

Evaluación de los procesos de siembra y corte de flores mediante simulación de eventos discretos

Assessment of the sowing and cutting flower processes by discrete-event simulation

Carmenza Osorio Gutierrez¹, Ronald Akerman Ortiz García² y Laura M. Cardenas³

¹ Ingeniera Industrial, Universidad de Antioquia, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7351-7308>

² M.Sc. en Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3367-8235>

³ Ph. D. en Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Antioquia, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7361-5730>
Email: lauram.cardenas@udea.edu.co

Recibido: 05/02/2021

Aceptado: 31/03/2021

Cite this article as: C. Osorio, R. Akerman, L.M. Cardenas "Evaluación de los procesos de siembra y corte de flores mediante simulación de eventos discretos", *Prospectiva*, Vol 19, N° 2, 2021.

<https://doi.org/10.15665/rp.v19i2.2645>

RESUMEN

Este artículo analiza del ciclo productivo de una empresa colombiana productora de flores enfocándose en los procesos de siembra y corte. Estos procesos se caracterizan por la presencia de demoras que implican grandes pérdidas de dinero para la empresa. Para facilitar la toma de decisiones y analizar alternativas para aumentar las utilidades de la empresa, se construyó un modelo de simulación de eventos discretos donde se evaluaron de tres escenarios: 1) un escenario de aceleración forzada del florecimiento, 2) un escenario de venta de flores que son consideradas como desperdicio y 3) un escenario que combina la aceleración forzada del florecimiento y también elimina una línea de trabajo. Los resultados indican que bajo un escenario de aceleración forzada del florecimiento junto con la eliminación de una línea de trabajo podrían lograrse mayores rentabilidades para la empresa y contrarrestar las pérdidas económicas ocasionadas por los retrasos presentes en el proceso de producción, debido al ahorro en recurso humano y al mismo tiempo se logra un incremento en la producción de flores de la empresa.

Palabras Clave: ciclo productivo, sector floricultor, simulación de eventos discretos, siembra, corte rentabilidad.

ABSTRACT

This paper analyzes the production cycle of a Colombian flower producing company, focusing on the sowing and cutting processes. These processes are characterized by the presence of delays that imply large losses of money for the company. To facilitate the decision-making process and analyze alternatives to increase the company's profit, a discrete-event simulation model was built where three scenarios were evaluated: 1) a scenario of forced acceleration of flowering, 2) a scenario of sale of flowers that are considered waste, and 3) a scenario that combines the forced acceleration of flowering and eliminates a line of work. The results indicate that under a scenario of forced acceleration of flowering together with the elimination of a work line, greater profitability could be achieved for the company and counteract the economic losses caused by the delays present in the production process, due to the saving in human resources and at the same time achieving an increase in the production of flowers.

Key words: Production cycle, floriculture sector, discrete-event simulation, sowing, cutting, profitability.

1. Introducción

La disciplina de la floricultura es de gran importancia para países como Colombia, quien se ha convertido en el segundo exportador mundial de flores y su principal cliente destino es Estados Unidos [1]–[5]. Debido a la importancia que tiene este sector para la economía del país, es importante analizar la manera cómo se realizan los procesos dentro de las organizaciones dedicadas a la floricultura.

Los procesos que se llevan a cabo dentro de una empresa floricultura son: negociación, precosecha, mantenimiento y postcosecha [6]. Dentro de estos procesos se han identificado algunos problemas tales como: la pérdida masiva de materia prima y producto terminado, debido a las devoluciones realizadas por el cliente [7]. La presencia de estos problemas se debe a que la velocidad con la que siembran y cortan los floricultores no es la óptima y por esta razón las diferentes especies de flores florecen o “maduran” en diferentes días, de manera que los pedidos se retrasan, generando insatisfacción en los clientes y grandes pérdidas económicas a la empresa. Adicionalmente se resalta que el proceso de corte es laborioso y complicado ya que requiere de capacidades empíricas por parte del floricultor (saber a qué altura debe cortar y que tan abiertas deben estar las flores), por esto el tiempo de operación en este proceso no está estandarizado lo cual podría generar diferencias en el tiempo de entrega prometido al cliente y el tiempo de entrega real utilizado. Estas demoras en la entrega del producto final (tratándose de flores), pueden implicar pérdidas enormes debido a la prematura descomposición de éstas.

El estudio de la cadena productiva de las flores en la literatura científica desde herramientas cuantitativas como la simulación es limitada. El mercado floricultor donde se han dado más aplicaciones es el mercado holandés. Se han realizado aproximaciones para analizar las barreras sociales e institucionales presentadas en las cadenas de suministro virtuales recurriendo para ello a la utilización de juegos de simulación en el caso floricultor holandés [8]. También se encuentran aproximaciones desde la simulación basada en sistemas multi-agentes como el trabajo [9], donde se analiza la política del envío anticipado como herramienta para mejorar la cadena de una empresa floricultura.

En Latinoamérica, el sector floricultor ha sido analizado por algunos trabajos que han intentado dar solución a otras problemáticas, como por el ejemplo el trabajo realizado en una empresa en donde se analizan los efectos en las ventas de una empresa de flores frente a factores de variedad de las rosas, tamaño del tallo y estado del botón ecuatoriana a partir de diseño de experimentos [10]. También es el caso de [11] quien establece un plan de comunicaciones de marketing para un mejor desarrollo de operaciones del sector floricultor en Ecuador; algo similar se presenta para el caso mexicano, donde se analizan factores mercadológicos como competitividad y comportamiento del consumidor los cuales influyen en la producción y venta de flores exóticas que se cosechan en una región de México [12]. Por otro lado, [13]

muestran las características socioeconómicas y técnicas de la agricultura ornamental en algunas localidades mexicanas haciendo énfasis en escenarios económicos de competencia y libre mercado.

Algunos autores han hecho aproximaciones al análisis del sector floricultor en Colombia, sin embargo, no se encuentran aproximaciones desde la simulación discreta para su estudio. Uno de los trabajos que analiza el mercado colombiano es el caso de [14] quienes analizan el impacto que podrían tener las tecnologías de información en la competitividad del sector floricultor. Por otro lado, [15] analizan en mayor detalle la cadena de suministro de las flores, logrando identificar puntos críticos tales como desarrollo tecnológico, manejo de mercancías y gestión de la demanda; así mismo, se ha analizado los principales factores limitantes que tienen las empresas exportadores de flores del departamento de Antioquia, encontrándose dentro de estos factores: la visión empresarial limitada, la capacidad interna logística de la empresa, el entrenamiento del recurso humano, entre otros [16]. En Cundinamarca, se han realizado estudios con el fin de determinar el perfil competitivo que favorece el desarrollo de cultivo de flores es ese territorio [17]. Para la región antioqueña, se han realizado estudios para determinar cuál debería ser la utilización de recursos que lleven a mejoras en la productividad de las empresas del sector floricultor [6].

Es este artículo se propone modelar el sistema de una empresa de productora de flores a través de la simulación de eventos discretos, reflejando las demoras mencionadas anteriormente y plantear nuevos escenarios que permitan evaluar opciones de ¿cómo lograr que la empresa mejore sus utilidades sin afectar la calidad del producto? Con el modelo planteado se logra tener control de todas las variables, en este caso las variables de los procesos de siembra y corte, de manera que se pueda predecir, comparar y optimizar los resultados de este procedimiento sin costo alguno y sin los riesgos que un experimento real puede generar a la empresa [18].

Para el desarrollo del modelo, se describe en la sección dos de este artículo, los principales procesos que intervienen en el ciclo productivo de las flores, se identifican las variables que intervienen y se presentan los tiempos de los procesos que se utilizaron en la simulación. Posteriormente se hace un planteamiento formal del modelo de simulación de eventos discretos construido. En la sección tres se presentan los resultados del modelo frente a diferentes escenarios y su respectiva discusión y, por último, en la sección cuatro se plantean las conclusiones encontradas.

2. Metodología

Para el análisis de los tiempos de los ciclos productivos de la empresa floricultura, se realizó un modelo de simulación discreta debido a que es de gran ayuda debido a su naturaleza para analizar problemas que tienen colas y variación de estados y/o comportamientos en el tiempo y su sencillez en el proceso de modelado y que pueden ser validados fácilmente [19].

Asimismo, los sistemas discretos hacen referencia a los elementos del modelo que presentan variaciones en puntos discretos en el tiempo, permitiendo analizar situaciones con elementos estocásticos mediante software elaborando modelos que representen dichas situaciones fielmente con sus respectivos comportamientos para de esta manera realizar la respectiva experimentación con el fin de llegar a una posible toma de decisiones [19].

A continuación, se presenta una definición de las principales variables del modelo, seguido de una representación gráfica del mismo, luego se describe el proceso de recopilación y modelado de datos y se presentan la toma de tiempos y tamaño de la muestra utilizada en la formulación y se hace el planteamiento formal del modelo construido.

2.1 Definición de variables

En la *Tabla 1*, se presentan una clasificación de las principales variables del modelo. Esta clasificación se hace teniendo en cuenta si son variables endógenas o exógenas. También se enuncian las principales variables de estado y las variables de desempeño.

Tabla 1. Variables del modelo de simulación

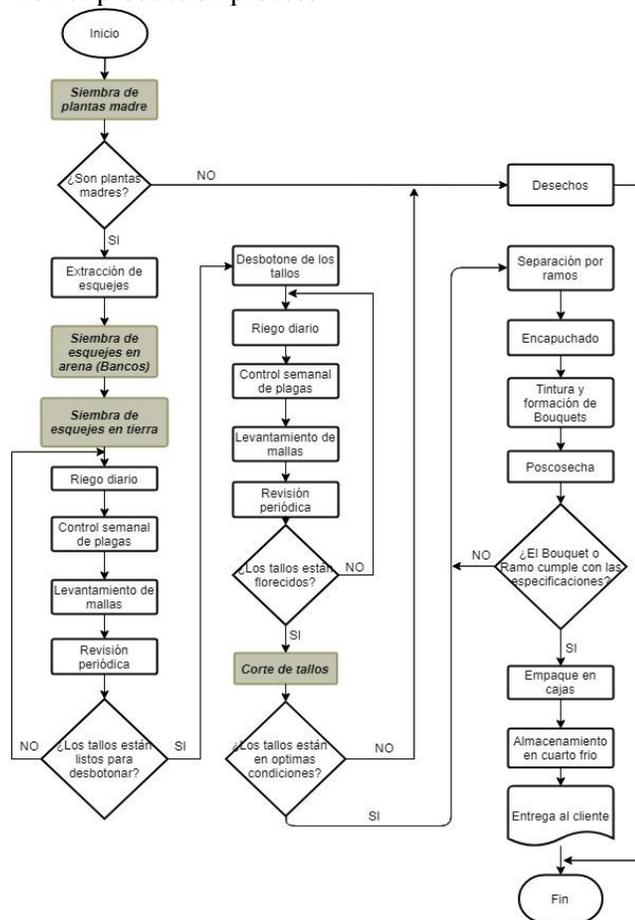
Table 1. Simulation model variables

Tipo de variable	Nombre de la variable
Variables endógenas	Tallos en el sistema en un instante de tiempo
	Tallos en cola
Variables exógenas	Tiempo de identificación de plantas madre
	Tiempo de siembra
	Tiempo de desbotone
	Tiempo de corte
	Tiempo de encapuchado
	Tiempo de armado de ramos
	Tiempo de armado de bouquet
	Ramos producidos
	Cantidad de recursos
Variables de estado	Tiempo promedio que un tallo permanece en la cola
	Tiempo de permanencia de un tallo en el sistema
Variables de desempeño	Ramos empacados
	Bouquets empacados
	Tallos desechados
	Ocupación de los recursos por áreas

2.2 Modelo de simulación de eventos discretos del proceso productivo de flores

Para poder hacer una aproximación del modelo, se tendrán en cuenta las cuatro fases principales del proceso productivo de las flores en Colombia que son siembra, corte de tallos, enmallado y empaque [20]. En la *Figura 1* se presenta el flujograma del proceso productivo de flores en donde se observa la secuencia de las actividades de todo el proceso productivo.

Figura 1. Flujograma del proceso productivo de flores
Figure 1. Flowchart of the flower production process



El proceso productivo inicia con la identificación de plantas madre, analizando cuáles plantas de un cultivo específico sobreviven a una determinada cantidad de semanas conservando todas sus características de calidad (color, textura, tamaño de florecimiento, etc.), luego de identificar dichas plantas, se extraen de ellas los esquejes y las demás se descartan.

Posteriormente, los esquejes se siembran en la zona de bancos los cuales consisten en camas de arena encerradas en plásticos a una temperatura determinada para fortalecer las raíces del esqueje; después de un tiempo, dependiendo del tipo de planta según su especie, se extraen y se llevan a unas camas de tierra (previamente tratadas para el proceso productivo) donde se siembran nuevamente y se dejan hasta que surjan sus brotes en flor.

Una vez surjan los brotes se pasa al proceso de corte, donde se cortan cuidadosamente los botones laterales o el principal (dependiendo de las especificaciones del cliente) y se espera el florecimiento que depende de varios factores como clima, luz (cada especie necesita una cantidad diferentes de exposición a luz solar o artificial), fumigación (con productos de calidad), riego, entre otros factores.

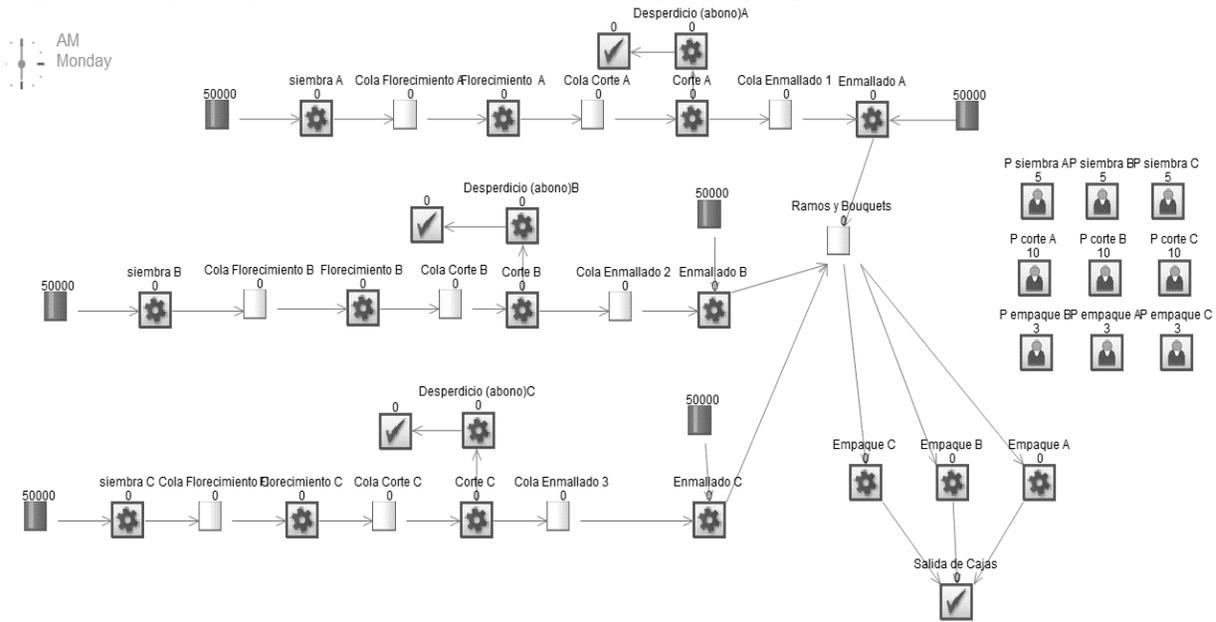
Después del florecimiento, se procede al corte de los tallos, agrupando aquellos que tengan características similares para hacer los ramos, luego se empaquetan estos ramos en una capucha plástica que protege el ramo

durante las demás etapas del proceso productivo dentro y fuera de la empresa; finalmente se introducen los ramos encapuchados en recipientes con agua para preservarlos mientras se da inicio a la próxima fase del proceso que es la tintura.

En el proceso de tintura se deben tener en cuenta las especificaciones del cliente ya que no todas las flores deben ser tinturadas, de acuerdo con dichas especificaciones se tinturan las flores y se arman ramos y bouquets. Finalmente, tanto ramos como bouquets pasan al área de poscosecha donde se inspeccionan y en caso de ser necesario (cuando no cumplen con características de calidad) se devuelven a la fase de separación y encapuchado donde se procesan; por último, se empacan en cajas para ser enviadas al cliente.

En la *Figura 2* (modelo realizado en el software SIMUL8®[21]) se muestra gráficamente todos los procesos mencionados incluyendo la cantidad de operarios que se desempeñan en un solo bloque de la empresa, donde se observa que la capacidad inicial de la cola a la primera actividad (siembra) es 50000 unidades y la cantidad de operarios destinados para un bloque son la mitad del total que posee la empresa para un área específica, esto se puede verificar comparando con la *Tabla 2*.

Figura 2. Representación gráfica del modelo con el proceso productivo de flores
Figure 2. Graphic representation of the model with the production process of flowers



2.3 Recopilación y modelado de datos

Para la elaboración del modelo fue necesario recopilar información de los tiempos que tardan los centros de trabajo en procesar los tallos, para ello se realizaron visitas a la empresa seleccionada como caso de estudio y hacer la toma de los tiempos. Además, durante las visitas realizadas a la empresa fue necesario recolectar información adicional sobre las condiciones generales que inciden en el proceso, la información recolectada se resume en la tabla 2.

Tabla 2. Datos utilizados en el modelo de simulación.
Table 2. Data used in the simulation model.

Información General	
Ítem	Cantidad

Número de bloques a simular	1
Naves / Bloque Estándar	8
Camas / Nave	12
Tallos / Cama	4200
Longitud de las camas (metros)	40
Información sobre procesos	
Ítems Siembra	
Operarios siembra / Bloque	Cantidad
Tiempo teórico siembra / Cama (minutos)	15
Ítems de Corte	
Operarios corte / Bloque	Cantidad
Tallos / Ramo	30
Tasa de desperdicio	6,8,12
Empaque	
Operarios empacadores	Cantidad
Promedio teórico cajas a empacar / Hora	9
Baldes / Carro	17
Ramos / Balde	9
	6

Fuente: Datos tomados directamente de la empresa por los autores.

2.4 Toma de tiempos y tamaño de la muestra

Para facilitar la toma de tiempos y debido a los recursos disponibles, se realizó un muestreo a partir de la población de tallos totales pertenecientes al bloque estándar que se analizó. Para realizar dicho muestreo se empleó la siguiente ecuación 1 del tamaño muestral para proporciones con una población finita conocida planteada por [22]:

$$n = \frac{N * (Z_{1-\frac{\alpha}{2}})^2 * p * q}{(N-1) * \epsilon^2 + (Z_{1-\frac{\alpha}{2}})^2 * p * q} \quad (1)$$

Donde:

n: representa el tamaño de la muestra a encontrar

N: es la población total de tallos en el bloque =403200

Z_{1- α /2}: es el estadístico de prueba normalizado que en este caso será de 1.96 para un nivel de confianza del 95%

ϵ : es el margen asociado a la cantidad de error en el muestreo calculado. Para este caso se definirá un margen de error estándar del 3% siguiendo el planteamiento de [22].

p: es el estadístico asociado a la probabilidad de obtener un resultado tan extremo como el observado.

q: es el estadístico asociado a la probabilidad de obtener un resultado diferente al observado. También se define como el valor complementario de **p** ó (1-p)

Para este caso, el valor **q** y el valor **p** serán de 0.5 debido a que no existe experiencia previa sobre el proceso de floricultivo, siendo el producto entre ambos coeficientes, un maximizador del tamaño muestral que brindará mayor confianza al resultado obtenido.

Reemplazando en la ecuación del tamaño muestral se obtiene la siguiente ecuación 2:

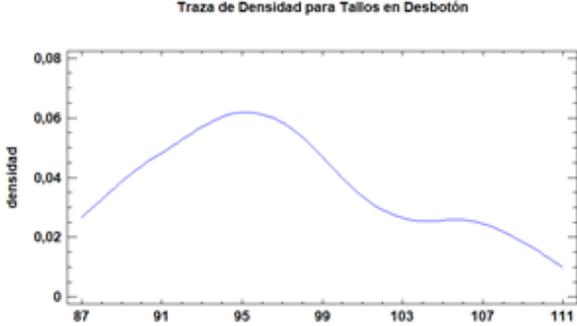
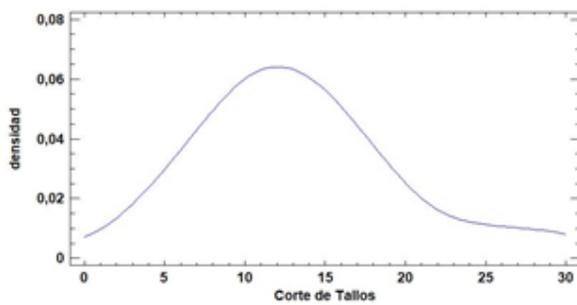
$$n = \frac{403200 * (1,96)^2 * 0,5 * 0,5}{(403200 * (0,03)^2 + (1,96)^2 * 0,5 * 0,5)} \quad (2)$$

$$n = 1064 \text{ tallos}$$

Con base en el tamaño muestral obtenido, se realizó una toma de tiempos para cada proceso. Apoyado con la herramienta R Studio [23], los parámetros obtenidos para cada proceso y la distribución de donde se obtuvo dicho parámetro son mostrados en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Parámetros y su respectivo ajuste de distribuciones.

Table 3. Parameters and their respective adjustment of distributions.

Proceso	Distribución	Parámetro	Traza de densidad
Siembra	Poisson	$\lambda = 96,5$ tallos / minuto	
Corte	Poisson	$\lambda = 13,31$ tallos / minuto	
Enmallado	Uniforme	U [13, 18] Segundos	-
Empaque	Average	$\mu = 3,127$ minutos / caja	-

En el proceso de siembra y corte, se recolectó información con base en una secuencia de eventos bajo la distribución Poisson, donde se categorizan los empleados en tres tipos: Tipo A (empleados con poca experiencia laboral), tipo B (empleados con gran experiencia laboral) y tipo C (empleados con nivel de experiencia laboral moderado); en la *Tabla 4* se muestra la distribución basada en cada tipo de operario.

Tabla 4. Distribución por operario en las actividades.

Table 4. Distribution by operator in activities

Tipo de operario	Proceso	Distribución	Lambda promedio	Transformación
A	Siembra	Poisson	= 92,75 tallos / minuto	$\lambda = 0,01078$ min/ tallo
B			= 101,5 tallos / minuto	$\lambda = 0,00985$ min / tallo
C			= 95,25 tallos / minuto	$\lambda = 0,01049$ min/ tallo
A	Corte	Poisson	= 8,083 tallos / minuto	$\lambda = 0,12371$ min / tallo
B			= 18,02 tallos / minuto	$\lambda = 0,05549$ min / tallo
C			= 13,83 tallos / minuto	$\lambda = 0,07230$ min/ tallo

2.5 Verificación del modelo y número de corridas

Para el modelo construido en este artículo se establecieron 200 corridas, teniendo en cuenta el planteamiento de [24]. Con el objetivo de identificar errores en cuanto a la lógica operacional que maneja el modelo, se aplicaron las siguientes metodologías:

- Correr casos simplificados:** en esta metodología de verificación se realizaron cambios pequeños para generar corridas pequeñas, es decir, se toma una cantidad pequeña de materia prima y se corre el modelo para verificar cómo es su comportamiento a través de todas las actividades y si dicho comportamiento sigue la lógica de modelación.
El resultado observado fue adecuado, ya que las rutas seguidas entre cada actividad eran las correctas y se hicieron coherentes, además se comprobó que las funciones como el Batching Out, Routing Out y Routing In por porcentajes hacen su trabajo debidamente y funciona bien la capacidad definida para las colas de los procesos.
- Consistencia:** En este tipo de verificación se busca reemplazar partes del modelo por elementos que realicen una equivalencia, es decir, los valores asignados en una parte del modelo pueden trasladarse a otro lugar de este, donde se sabe que las actividades que allí aparecen cumplen con funciones muy parecidas y se logre encontrar similitud. El objetivo es observar que se mantengan los resultados, aunque se intervenga el modelo con los cambios mencionados.
Para motivos de esta verificación la asignación de los recursos fue trasladada a las actividades de “Empaque” y “Enmallado”, las cuales son actividades que siguen a las actividades de “Siembra” y “Corte”. Pese a realizar este cambio, el comportamiento del modelo fue igual, las colas que existen en el sistema permanecieron en los mismos lugares y la proporción de tiempo ocupado de los operarios no tuvo cambios.
- Prueba semilla:** En este tipo de verificación se busca chequear la aleatoriedad del modelo además de su consistencia. Esta prueba se hace generando diferentes semillas para el modelo, a través de la función Random Sampling Parameters del programa SIMUL8®.

2.6 Validación del modelo

En la simulación es esencial la validación, ya que garantiza que el proceso es coherente con el sistema real, por esto se realiza una comparación entre el sistema real y el simulado para comprobar su fiabilidad, para llevar a cabo este paso puede hacerse con la validez externa, o bien llamada intuición del experto [25]. A continuación, se describen las pruebas de validación que fueron aplicadas al modelo construido.

- **Intuición del experto:** para juzgar la validez del modelo realizado se tomó en cuenta la valoración dada por un experto acerca de todo el proceso productivo y sus actividades internas realizados por la empresa. Los expertos consultados fueron el dueño de la planta que tiene aproximadamente 5 años de experiencia en el mercado de flores, y el administrador de la empresa que cuenta con más de 15 años de experticia. Los expertos seleccionados observaron el comportamiento obtenido en las simulaciones, las tendencias, valores, tiempos de operación con el fin de verificar su pertinencia y de esta manera, tener su aprobación frente a los supuestos y resultados del modelo. Así mismo, los expertos participaron en la revisión de los escenarios planteados.

Es importante señalar que debido a la ausencia de datos históricos del proceso y al ser un modelo convencional se recurrió a la intuición del experto, sin embargo, se sugiere como trabajo futuro, que se contrasten los resultados de los escenarios con otras publicaciones que se logren en el tema de la simulación de eventos discretos aplicada al sector floricultor; esto con el fin de complementar la validación del modelo.

2.7 Supresión del estado transitorio

Para el modelo construido se implementó una técnica para supresión del estado transitorio de acuerdo al planteamiento de [26]. En esta técnica se realizan las simulaciones con inicializaciones adecuadas al modelo, luego se iniciaron las simulaciones en la media de los valores que se tiene en dicho modelo, de acuerdo con los datos históricos obtenidos.

2.8 Análisis de sensibilidad

Mediante el análisis de sensibilidad se busca hacer una estimación de las variables críticas en el modelo de simulación y establecer qué tanto repercuten en el ajuste del modelo y en sus resultados. La ejecución de este análisis se llevó a cabo repitiendo en el modelo los valores de llegada de flores al proceso, imponiendo que al inicio de cada semana siempre habrá una llegada con una capacidad de 25000 por semana, aquí se aclara que la simulación se lleva a cabo durante 8 semanas por lo cual la capacidad inicial de la cola a la primera actividad (siembra) es 50000 y el modelo cuenta con una salida luego de todas las actividades que es la Salida de cajas empacadas, todo esto nos permite ver la robustez del modelo.

Se procede a cambiar la función Collect de cada enrutador de la actividad “Enmallado” a como se habían definido anteriormente, este cambio también fue realizado en las funciones Collect de los enrutadores de la actividad “Empaque” aumentando dos unidades a cada uno; además, se define una capacidad para la cola de Ramos diferente a la definida inicialmente.

En la *Tabla 5* se observan los valores obtenidos en el proceso de Enmallado y Empaque luego de correr ambas simulaciones, donde se evidencian los cambios que alteran significativamente el modelo, por otra parte, en las Colas de Corte, las proporciones de las actividades de Corte, Empaque y Enmallado, y los porcentajes de utilización de los recursos, sufrieron cambios que no fueron significativos, es decir, los parámetros que no se modificaron permanecen iguales en ambas corridas.

Con estos resultados, se concluye que el modelo no es sensible a ningún parámetro en específico; lo que es algo positivo ya que agrega robustez al modelo.

Tabla 5. Cambios en los valores por cada corrida.

Table 5. Changes in values for each run.

		1ra Corrida	2da Corrida
Empaque A	% de utilización	0,918056392	0,532364121
	Número de operarios	111	66
Empaque B	% de utilización	0,91497822	0,556238719
	Número de operarios	111	66
Empaque C	% de utilización	0,893479785	0,528948227
	Número de operarios	111	65
Enmallado A	% de utilización	1,575614086	0,785885602
	Número de operarios	2373	1186
Enmallado B	% de utilización	1,178259594	0,784539386
	Número de operarios	1780	1186
Enmallado C	% de utilización	0,783939121	0,783939121
	Número de operarios	1184	1184
Operario tipo A	% de utilización	3,551464431	3,551464431
	Uso promedio	0,035514644	0,035514644
Operario tipo B	% de utilización	0,918056392	0,532364121
	Uso promedio	0,009180564	0,005323641
Operario tipo C	% de utilización	6,35191009	5,562181606
	Uso promedio	0,063519101	0,055621816
Salida de Cajas	Total	333	197

3. Resultados y discusión

Para el análisis de resultados del modelo se construyeron tres escenarios: 1) Escenario de aceleración forzada del florecimiento; 2) escenario de venta de flores consideradas desperdicio y 3) escenario de combinación entre aceleración forzada del florecimiento y eliminación de línea de trabajo. Una mayor descripción de los escenarios se presenta en la *tabla 6*, donde se presenta el nombre del escenario y su objetivo.

Tabla 6. Descripción de escenarios planteados.

Table 6. Description of proposed scenarios.

Escenario	Objetivo
Aceleración forzada del florecimiento	Depurar el cuello de botella generado en el sistema por el proceso de florecimiento
Venta de flores consideradas desperdicio	Generar nuevas fuentes de ingresos para subsanar las pérdidas económicas en los procesos de la empresa.
Combinación entre aceleración forzada del florecimiento y eliminación de línea de trabajo	Analizar las variaciones en el sistema, mediante la eliminación de la línea de trabajo más improductiva implementando a su vez una aceleración forzada del florecimiento.

3.1 Resultados del escenario de Aceleración forzada del florecimiento

La técnica de aceleración forzada del florecimiento consiste en inducir calor extra mediante técnicas artesanales a las flores en temporada de invierno. Estos procesos se hacen en las entradas de los bloques a intervenir. Los resultados de este modelo estiman que, mediante el uso de esta técnica de calentamiento, la tasa de desperdicios puede llegar hasta un 2% pues la calidad de las flores cercanas a la fuente de calor puede verse afectada.

Este tipo de prácticas se usa principalmente en temporada de invierno, puesto que las temperaturas bajan a tal nivel que la flor puede tardar hasta cuatro semanas en florecer desde el sembrado (límite superior de la distribución uniforme). El propósito de este cambio radica en observar en cuánto mejora la producción acortando el florecimiento de cuatro semanas a tres semanas, según datos suministrados por los expertos que se consultaron para la realización del modelo. Por otro lado, en condiciones climáticas ideales, principalmente en verano, la flor puede acelerar su crecimiento naturalmente, acortando su tiempo de florecimiento de tres semanas a dos semanas.

Adicionalmente en los resultados se observó un fenómeno particular y es que el porcentaje de tiempo trabajado en siembra es cero. Esto se puede explicar debido a que la fracción de tiempo que se trabaja en siembra es muy corta respecto al tiempo simulado, pues la mayoría del tiempo, tanto este como los demás procesos permanecen ociosos. Se observa un comportamiento similar en los demás procesos: corte, enmallado y empaque. Omitiendo florecimiento de los tallos, seguramente estos porcentajes ascenderían, pero sería eliminar un tiempo vital que forma parte del proceso.

A su vez, se observó un incremento importante en la cantidad de flores empacadas al final, pasando de 183 a 330 cajas empacadas, lo cual indica que, acelerar el proceso del florecimiento de manera forzada en realidad es útil, sin embargo, la tasa de desperdicio incrementó aproximadamente un 2%, lo cual puede ser contraproducente en cuestión de recursos, de manera que esta situación puede ser un punto a evaluarse en futuras investigaciones.

3.2 Resultados del escenario de Venta de flores consideradas desperdicio

Se observa que el 1% que se considera como tasa de desperdicio, aproximadamente el 0,5% pertenece a tallos que pueden ser comercializados como flor nacional. Las políticas de la empresa actualmente dictan que toda producción de flor debe ser para exportación. Es por esto, que se desea evaluar un cambio sobre esta política, en la cual se permita comercializar las flores con mucha apertura y que ya no pueden ser exportadas.

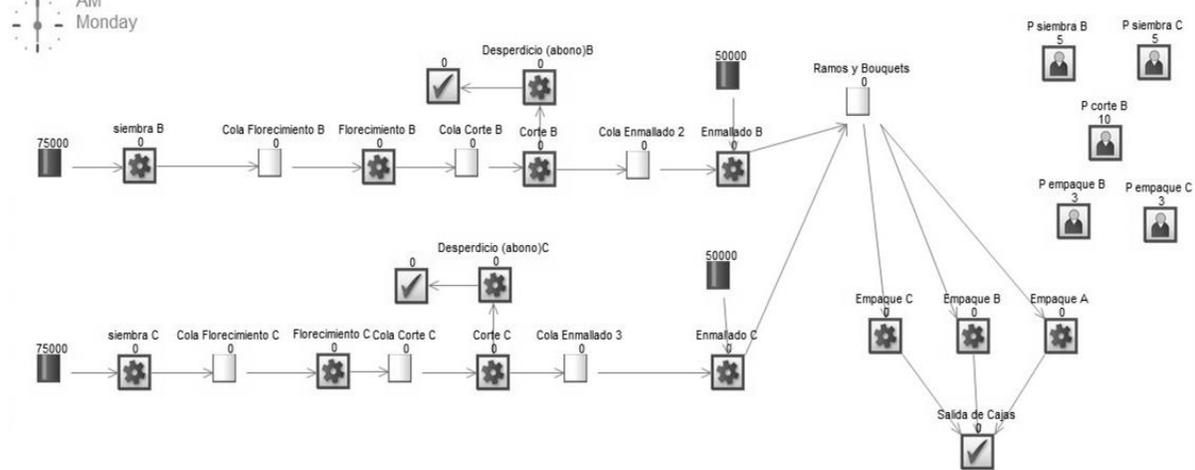
A su vez, se puede observar que en este escenario es bastante notoria la disminución de los desperdicios en un 0.5% con respecto al primer escenario y al escenario base. A pesar de que el objetivo de la empresa es la exportación de flores, aprovechar el porcentaje de flores que pueden ser comercializados para la venta nacional puede generar mayores ingresos y además evitaría pérdidas en los recursos usados para su respectiva producción.

3.3 Resultados del escenario de eliminar la línea de producción que posea una menor utilización, implementando a la vez una aceleración forzada del florecimiento

Mediante esta alternativa se pretende eliminar la línea de producción que posea una menor utilización, permitiendo el ahorro de recursos y una disminución en costos de producción, implementando a la vez una aceleración forzada del florecimiento planteado en el primer escenario. En la *Figura 3* se presenta la modificación esquemática del modelo a partir de la implementación de esta alternativa.

Figura 3. Modificación esquemática del modelo

Figure 3. Schematic modification of the model



En este último escenario se muestra la eliminación de la línea A excepto en el empaque, debido a que era la que mayor demora presentaba en realizar la siembra y el corte de los tallos. Por ende, se eliminaron también los recursos asociados a estas líneas, razón por lo que en este escenario se tienen menos recursos.

Este escenario además incluye aceleración forzada del florecimiento, por lo cual se observa que este proceso demoró en la simulación en promedio 25.186,21 minutos (entre dos y tres semanas), lo que representa un incremento en la producción pasando de 183 cajas a 277 cajas. Para el horizonte de tiempo equivalente a ocho semanas.

En la *Tabla 7* se presenta el resumen de los costos de implementación de cada uno de los escenarios, en dicha tabla se presentan los valores de las ventas, los valores de los desperdicios por cada línea y el valor total, también se presentan las utilidades, estas últimas están determinadas a partir de las ventas por cada caja menos los costos por desperdicio y menos los costos de mano de obra.

Tabla 7. Comparación de resultados de los escenarios simulados
Table 7. Comparison of results of simulated scenarios

Variables analizadas (pesos colombianos)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Venta por cada caja	16'500.000	9'200.000	13'850.000
Perdidas por desperdicio línea A	146.344,8	22.394,4	0
Perdidas por desperdicio línea B	113.012,3	10.155,6	76.557,6
Perdidas por desperdicio línea C	77.164,33	11.457,6	62.756,4
Total costo desperdicio	336.521,43	44.007,6	139.314
Costo mano de obra	14'062.356	14'062.356	7'812.420
Utilidad	2'101.123	-4'906.363, 6	5'898.266

Tomando como referencia las utilidades generadas por la implementación de cada uno de los escenarios, puede afirmarse que el tercer escenario es el más rentable, tanto en cuestión de ahorro sobre el recurso humano como en cuestión de depuración sobre el cuello de botella en florecimiento y el incremento en la producción, pasando de 183 cajas a 277 cajas empacadas en ocho semanas, adicionalmente se observa que el escenario 2 presenta unos valores negativos en la utilidad, indicando pérdidas para la empresa.

4. Conclusiones

El incremento de ciclos productivos al año es posible mediante una aceleración forzada del florecimiento por medio de técnicas seguras (técnica de luz preferiblemente), pasando en condiciones idóneas de 4,7 ciclos a 6,5 ciclos productivos en un año, lo que son valores representativos en el proceso de negocio de la empresa. Para realizar el proceso de aceleración forzada, es común la utilización de productos químicos que, aunque útiles, también son inseguros tanto para la infraestructura como para la salud de los empleados y el ambiente en general ya que el proceso rústico de calentamiento de las flores se corren riesgos de incendios dado que la mayoría de los materiales en los cuales se encuentran construidos los bloques son inflamables.

Sin embargo, hay que decir que existe un método alternativo, el cual consiste en la utilización de luz artificial (bombillas) directa sobre los tallos (tanto de día como en la noche) lo que acelera el crecimiento de las plantas en general; por lo que en caso de ser necesario un florecimiento forzoso se recomienda utilizar dicho método por lo que no es agresivo ni con el ambiente ni con la salud de los empleados. Del mismo modo, se sugiere realizar una investigación desde la agronomía y la biología que permita, mediante las características del suelo, el ambiente y el uso de fertilizantes o agentes químicos de bajo riesgo, acelerar el proceso de florecimiento sin efectos adversos que perjudiquen el ambiente.

Es común que cada operario tenga una habilidad específica para la cual fue entrenado inicialmente y cuya práctica a través del tiempo le ha permitido perfeccionarla adquiriendo cada vez más experiencia, sin embargo, se sugiere implementar planes de entrenamiento para que los operarios desarrollen habilidades multipropósito. Cuando un operario termina su labor en un bloque, es enviado a otro para realizar la misma labor, aunque se puede asignar un operario a un determinado bloque o serie de bloques para realizar las actividades de siembra y corte, por lo que pueden asignarse operarios a diversos bloques e intercambiar funciones entre operarios para agilizar tareas de producción.

Para reducir la tasa de desperdicios, es necesario implementar un cambio en la política de ventas en la empresa. Tal como se planteó en el escenario 2 parte de las flores que no es posible exportar, pueden ser vendidas a menor precio en el mercado nacional generando utilidades sobre los recursos que actualmente son desechados. Con dicha política se lograría una disminución de la tasa de deshecho a menos del 1%, sin embargo, se requiere de especial cuidado en el precio de venta puesto que dichas flores no serían vendidas al mismo precio que en exportación, y se requiere de mano de obra para su producción lo cual puede llevar a pérdidas en la empresa. Adicionalmente se sugiere que para futuras investigaciones se realice un análisis cuidadoso de los beneficios tributarios que podría dejar de recibir la empresa al cambiar su actividad comercial del mercado internacional al mercado nacional.

Referencias

- [1] El Heraldo. (2019) Colombia exportó más de 35.000 toneladas de flores para el día San Valentín [Internet], Disponible desde: <<https://www.elheraldo.co/economia/colombia-exporto-mas-de-35000-toneladas-de-flores-para-el-dia-san-valentin-597560>> [Acceso 11 de enero 2020].
- [2] LA REPUBLICA. (2019) En 2018 Colombia exportó 259523 toneladas de flores y la industria continúa en crecimiento [Internet], Disponible desde: <<https://www.agronegocios.co/agricultura/en-2018-colombia-exporto-259523-toneladas-de-flores-y-la-industria-continua-en-crecimiento-2849421>> [Acceso 12 de Diciembre 2019].
- [3] M. L. Quirós, “La floricultura en Colombia en el marco de la globalización: aproximaciones hacia un análisis micro y macroeconómico,” *Rev. Univ. EAFIT*, 37 (122), 59–68, 2001.
- [4] Revista Semana. (2017) Así está el mercado de las flores en Colombia [Internet], Disponible desde: <<https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/mercado-de-las-flores-en->

colombia-asi-esta-este-sector/38350> [Acceso 20 de Octubre 2018].

- [5] R. Zamudio-Rozo, J. A. Benavides, and M. Torres-Tovar, *Flores Colombianas : Entre el amor y el odio. Subjetividad y Factores psicosociales intralaborales, extralaborales e individuales en trabajadoras y trabajadores florícolas de la Sabana de Bogotá*. Colombia: Corporación Cactus, 2011, pp. 29-31.
- [6] D. L. Zapata-Ruiz and J. C. Oviedo-Lopera, “Modelo de Simulación de Alternativas de Productividad para Apoyar los Procesos de Toma de Decisiones en Empresas del Sector Floricultor Antioqueño,” *Inf. tecnológica*, 30 (2), 57–72, 2019.
- [7] M. I. Cadena-Paz. (2019) Diseño de la cadena de producción para la Comercializadora Flores de Occidente en la vereda El Pinar, Tunia-Cauca. Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Occidente.
- [8] G. Salvini, G. J. Hofstede, C. N. Verdouw, K. Rijswijk, and L. Klerkx, “Enhancing digital transformation towards virtual supply chains: a simulation game for Dutch floriculture,” *Prod. Plan. Control*, 1–18, 2020.
- [9] N. Q. Viet, B. Behdani, and J. Bloemhof, “Data-driven process redesign: anticipatory shipping in agro-food supply chains,” *Int. J. Prod. Res.*, 58 (5), 1302–1318, 2020.
- [10] C. Flores Tapia, K. Flores Cevallos, A. Mendoza Misse, and A. Valdivieso, “Análisis del volumen de ventas de rosas en la empresa ‘High connection flowers’ aplicando diseño de experimentos: caso particular.,” *Sci. Tech.*, 22 (3), 281–287, 2017.
- [11] J. C. Oviedo. (2003) Desarrollo de un plan de comunicaciones de marketing que permita nuevas oportunidades de negocios para una empresa floricultura. Tesis de Maestría, Universidad Andina Simón Bolívar.
- [12] D. R. Cueto, R. Guadalupe, M. Feliciano, A. Leslie, and L. Ayala, “Factore mercadológicos de la producción y venta de flores exóticas en el Ejido Raymundo Enríquez en Tapachula, Chiapas,” *Rev. Mex. Agronegocios*, 38, 343–354, 2016.
- [13] M. E. Orozco-Hernández and M. Mendoza-Martínez, “Competitividad local de la agricultura ornamental en México,” *Cienc. Ergo Sum*, 10 (2), 29–42, 2003.
- [14] O. Giraldo and A. Herrera, “Un modelo asociativo con base tecnológica para la competitividad de pymes: caso floricultor colombiano,” *JISTEM - J. Inf. Syst. Technol. Manag.*, 1(1), 3–27, 2004.
- [15] D. C. Gaviria-Mejía and J. Pérez-Garcés. (2013) Análisis de la cadena de suministro e identificación de puntos críticos del Sector Floricultor Antioqueño. Tesis de pregrado, Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- [16] J. G. Vanegas and J. A. Restrepo, “Factores que afectan el posicionamiento de productos en el exterior: el caso del sector floricultor antioqueño,” *Civilizar. Ciencias Soc. y Humanas*, 16 (30), 145–160, 2016.
- [17] D. Santiago and I. Montoya, “El perfil competitivo local como factor determinante para el desarrollo de la floricultura en Madrid (Cundinamarca),” *Rev.Fac.Cienc.Econ.*, 9(2), 25–43, 2011.
- [18] S. Brailsford, L. Churilov, and B. Dangerfield, *Discrete-Event Simulation and System Dynamics for Management Decision Making*, First Edit. Chichester: Wiley, 2014.
- [19] F. Ceballos, J. Pablo, and B. Villegas, “Simulación discreta aplicada a los modelos de atención en

- salud,” *Investig. e Innovación en Ing.*, 2 (2),10–14, 2014.
- [20] G. Friedemann-Sánchez, *Assembling Flowers and Cultivating Homes: Labor and Gender in Colombia*, First edit. United Kingdom: Rowman & Littlefield Publishing Group, Inc., 2006.
- [21] C. Kieran, E. Mark, T. Jillian, and T. Stanley, *Simulation Modeling with SIMUL8*. 2007.
- [22] C. Valdivieso, R. Valdivieso, and O. Valdivieso, “Determinación del tamaño muestral mediante el uso de árboles de decisión,” *UPB- Investig. Desarro.*, 11 (2000), 148–176, 2011.
- [23] RStudio Team (2016) RStudio: Integrated Development for R [Internet], Disponible desde: <<https://www.rstudio.com/>> [Acceso: 10 de enero 2021].
- [24] F. E. Ritter, M. J. Schoelles, K. S. Quigley, and L. C. Klein, “Determining the number of simulation runs : Treating simulations as theories by not sampling their behavior,” in *Human-in-the-loop simulations*, London: Springer, 2011, pp. 97–116.
- [25] M. S. Martis, “Validation of simulation based models: A theoretical outlook,” *Electron. J. Bus. Res. Methods*, 4, (1), 39–46, 2006.
- [26] C. M. Banks, “Introduction to modeling and simulation,” in *Modeling and Simulation Fundamentals: Theoretical Underpinnings and Practical Domains*, J. A. Sokolowski and C. M. Banks, Eds. Wiley, 2010, p. 456.