920,56; 1347,9)
Bola (13 - 15 mm)	Weibull(4,3082; 4,7133)	Erlang(4; 39,198; 733,21)
Estrella (16 - 17 mm)	Pearson5(8,1016; 30,924)	Logistic(34,938; 827,61)
Ajustado (18 mm)	Beta(53,662; 129,99; -3,4532; 25,235)	Weibull(9,7108; 709,07)

Fuente: Autor

Figura 33 Productividad Var. Milka



Fuente: Autor

Tabla 29 Puntos por tallo y GDA hasta el corte. Milka

Estado	Distribución de probabilidad para los puntos por tallo	Distribución de probabilidad para los GDA descabece / corte
Arveja (9 mm)	Gamma(0,5717; 1,1482; 2,0)	Exp(0,00611; 896,73)
Garbanzo (12 mm)	Weibull(3,0929; 4,2187)	Weibull(16,211; 998,84)
Bola (13 - 15 mm)	Weibull(4,9433; 3,7028)	Weibull(8,3884; 826,38)
Estrella (16 -17 mm)	Weibull(3,2759; 3,4296)	Logistic(51,051; 672,46)
Ajustado (18 mm)	Rayleigh(2,8591)	Weibull(8,4219; 643,72)

Fuente: Autor

7. MODELO DINÁMICO

7.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA

La figura 34 muestra el proceso típico de comercialización en las empresas floricultoras. El proceso es originado por las necesidades del mercado, las cuales son información de entrada para la empresa a través del departamento comercial, el cual confirma o modifica los pedidos de los clientes de acuerdo con los pronósticos de producción y los inventarios.

Desafortunadamente el impacto de las variables no controlables tales como los factores climáticos hacen que existan discrepancias entre los pronósticos de producción y la producción real, por lo cual, las empresas se ven obligadas a emprender estrategias a fin de cumplir los compromisos adquiridos con los clientes, ocasionando, en algunas casos, aumento en los costos y disminución de la calidad.

Figura 34 Descripción del sistema

Fuente: Autor

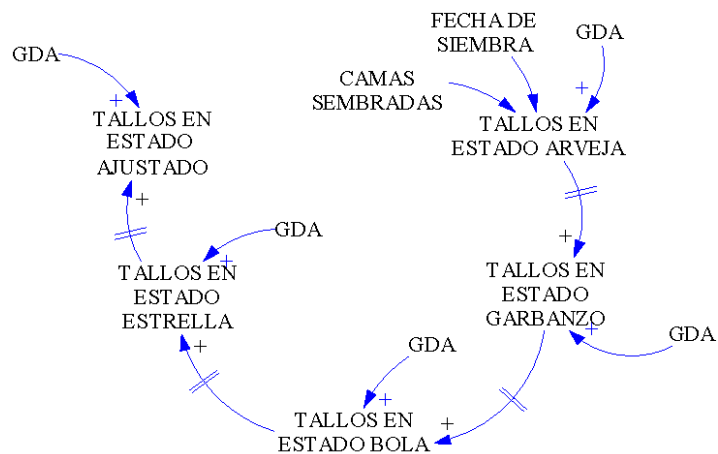
Como herramienta para mitigar esta situación, el presente estudio brinda herramientas de planeación y control de la producción. Como herramienta para la planeación se construyó un modelo de simulación que indica la fecha de corte de acuerdo a la fecha de siembra, a los grados día acumulados y al estado en el que se realiza el descabece. Por otro lado, como herramienta para el control se determinaron parámetros que permiten identificar atrasos o adelantos en el ciclo productivo del cultivo, de forma que exista una mayor precisión en las fechas de corte.

Por lo anterior, las variables controlables contempladas son: camas sembradas, fecha de siembra y estado en el cual se lleva a cabo el descabece. Por otro lado la variable No controlable contemplada es los grados día acumulados.

Dichos grados día acumulados ocasionan demoras estructurales en el sistema, debidas a la necesidad de acumular determinada cantidad de grados día para que los tallos pasen de un estado fenológico a otro. Entre cada cambio de estado, es necesario acumular los tallos en el sistema, por lo cual se hace necesario el uso de niveles para la simulación.

En este contexto, el cambio de estado, las demoras estructurales y la presencia de niveles permiten abordar el sistema desde la perspectiva de la dinámica de sistemas. La figura 35 muestra el diagrama causal del sistema.

Figura 35 Diagrama causal



Fuente: Autor

7.2 METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DINÁMICO

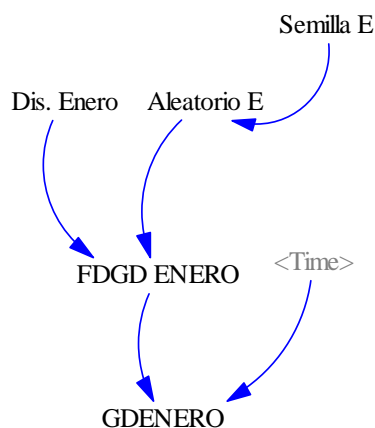
El modelo dinámico fue construido a través de las siguientes etapas:

7.2.1 Representación Forrester para la simulación. El modelo dinámico construido en el presente trabajo relaciona los grados día acumulados y el crecimiento del miniclavel, representado en el cambio de los tallos a través de los diferentes estados de desarrollo fenológico establecidos desde la siembra hasta su corte. A continuación se explican los pasos seguidos para la construcción del modelo:

7.2.1.1 Generación de grados día y grados día acumulados. La generación de los grados día se realizó con base en los datos registrados por los dataloggers instalados en los bloques del cultivo. Aplicando la ecuación (1) presentada en este documento fueron calculados diariamente los grados día, los cuales se usaron para realizar una simulación de Montecarlo para cada mes.

La figura 37 muestra la representación Forrester para la generación de grados día durante el mes de enero.

Figura 36 Representación Forrester para la generación de grados día durante el mes de enero



Fuente: Autor

Para la simulación de Montecarlo fueron usadas tres variables auxiliares, “**Dis. Enero**”, “**Aleatorio E**” y “**FDGD Enero**”. La variable “**Dis. Enero**” contiene la tabla de frecuencias relativas acumuladas necesarias para la simulación. Dicha tabla se muestra en la tabla 30:

Tabla 30 Frecuencias relativas acumuladas para la generación de GD. Enero

<i>Desde</i>	<i>Hasta</i>
0	0.16129032
0.16129032	0.74193548
0.74193548	0.87096774
0.87096774	1

Fuente: Autor a partir de grados día presentados

La variable “**Aleatorio E**” genera un número aleatorio de acuerdo a la distribución uniforme entre 0 y 1, cuya semilla está representada por la variable auxiliar “**Semilla E**”. Por último, la variable “**FDGD ENERO**” asigna el valor de los grados día de acuerdo con el número aleatorio generado y con la tabla de frecuencias relativas acumuladas, tal como lo muestra la tabla 31.

Tabla 31 Distribuciones de probabilidad. Variedad Milka

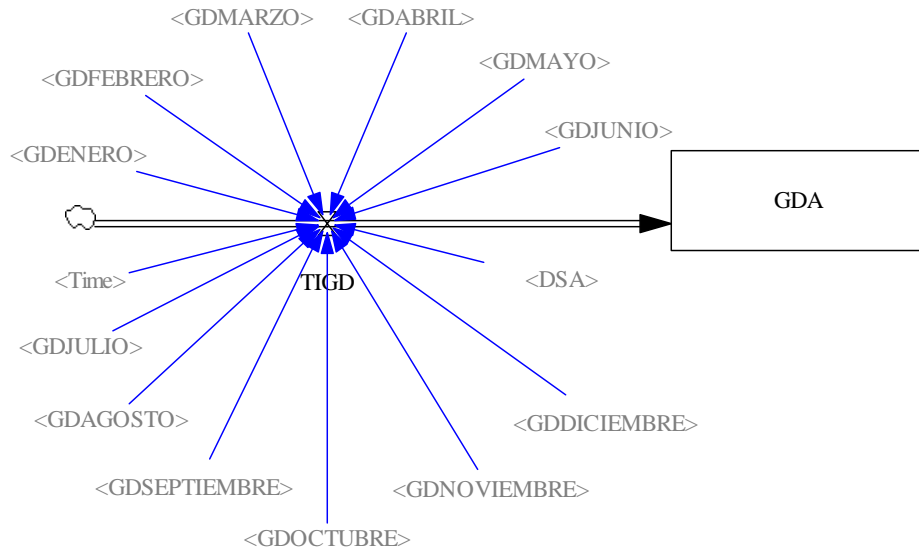
<i>Desde</i>	<i>Hasta</i>	<i>GD</i>
0	0.16129032	17
0.16129032	0.74193548	19
0.74193548	0.87096774	21
0.87096774	1	23

Fuente: Autor

Posteriormente, la variable auxiliar “**GDENERO**” valida el día del año de la simulación de forma que toma el valor de la variable “**FDGD ENERO**” solo si la simulación se encuentra entre el día 1 y 31 del año. Esta misma representación fue realizada para cada uno de los meses del año.

Una vez generados los grados día para todos los meses se generaron los grados día acumulados tal como lo muestra la figura 37.

Figura 37 Representación Forrester para la generación de grados acumulados



Fuente: Autor

En esta figura la variable de nivel **"GDA"** es incrementada por la tasa **"TIGD"** de acuerdo con la ecuación (3):

$$GDA_k = GDA_j + TIGD_{kj} * \partial t \quad (3)$$

Donde:

GDA = Grados día acumulados

TIGD = Tasa de incremento de grados día

La tasa **"TIGD"** suma los grados día generados en las variables auxiliares explicadas anteriormente según la ecuación (4):

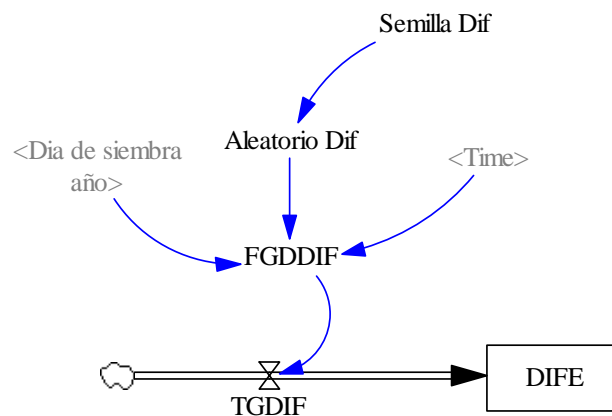
$$TIGD = \sum_{i=1}^{12} GD_i \quad (4)$$

Esta sumatoria se realiza desde el momento de la siembra, el cual es un parámetro que se encuentra representado por la variable auxiliar “**DSA**”.

7.2.1.2 Generación y cambio entre estados fenológicos. De acuerdo con el análisis realizado para la construcción de las curvas de crecimiento presentadas en el capítulo 5 del presente documento, existe una relación entre los grados día acumulados y el tamaño del botón principal de cada tallo. Para cada una de las variedades estudiadas se determinaron los grados día necesarios para el inicio del ciclo productivo, indicado por la diferenciación, así como para el cambio de estado fenológico. Esta información hace parte de los parámetros de entrada necesarios para la simulación del cambio de estado.

La figura 40 muestra la representación Forrester para el momento de la diferenciación.

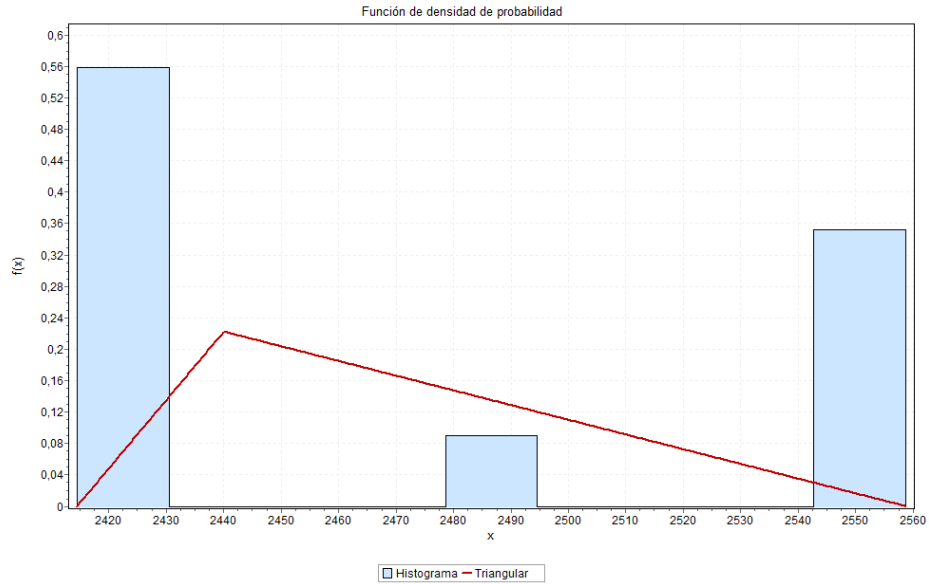
Figura 38 Representación Forrester para la generación de grados acumulados necesarios para la diferenciación



Fuente: Autor

En esta figura las variables auxiliares “**Aleatorio Dif**”, “**Semilla Dif**” y “**FDGDDIF**” son usadas para generar los grados día necesarios para la diferenciación. En el caso particular de la variedad Edisson, el ciclo productivo inicia cuando los grados día acumulados alcanzan los 2471,1 grados de acuerdo con la distribución de probabilidad triangular mostrada en la figura 39.

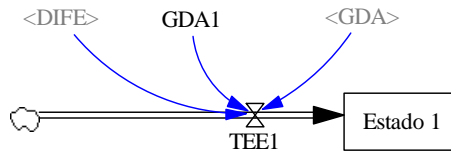
Figura 39 Distribución de probabilidad para la diferenciación. Var Edison



Fuente: Autor

Con base en el generador de variables aleatorias de dicha distribución, la variable **“FDGDDIF”** indica los grados día tomados por el modelo para la diferenciación. Por otro lado, la figura 38 muestra la representación Forrester para el cambio de estado, el cual está representado por una variable de nivel cuya tasa de entrada y salida indica el cambio.

Figura 40 Representación Forrester para el cambio de estado



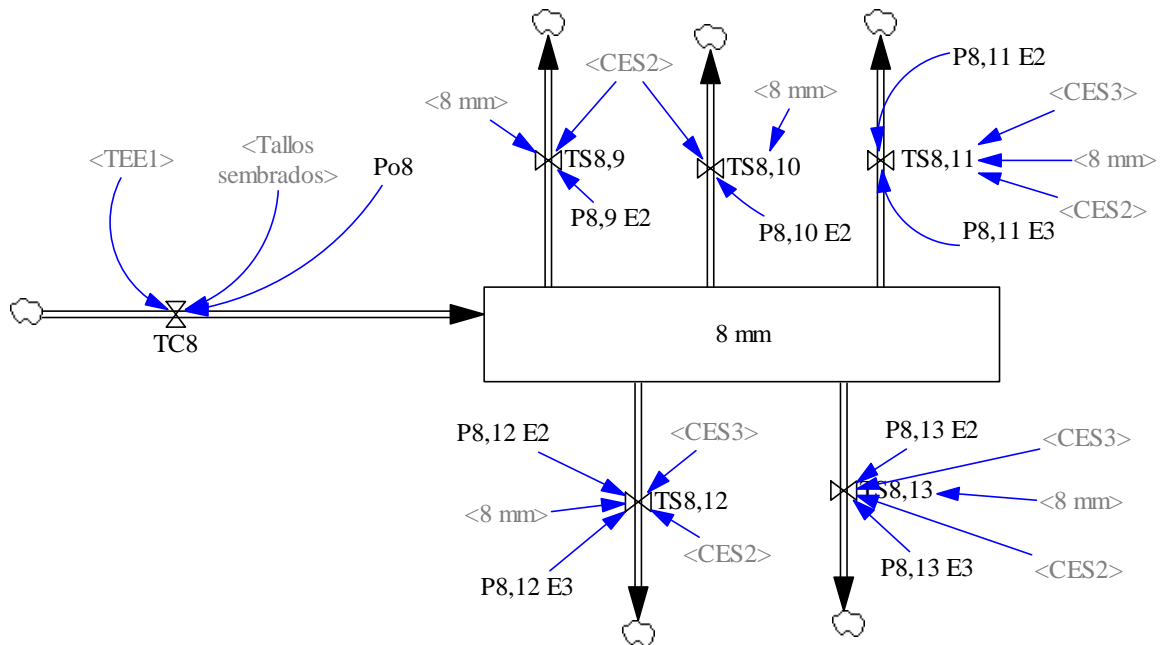
Fuente: Autor

Teniendo en cuenta que la variable de nivel **“GAD”** que representa los grados día acumulados puede presentar valores superiores o inferiores al parámetro de cambio de estado (**“DIFE”** + **“GDA1”**), se hace necesario identificar el momento en el que los grados día sobrepasan dicho parámetro, esto se logra con la tasa **“TEE1”**, la cual incrementa en una unidad a la variable de nivel **“Estado 1”** siempre y cuando los grados día sean inferiores al parámetro evaluado, de forma

que cuando la tasa toma un valor de cero se presenta un cambio de estado. Esta representación fue construida para todos los demás cambios de estado.

Una vez construida la representación para el cambio de estado se construyeron las variables de nivel para cada uno de los tamaños posibles, es decir, desde 8 mm hasta 18 mm. La figura 41 muestra la representación Forrester para el tamaño 8 mm

Figura 41 Representación Forrester para el tamaño 8 mm



Fuente: Autor

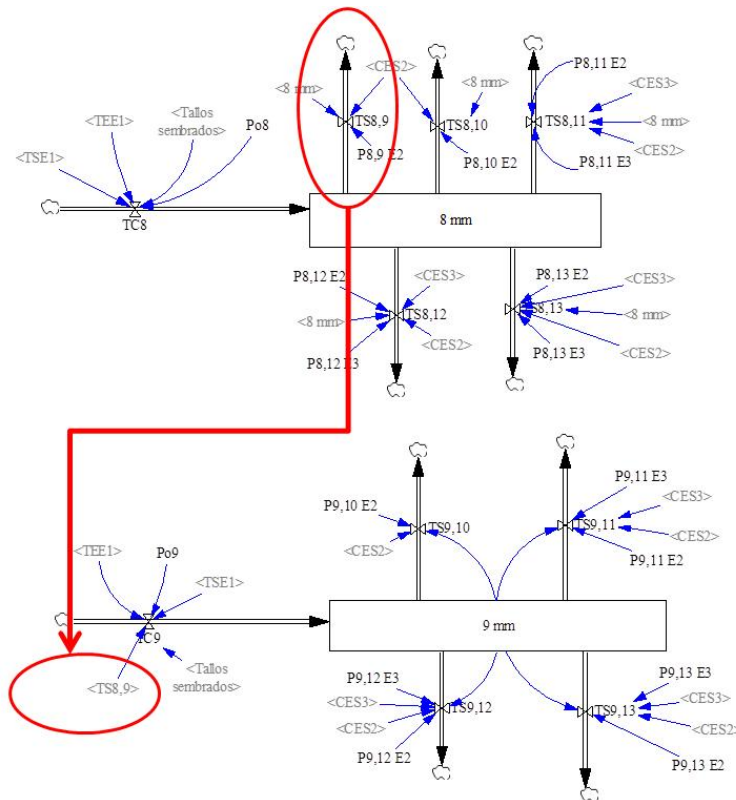
En esta representación la tasa “**TC8**” indica el incremento de los tallos. Inicialmente fueron almacenados datos de tallos pertenecientes al estado arveja, es decir, tallos cuyo diámetro se encontraba entre los 8 y 10 mm, por ejemplo, para la variedad *Edisson* este estado se presentó a los 2827,74 grados día después de la siembra.

Según las pruebas de bondad de ajuste realizadas para estos grados día, el diámetro sigue una distribución GenGamma con parámetros $k = 1,0109$, $\alpha = 195,44$ y $\beta = 0,0492$, de acuerdo a esta función de distribución de probabilidad, el 18,3% de los tallos presentaban un diámetro igual a 8 mm, el 56,306% igual a 9 mm y el 25,394% igual a 10mm. Estas probabilidades iniciales fueron usadas para

ubicar los tallos sembrados en un nivel de tamaño particular. En este caso, la tasa “**TC8**” ingresa el 18,3% de los “**Tallos sembrados**” al nivel “**8 mm**”. Tanto la probabilidad inicial como los tallos sembrados son representados por variables auxiliares en el modelo.

Los tallos ingresados al nivel “**8 mm**” deben permanecer en el mismo hasta que los grados día acumulados alcancen el valor necesario para cambiar de estado. Una vez se produce el cambio, los tallos deben cambiar de nivel, en este caso hacia los niveles “**9 mm**”, “**10 mm**” y “**11 mm**”, este cambio de nivel se produce con las tasas de salida “**T8,9**”, “**T8,10**” y “**T8,11**”, las cuales disminuyen el nivel de acuerdo con las probabilidades de transición de un tamaño a otro. Cada una de las probabilidades de transición fue calculada a partir de las probabilidades marginales, las cuales se obtuvieron con base en las funciones de distribución de probabilidad encontradas al llevar a cabo las pruebas de bondad de ajuste. Posteriormente, las tasas de salida del nivel “**8 mm**” incrementaron los niveles correspondientes, tal como lo muestra la figura 42. Esta misma representación fue usada para todos los posibles cambios de estado.

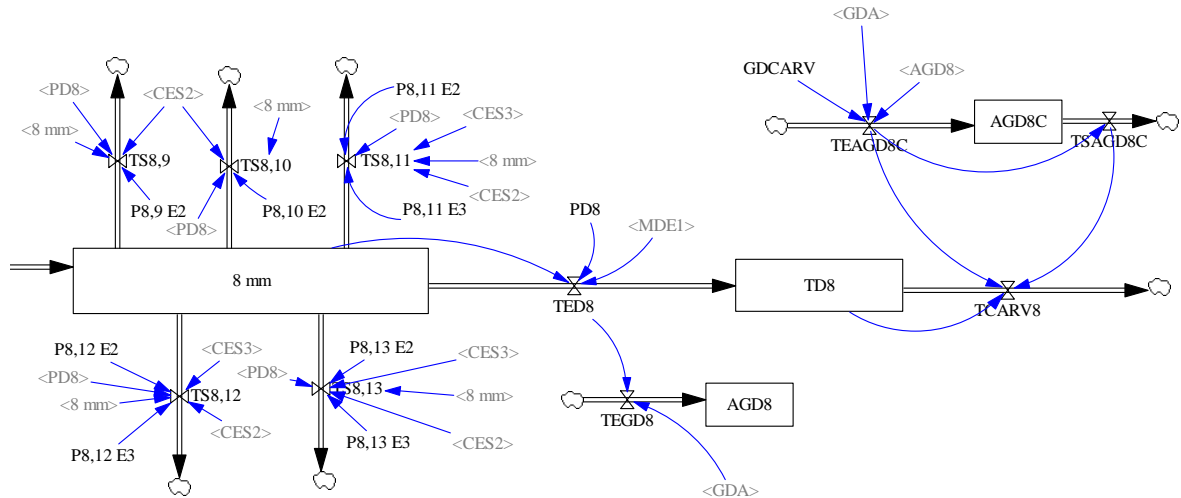
Figura 42 Representación Forrester para el cambio de los tallos del tamaño 8 mm a 9 mm



Fuente: Autor

7.2.1.3 Descabece y corte. Teniendo en cuenta que el descabece se realiza en diferentes estados de desarrollo de acuerdo con la variedad estudiada, se hace necesario que el modelo de simulación permita elegir el estado de descabece y tenga en cuenta los grados día requeridos hasta el corte. La figura 43 muestra la representación forrester para dicha situación.

Figura 43 Representación Forrester para el descabece y el corte



Fuente: Autor

Adicionalmente a las tasas de salida desde cada estado de desarrollo hasta el siguiente, se constuyó una tasa de salida hacia un nivel de espera, en este caso el nivel “**TD8**”, este nivel representa los tallos que son descabezados en el tamaño 8 mm y que continúan su crecimiento hasta el corte.

Este nivel es alimentado por la tasa “**TED8**”, de acuerdo con el porcentaje de tallos descabezados “**PD8**”. Los tallos permanecen en el nivel hasta completar los grados día requeridos para su corte, momento en el cual salen del sistema a través de la tasa “**TCARV8**”. Los parámetros requeridos para esta etapa del modelo fueron calculados en el capítulo 6 del presente documento, en este caso, la variable auxiliar “**GDCARV**” representa los grados día necesarios hasta el corte, cuando el descabece se realiza en el estado arveja, es decir, cuando el botón tiene un diámetro entre 8 y 10 mm.

Por último, con el objetivo de reparametrizar el modelo para las variedades estudiadas, las probabilidades de transición, las fechas de siembra y los grados día requeridos para los cambios de estado y para el corte, fueron ingresadas como parámetros, representados por variables auxiliares. Ver Anexo c.

7.3 VALIDACIÓN DEL MODELO

El modelo de simulación construido fue validado con los datos correspondientes a la variedad Edison. El anexo D muestra los resultados de las corridas realizadas.

De acuerdo con los resultados obtenidos el modelo presenta un error promedio de 2.5 días para el cambio de estado y de 4.13 días para el momento del corte. Con base en lo anterior, aplicando la ecuación (5), fueron encontrados los intervalos de confianza tanto para el cambio de estado como para el corte.

$$\left(\bar{x} - z_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}}, \bar{x} + z_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \right) \quad (5)$$

Para el caso del cambio de estado, con un 95% de confianza, se presentará un error promedio entre 1,81 y 3,18 días, mientras que para el momento del corte este error se encuentra entre 3,44 y 4,81 días.

El error presentado por el modelo es admisible teniendo en cuenta que el miniclavel puede pasar aproximadamente 4 días en cuarto frío sin que su calidad se vea afectada.

8. ANALISIS DE RESULTADOS

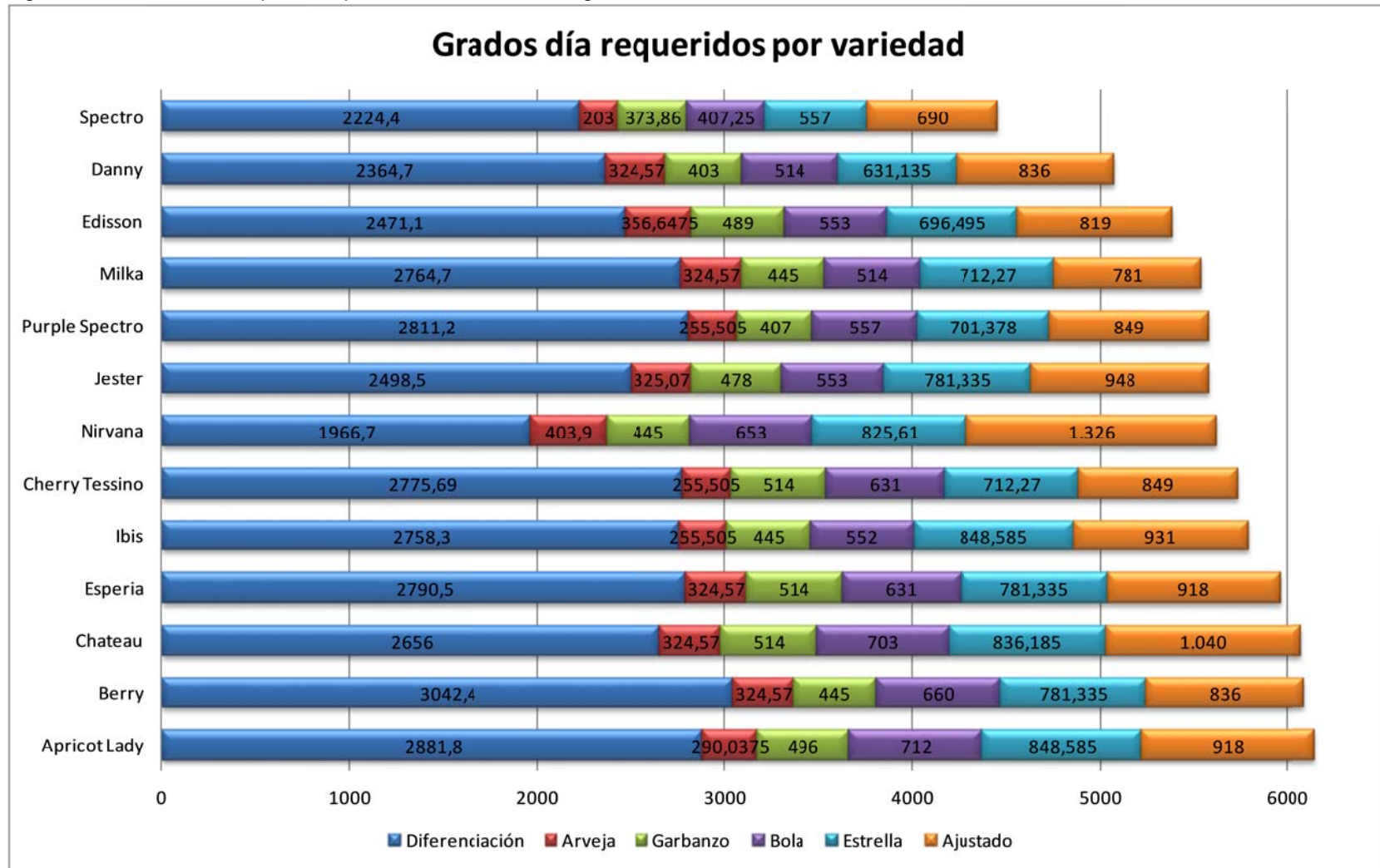
De acuerdo con los resultados obtenidos, la variedad que requiere la menor cantidad de grados día desde la siembra hasta la diferenciación es *Nirvana*, mientras que la variedad que presenta la menor cantidad de grados día es *Berry*. En cuanto a los grados día requeridos desde la diferenciación hasta cada estado se encontró:

- Para el estado arveja, las variedades *Spectro*, *Ibis*, *Cherry Tessino*, *Purple Spectro* y *Apricot Lady* requieren la menor cantidad de grados día, mientras que *Edisson* y *Nirvana* requieren la mayor cantidad.
- Para el estado Garbanzo las variedades *Chateua*, *Esperia*, *Cherry Tessino*, *Berry* y *Apricot Lady* presenta el mayor número de grados día, mientras que *Danny* y *Spectro* presentan la menor cantidad.
- Para el estado Bola, las variedades *Nirvana*, *Berry*, *Chateau* y *Apricot Lady* presentan el mayor número de grados día, mientras que las variedades *Milka*, *Ibis* y *Edisson* presentan la menor cantidad.
- Para el estado Estrella las variedades *Ibis*, *Apricot Lady* y *Chateau* requieren la mayor cantidad de grados día, mientras que *Danny*, *Spectro* y *Edisson* requieren la menor cantidad.
- Por último, para el estado ajustado, las variedades *Chateau* y *Nirvana* presentan la mayor cantidad de grados día desde la diferenciación, mientras que *Milka*, *Spectro* y *Edisson* presentan la menor cantidad.

La figura 44 muestra los grados día promedio requeridos en cada estado fenológico para cada una de las variedades estudiadas. Como se observa, las variedades *Chateau*, *Berry* y *Apricot lady* requieren, la mayor cantidad de grados día, mientras que las variedades *Spectro* y *Danny* requieren la menor cantidad.

De igual manera se observa que la variedad *Nirvana* presenta el estado arveja antes que las demás variedades, sin embargo, su estado ajustado requiere una cantidad de grados día mayor, lo cual hace que los grados día totales requeridos sean similares a las demás variedades.

Figura 44 Grados día requeridos para cada estado fenológico



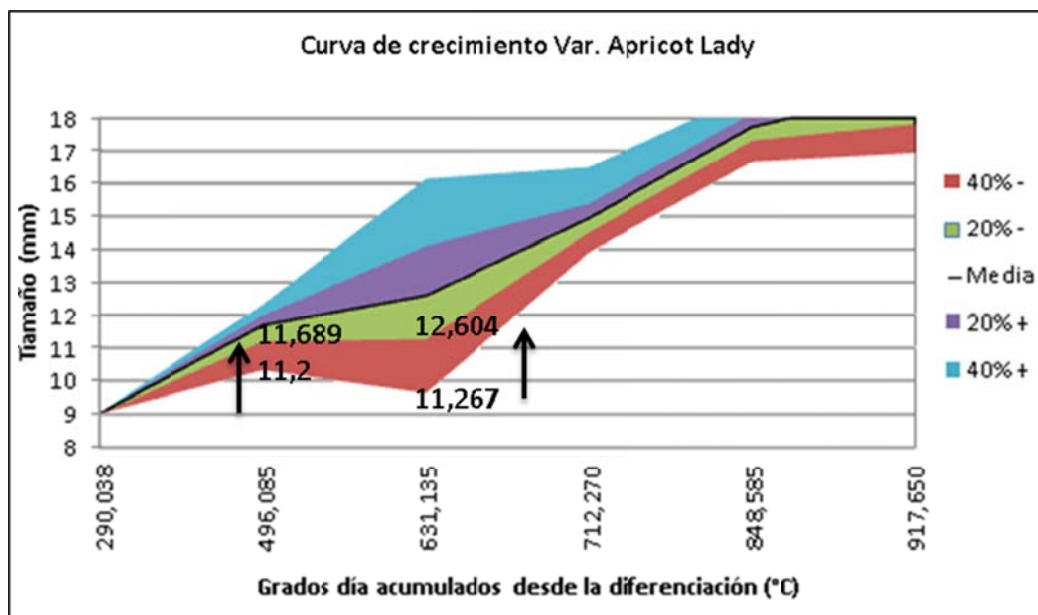
Fuente: Autor

En cuanto al análisis de los grados día por estado, en el presente estudio fueron construidas curvas de crecimiento para cada variedad, las cuales se presentan en la sección 5.3. El uso de estas curvas radica en la posibilidad de realizar seguimiento al crecimiento del botón principal, permitiendo saber en qué posibles tamaños se encontrará en botón, a medida que aumentan los grados día acumulados.

Por ejemplo, la figura 45 muestra la curva de crecimiento para la variedad Apricot Lady. Se esperaría que el crecimiento del botón principal se comportara de acuerdo a la curva media, sin embargo, con base en las distribuciones de probabilidad encontradas para cada nivel de grados día acumulados, es posible que el tamaño se encuentre en cualquiera de las demás curvas, así, cuando el tallo haya recibido 496,085 grados día acumulados, es posible que su tamaño se encuentre entre 10mm y 11.2 mm, entre 11.2mm y 11.68 mm, entre 11.68mm y 12 mm ó entre 12mm y 12.345.

En caso de que el tamaño observado se encuentre entre 11.2 mm y 11.68 mm el botón se encontrará, para el siguiente nivel de grados día, entre 11.267 mm y 12.6mm.

Figura 45 Curva de crecimiento. Variedad Apricot Lady



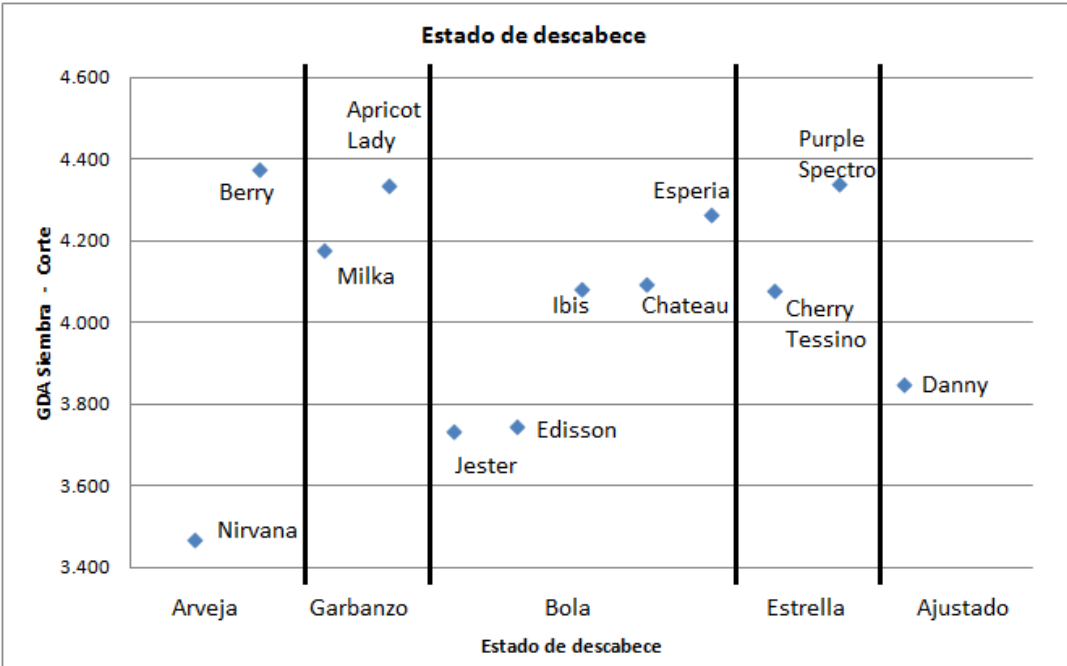
Fuente: Autor

El análisis realizado hasta el momento, presenta el desarrollo normal del tallo, sin considerar el descabece, sin embargo, para el miniclavel, el descabece es fundamental ya que se busca obtener un spray con el mayor número de botones posibles.

Con base en los resultados obtenidos, se encontró que los grados día necesarios hasta el corte dependen del estado fenológico en el cual se realice el descabece. Entre más avanzado sea el estado en el cual se descabece el tallo, menor será la cantidad de grados día que requiere hasta el corte.

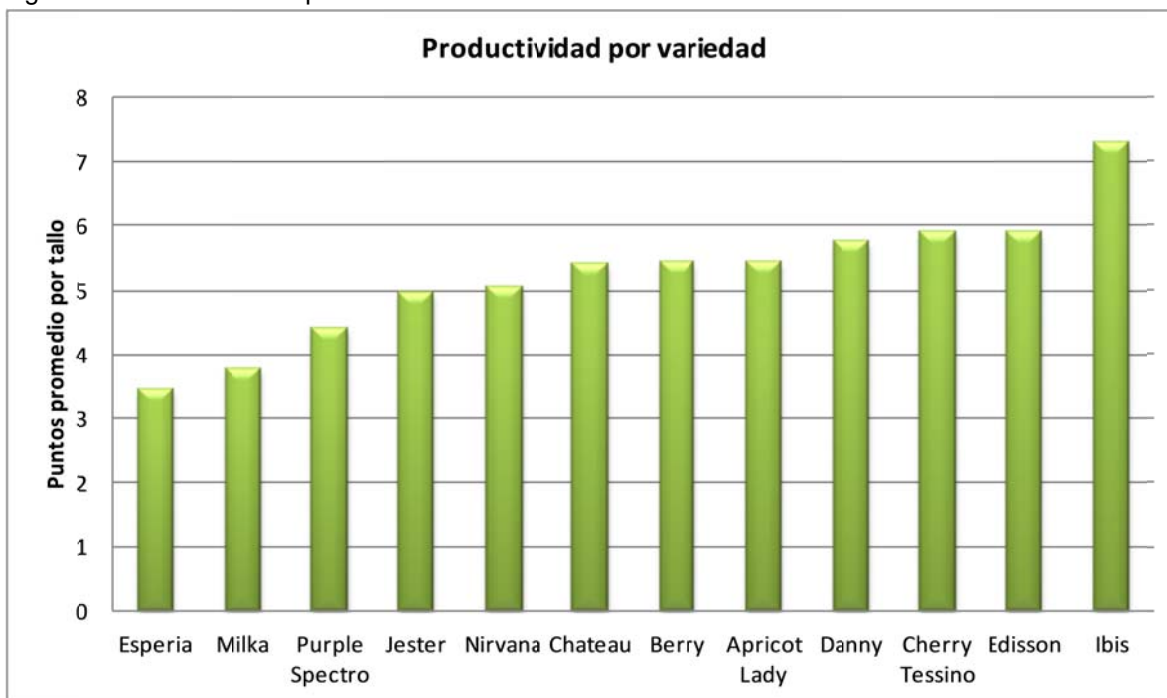
El estado fenológico de descabece no solo afecta la cantidad de grados día, también afecta el número promedio de puntos por tallo, por lo cual se seleccionó para cada variedad aquel estado que presentó el mayor número de puntos promedio por tallo. La figura 46 muestra el estado en el que se debe descabezar cada variedad, mientras que la figura 47 muestra el número promedio de puntos por tallo. De acuerdo con la figura 46, el 41,6% de las variedades deben descabezarse en el estado Bola, mientras que el 16,66% deben ser descabezadas en los estados arveja y garbanzo respectivamente. Tan solo el 8,4% de las variedades estudiadas deben ser descabezadas en el estado ajustado.

Figura 46 Estado fenológico para el descabece



Fuente: Autor

Figura 47 Productividad por variedad



Fuente: Autor

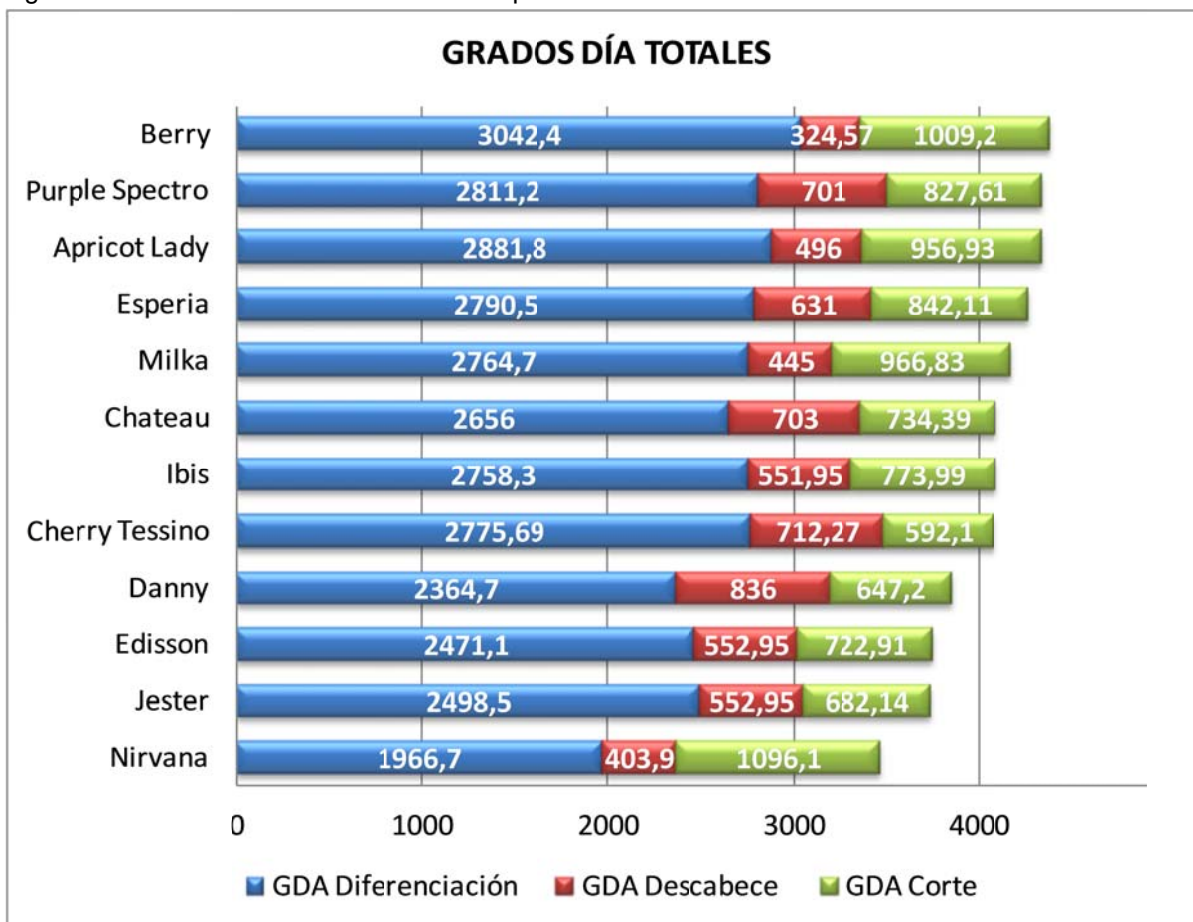
Como se observa, la variedad que presenta el mayor número de puntos por tallo es la variedad *Ibis*, la cual, al ser descabezada en el estado bola, produce en promedio 7,30 puntos por tallo. Por su parte las variedades *Esperia* y *Milka* presentaron el menor promedio, el cual fue de 3,46 y 3,77 al ser descabezadas en el estado bola y garbanzo respectivamente.

Con base en los resultados anteriormente presentados, la figura 48 muestra los grados día que requiere cada variedad hasta la diferenciación y hasta su estado fenológico ideal de descabece, así como los grados día que requiere desde el descabece hasta el corte.

Esta grafica cobra importancia al momento de la planeación de las siembras ya que indica, en promedio, el número total de grados día que cada variedad requiere, contemplando su etapa vegetativa y productiva. En ella se pueden identificar ciclos cortos pertenecientes a las variedades *Nirvana*, *Jester*, *Edison* y *Danny*, ciclos intermedios pertenecientes a las variedades *Cherry Tessino*, *Ibis*,

Chateau y Milka, y ciclos largos correspondientes a las variedades *Esperia*, *Apricot Lady*, *Purple Spectro* y *Berry*.

Figura 48 Grados día totales acumulados por variedad



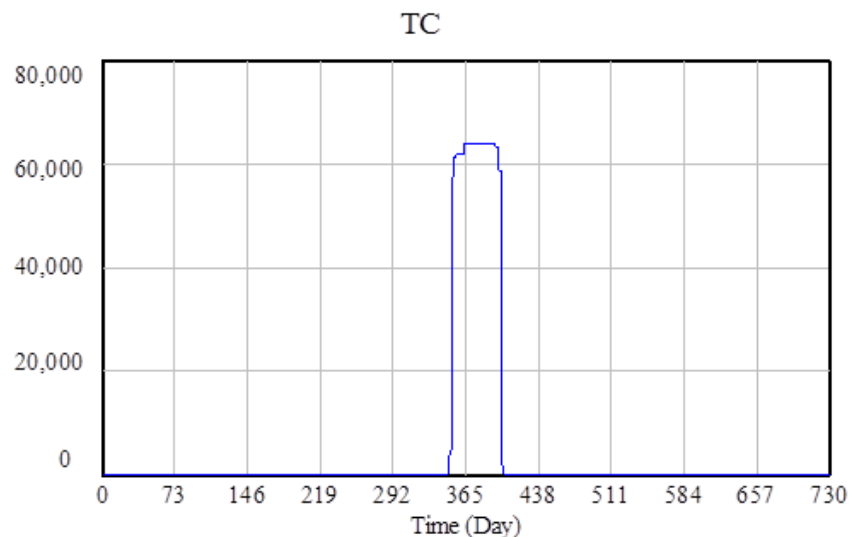
Fuente: Autor

Toda la información analizada fue ingresada al modelo de simulación construido, el cual permite determinar el momento del corte con base en la fecha de siembra planeada.

Como se mencionó en la sección 7.3 el modelo fue validado con los datos correspondientes a la variedad Edisson. Los parámetros del modelo fueron modificados para determinar la fecha de siembra ideal para obtener los tallos durante la primera semana de febrero, es decir, para San Valentín. En este caso, la fecha ideal de siembra fue el 5 de julio, de forma que al simular el modelo, el

corte se presentó entre el 1 y el 9 de Febrero. La figura 49 muestra los tallos descabezados en espera del corte, así como el corte de los mismos.

Figura 49 Descabece y corte de tallos



Fuente: Autor

En esta figura se presenta el descabece de los tallos a los 360 días calendario de la simulación, a partir de este momento, y hasta el día 405 los tallos son acumulados en un nivel en espera del corte.

Los resultados obtenidos del modelo de simulación permiten la planeación de las actividades tanto en cultivo como en poscosecha. En cultivo permiten determinar la fecha de siembra, así como la necesidad de emprender acciones para que el desarrollo de la planta evolucione de acuerdo a lo esperado, dichas acciones pueden ser la aplicación de agroquímicos o el uso de ventiladores entre otras.

De igual manera, brinda información para determinar la cantidad de personal necesario para realizar el corte y la cantidad de personal y equipo necesario para transportar la flor desde el cultivo hasta la poscosecha.

En poscosecha brinda información para la planeación de los inventarios, tanto de producto en proceso como de producto terminado, de igual manera, junto con la eficiencia de la sala, permite determinar el personal necesario para el procesamiento de la flor, así como los insumos requeridos para el mismo.

En cuanto al nivel de servicio, al permitir una mejor planeación, aumenta el cumplimiento de pedidos, entregando la flor en el momento pactado con el cliente.

9. CONCLUSIONES

La relación entre los grados día acumulados y el tamaño del diámetro del botón principal del miniclavel varía de acuerdo con la variedad estudiada y con la cantidad de grados día acumulados. En general, para todas las variedades fueron encontradas funciones de distribución de probabilidad continuas que se ajustan al comportamiento observado en campo. De acuerdo con las pruebas de bondad de ajuste realizadas, las distribuciones que mejor representan el comportamiento observado son las distribuciones Beta, Chi cuadrado, Erlang, LogLogistic, Uniforme y Weibull.

En cuanto a la productividad, se encontró que el estado fenológico en el cual se lleva a cabo el descabece del miniclavel afecta la cantidad de puntos promedio obtenidos por tallo. Para el 41,6% de las variedades estudiadas el estado ideal para el descabece es bola; es decir, cuando el diámetro del botón principal se encuentra entre 13 mm y 15mm. Para las demás variedades estudiadas, los estados que presentaron la mejor productividad fueron, arveja, garbanzo y estrella, con un 16,6% de las variedades cada uno y ajustado con un 8,4%.

Existe una relación inversa entre el tamaño en el cual se lleva a cabo el descabece y la cantidad de grados día requeridos desde el descabece hasta el corte, es decir, entre más avanzado sea el estado fenológico, menos grados día serán necesarios para el corte y viceversa.

La relación entre el crecimiento del miniclavel, los grados día requeridos en cada estado fenológico y el efecto del descabece en el corte, puede ser abordada a través de la dinámica de sistemas, la cual permite establecer las fechas adecuadas de siembra con base en los grados día y la fecha de corte proyectada. El presente trabajo brinda herramientas para la planeación y el control de la producción de miniclavel en la Sabana de Bogotá, los parámetros encontrados en relación con los grados día y el descabece, junto con el modelo de simulación construido son herramientas para la planeación de la producción.

Las curvas de crecimiento construidas para las variedades estudiadas constituyen una herramienta para el control de la producción ya que permiten determinar si el crecimiento de los tallos está acorde con el plan de producción fijado, dando alertas para tomar decisiones que permitan tener los tallos en el momento deseado.

De igual manera, al parametrizar el modelo para las demás variedades estudiadas, es posible estimar la cantidad total de tallos a procesar en cultivo y poscosecha. Esta información es valiosa en cultivo para la planeación del personal que lleva a cabo el corte, para determinar el equipo necesario para el transporte de la flor hasta poscosecha y para la planeación de los insumos requeridos.

En cuanto a la poscosecha, la información permite la planeación del personal en la clasificación de tallos, el armado de ramos y el empaque de la flor, de igual manera, permite la planeación de los inventarios tanto de insumos como de producto en proceso y producto terminado

Como investigación futura se plantea incluir en el modelo de simulación parámetros relacionados con la pérdida de flor en cultivo debida a factores fitosanitarios, el impacto de agroquímicos en los grados día requeridos para cada estado fenológico y para el corte, así como la relación existente entre el estado fenológico del descabece y la duración de la flor en cuarto frío.

10. BIBLIOGRAFÍA

Acuña S, Barchini G.,(1996). Modelo de simulación para el manejo integrado de las plagas de ecosistemas agrícolas. *Bol. San. Veg. Plagas*, 22(1), 761-773.

Ahumada O., Villalobos R. , (2009). A tactical model for planning the production and distribution of fresh produce. *Springer Science+ Business Media*.190(1), 339-358.

Aracil J., (1986). Introducción a la dinámica de sistemas. Alianza Editores, Madrid.

Arévalo, G, Ibarra D., Florez V., (2007). Desbotone en diferentes estadios de desarrollo del botón floral en clavel estándar (*Dianthus caryophyllus* L.). *Agronomía colombiana*. 22, 73-82.

Banco de la República. Grupo de estudios de crecimiento económico colombiano, (2001). El crecimiento económico colombiano en el siglo XX. 2001. Investigación en información económica. N° 20.

Baker, J.T., Pinter, P.J. Jr., Reginato, R.J., Kanemasu, E.T., (1986). Effects of temperature on leaf appearance in spring and winter wheat cultivars. *Agron. J.* 78, 605-613.

Berrocal L., Salazar J., (2004) .Diseño de un sistema de gestión ambiental basado en la norma ISO 14001:96 para los residuos sólidos generados por el proceso de producción del clavel miniatura en el cultivo “Flores de Funza S.A.C.I.”. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana, 2004.

Boshell F., (2009). Manual del riesgo climático en la floricultura colombiana. Centro de innovación de la floricultura colombiana. Bogotá

Businesscol., (2009). \$7 mil millones para impulsar producción de flores en el país. Recuperado el 15 de noviembre de 2009 de <http://www.businesscol.com/noticias/fullnews.php?id=2962>

Caixeta J., Swaay-Neto J., Wagemaker A., (2002). Optimization of the Production Planning and Trade of Lily Flowers at Jan de Wit Company. *INTERFACES* 32(1), 35-46.

Castellanos O., Rodríguez S., Ospina S., (2010). Agenda prospectiva de investigación y desarrollo tecnológico para la cadena productiva de flores y follajes con énfasis en clavel. Bogotá

Catley, J.L.; Hurley, E.M.; Cameron, E.A.; Hall, A.J., (1999). Towards a model of decision making of flower growing systems. *Proceedings of the 17 th International Conference of the System Dynamics Society: 5 th Australian & New Zealand Systems Conference* , 20-23 July 1999, Wellington , 12.

CORPOICA, (2009). Un vistazo al mercado de las flores. Recuperado el 13 de octubre de 2009 de <http://www.corpoica.org.co/SitioWeb/Archivos/Publicaciones/Estrategiasdeinnovaciontecnolgicasparaelsectorfloricultor.pdf>

Cutforth, H.W., Shaykewich, C.F., (1989). Relationship of development rates of corn from planting to silking to air and soil temperature and to accumulated thermal units in a prairie environment. *Can. J. Plant Sci.* 69, 121-132.

Davidson, H.R., Campbell, C.A., (1983). The effect of temperature, moisture and nitrogen on the rate of development of spring wheat as measured by degree days. *Can. J. Plant Sci.* 63, 833-846.

Dourado D., Teruel D., Nielsen D., Frizzone J., Bacchi O., (1998). Principles of crop modelling and simulation: II. The implications of the objective in Model development. *Sci. agric., Piracicaba*, 55, 51-57.

Fisher G., (2007). Efecto de las condiciones climáticas y de nutrición precosecha sobre la calidad poscosecha. *Memorias del curso mejores prácticas de poscosecha para flores de corte*. (28-30 de mayo, 2007). Recuperado el 7 de agosto de 2009 de www.ceniflores.org.

Forrester J., (1981). Jay Wright, Dinámica Industrial. Editorial El Ateneo, Bogotá.

Gallagher, J.N., (1979). Field studies of cereal leaf growth: I. Initiation and expansion in relation to temperature and ontogeny. *J. Exp. Bot*, 30, 625-636.

Giraldo A., Marin D., (2004). La investigación y desarrollo en el sector floricultor: modelamiento y análisis. *Memorias del Segundo encuentro colombiano de dinámica de sistemas*.

Jefferies, R.A., Mackerron, D.K.L., (1987). Thermal time as a non-destructive method of estimating tuber initiation in potatoes. *J. Agric. Sci.* 108, 249-252.

Mattson, N.S., Lieth, J.H., (2006). The effect of temperature on year-round development of rose shoots initiated using cutting or bending. *Fourth International Symposium on Rose Research and Cultivation*. September 18-22, 2005. Santa Barbara, California. Acta Horticulturae. submitted.

Linares H., (2004). Producción de clavel en invernadero. Recuperado el 8 de septiembre de 2009 de http://www.sra.gob.mx/internet/informacion_general/programas/fondo_tierras/manuales/Prod_CLAVEL_en_Invernadero.pdf

López M., Chaves B., Flórez V, Salazar M., (2010). Modelo de aparición de nudos en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) cv. Delphi cultivado en sustratos. *Agronomía Colombiana*. 28(1), 47-54.

McMaster, G.S., W.W. Wilhelm., (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agric. For. Meteorol.* 87, 291-300

McMaster, G.S., Smika, D.E., (1988). Estimation and evaluation of winter wheat phenology in the central Great Plains. *Agric. For. Meteorol.* 43, 1-18.

Mesa C., Palacios F.; (2007) Programación de siembras del miniclavel, utilizando programación lineal. Departamento De Ingeniería Industrial, Universidad De Los Andes. Colombia.

Newman S., (1999). Efectos del clima en la fisiología de la floración. *Clima, fisiología y producción de cultivos bajo invernadero*, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales, 27-34.

Pasian, C.C., Lieth J.H., (1994). Prediction of flowering rose shoot development based on air temperature and thermal units. *Scientia Horticulturae.* 59, 131-145.

Pérez, Cure, Monroy., (2001). Modelo de predicción y manejo de cultivos de rosas. *Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes.* 15. 18-22.

Reifsnnyder W., (ND). A Half Century of Agricultural Meteorology. Recuperado el 10 de mayo de 2011 de http://bill.reifsnnyder.net/half_century.html

Rodríguez, Flórez V., (2006). Comportamiento fenológico de tres variedades de rosas rojas en función de la acumulación de la temperatura. *Agronomía Colombiana.* 24(2). 247-257.

Rojas P., Pérez M., Colinas M., Sahagún J., Avitia E., (2006). Modelos matemáticos para estimar el crecimiento del fruto de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P). *Revista Chapingo. Serie horticultura. Universidad Autónoma Chapingo México.* 14(3). 289-294.

Smith, J. W., (1920). Agricultural meteorology. The effect of weather on crops. The Macmillan Company. New York.

Solano A., (2009) Floricultura colombiana: un caso de colaboración exitosa en protección de cultivos. Recuperado el 27 de octubre de 2009 de http://www.croplifela.org/pages_html/presentaciones/solano.pdf

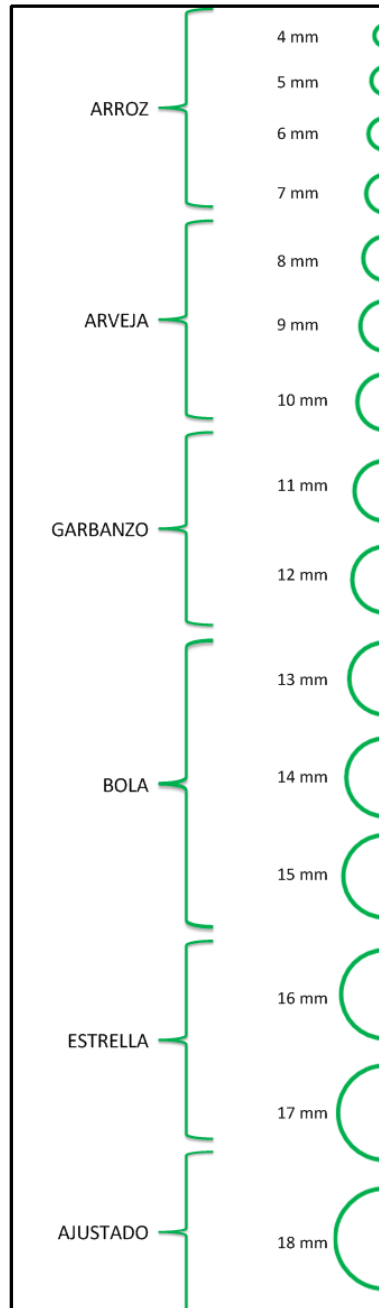
Swanson, S.P., Wilhelm, W.W., (1996). Planting date and residue rate effects on growth, partitioning, and yield of corn. *Agron. J.*88, 205-210.

Tenjo F., (2006). Comportamiento reciente (2000-2005) del sector floricultor colombiano. Banco del república. Recuperado el 15 de noviembre de 2009 de <http://www.banrep.gov.co/docum/ftp/borra363.pdf>

Torres J.G., (ND). Mantenimiento del cultivo para asegurar un óptimo desarrollo y producción de las plantas, SENA sede Mosquera.

ANEXO A REGLA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE ESTADOS

Figura 50 Regla para la identificación de estados



Fuente: Autor

ANEXO B PRUEBAS DE INDEPENDENCIA

Figura 51 Resultados de prueba de independencia para grados día 232,5 y 255,05

data points	59
turning points	55
mean turnings	39.
standard deviation turnings	3.18852
turnings statistic	5.018
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	5.22121e-0
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 52 Resultados de prueba de independencia para grados día 304 y 325

data points	100
turning points	76
mean turnings	66.3333
standard deviation turnings	4.17798
turnings statistic	2.31372
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	2.06834e-002
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 53 Resultados de prueba de independencia para grados día 373 y 387

data points	33
points above median	14
points below median	15
total runs	2
mean runs	15.4828
standard deviation runs	2.6408
runs statistic	5.10555
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	3.29829e-007
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 54 Resultados de prueba de independencia para grados día 402 y 407

data points	131
points above median	36
points below median	44
total runs	5
mean runs	40.6
standard deviation runs	4.39873
runs statistic	8.09324
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	5.55112e-016
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 55 Resultados de prueba de independencia para grados día 430 y 444

data points	165
points above median	10
points below median	78
total runs	4
mean runs	18.7273
standard deviation runs	1.84618
runs statistic	7.97716
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	1.44329e-015
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 56 Resultados de prueba de independencia para grados día 469 y 489

data points	22
turning points	20
mean turnings	14.3333
standard deviation turnings	1.89444
turnings statistic	2.99122
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	2.7787e-003
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 57 Resultados de prueba de independencia para grados día 514

data points	212
points above median	53
points below median	99
total runs	12
mean runs	70.0395
standard deviation runs	5.57751
runs statistic	10.406
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 60 Resultados de prueba de independencia para grados día 688 – 702

data points	61
turning points	53
mean turnings	40.3333
standard deviation turnings	3.2438
turnings statistic	3.90489
level of significance	5.e-002
turnings statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	9.42689e-005
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 58 Resultados de prueba de independencia para grados día 551 – 562

data points	329
points above median	83
points below median	159
total runs	11
mean runs	110.066
standard deviation runs	6.99328
runs statistic	14.1659
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 61 Resultados de prueba de independencia para grados día 712

data points	175
points above median	83
points below median	49
total runs	9
mean runs	62.6212
standard deviation runs	5.34001
runs statistic	10.0414
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 59 Resultados de prueba de independencia para grados día 631

data points	142
points above median	70
points below median	38
total runs	6
mean runs	50.2593
standard deviation runs	4.71349
runs statistic	9.38992
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 62 Resultados de prueba de independencia para grados día 759 - 781

data points	134
points above median	63
points below median	51
total runs	11
mean runs	57.3684
standard deviation runs	5.25545
runs statistic	8.82292
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 63 Resultados de prueba de independencia para grados día 802 – 810

data points	132
points above median	35
points below median	43
total runs	4
mean runs	39.5897
standard deviation runs	4.34036
runs statistic	8.19973
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	2.22045e-0
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 64 Resultados de prueba de independencia para grados día 835

data points	261
points above median	14
points below median	113
total runs	4
mean runs	25.9134
standard deviation runs	2.17446
runs statistic	10.0776
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 65 Resultados de prueba de independencia para grados día 848

data points	106
points above median	10
points below median	41
total runs	3
mean runs	17.0784
standard deviation runs	2.20199
runs statistic	6.39351
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	1.6212e-010
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 66 Resultados de prueba de independencia para grados día promedio 909

data points	175
points above median	87
points below median	21
total runs	6
mean runs	34.8333
standard deviation runs	3.22209
runs statistic	8.94864
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	0.
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 67 Resultados de prueba de independencia para grados día promedio 966

data points	216
points above median	44
points below median	53
total runs	10
mean runs	49.0825
standard deviation runs	4.8561
runs statistic	8.04812
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	8.88178e-016
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

Figura 68 Resultados de prueba de independencia para grados día promedio 1039

data points	86
points above median	26
points below median	16
total runs	5
mean runs	20.8095
standard deviation runs	3.01463
runs statistic	5.24427
level of significance	5.e-002
runs statistic(2.5e-002)	1.95996
p-value	1.56905e-007
result	REJECT

Fuente: Resultados tomados de StatFit

ANEXO C INGRESO DE PARÁMETROS AL MODELO

Figura 69 Ingreso de parámetros al modelo

GRADOS DÍA REQUERIDOS DESDE EL DESCABECE HASTA EL CORTE		GRADOS DÍA REQUERIDOS PARA CAMBIO DE ESTADO	
ESTADO DE DESCABECE	GRADOS DÍA	ESTADOS	GRADOS DÍA
ARVEJA	<GDCARV>	ESTADO 1	<GDA1>
GARBANZO	<GDGARB>	ESTADO 2	<GDA2>
BOLA	<GDBOLA>	ESTADO 3	<GDA3>
ESTRELLA	<GDESTRE>	ESTADO 4	<GDA4>
AJUSTADO	<GDAJUS>	ESTADO 5	<GDA5>
		ESTADO 6	<GDA6>

PORCENTAJE DE TALLOS DESCABEZADOS EN CADA ESTADO

ESTADOS	% Descabece
8 mm	<PD8>
9 mm	<PD9>
10 mm	<PD10>
11 mm	<PD11>
12 mm	<PD12>
13 mm	<PD13>
14 mm	<PD14>
15 mm	<PD15>
16 mm	<PD16>
17 mm	<PD17>
18 mm	<PD18>

Fuente: Autor

ANEXO D RESULTADO DE CORRIDAS DEL MODELO

Tabla 32 Resultado corridas del modelo de simulación

Corridas	Error promedio en cambio de estado (Días)	Error promedio en días de corte (Días)
1	4.00	7.00
2	1.67	4.00
3	0.50	0.50
4	4.33	4.00
5	3.00	1.50
6	5.00	4.00
7	3.50	6.00
8	5.00	6.00
9	4.67	4.00
10	1.50	1.50
11	-1.17	3.50
12	3.50	6.00
13	4.00	3.50
14	2.17	3.50
15	0.00	7.00
16	3.50	2.50
17	0.67	3.50
18	2.67	5.00
19	4.00	1.50
20	1.50	3.50
21	1.67	6.00
22	4.00	6.00
23	2.00	4.00
24	2.00	6.00
25	4.83	6.00
26	-2.00	3.50
27	3.50	4.00
28	1.00	6.00
29	-0.67	-0.50
30	4.67	5.00
Promedio	2.5	4.13

Fuente: Autor