

# Análisis del proceso de empaque de banano para el aprovechamiento del recurso hídrico mediante la simulación de eventos discretos

Analysis of the banana packing process for the use of water resources through discrete event simulation

Carlos Orozco-Irola<sup>1</sup>, Félix Badilla-Murillo<sup>2</sup>

---

Orozco-Irola, C; Badilla-Murillo, F. Análisis del proceso de empaque de banano para el aprovechamiento del recurso hídrico mediante la simulación de eventos discretos. *Tecnología en Marcha*. Vol. 35, N° 4. Octubre-Diciembre, 2022. Pág. 175-187.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v35i4.5763>

- 1 Ingeniero en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: carlosorozcoirola@gmail.com  
 <https://orcid.org/0000-0003-0042-1537>
- 2 Ingeniería en Producción Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: fbadilla@itcr.ac.cr  
 <https://orcid.org/0000-0002-7632-594X>

## Palabras clave

Recurso hídrico; aprovechamiento; simulación eventos discretos; consumo; empaque de banano; eficiente; sostenible

## Resumen

El recurso hídrico es un elemento esencial para el proceso de empaque de banano y su disponibilidad en algunos sectores está siendo limitada por el aumento en la demanda, agravándose por consecuencias del cambio climático, de ahí que es fundamental una correcta gestión del recurso para asegurar su cantidad, calidad y continuidad de la industria bananera. En esta investigación se analiza el actual consumo de agua de una planta empacadora de banano ubicada en la zona Atlántica de Costa Rica, para determinar las alternativas de diseño y cambios en procedimientos de trabajo que favorezcan su aprovechamiento eficiente y sostenible. Se efectuó una caracterización del proceso de producción a través de un diagrama SIPOC, lo que permitió identificar nueve subprocesos que están directamente relacionados con el consumo y aprovechamiento del recurso. Utilizando los registros de 49 días de proceso, se crearon dos modelos de simulación de eventos discretos, cuya validación muestra, con un 95% de confianza, que no hay diferencias significativas con respecto a los resultados generados por el modelo y los obtenidos del proceso real. Se obtuvo un consumo actual de 96 litros por caja empacada para los días entre semana y de 177 litros por caja empacada para los sábados. Por tanto, aplicando nuevamente los modelos de simulación con las modificaciones en el diseño y procedimientos de trabajo, se estima una reducción de 19% en el indicador para los días entre semana y un 10% para los sábados, representando un ahorro anual aproximado de 44.777,2 m<sup>3</sup> de agua.

## Keywords

Hydric resource; exploitation; discrete events simulation; consumption; banana packing; efficient; sustainable.

## Abstract

The water resource is an essential element for the banana packing and its availability in some sectors is being limited by the increase in demand, aggravated by the consequences of climate change, so it was correct management of the resource is essential to ensure its quantity, quality and continuity of the banana industry. This research analyzes the current water consumption of a banana packing plant located in the Atlantic zone of Costa Rica, to determine the design alternatives and changes in work procedures the favor its efficient and sustainable use. A characterization of the production process was carried out through a SIPOC diagram, which allowed the identification of nine sub-processes that are directly related to the consumption and use of the resource. Using the 49 days process records, two discrete event simulation models were created, the validation of which shows that, with 95% confidence, that there are no significant differences with respect to the results generated by the model and those obtained from the real process. A current consumption of 96 liters per packed box was obtained for weekdays and 177 liters per packed box for Saturdays. Therefore, applying the simulation models again with the modifications in the design and work procedures, a reduction of 19% in the indicator is estimated for weekdays and 10% for Saturdays, representing an approximate annual saving of 44.777,2 m<sup>3</sup> of water.

## Introducción

Datos del Instituto Meteorológico de Costa Rica muestran que la vertiente Atlántica registra promedios de precipitación de 3300 mm anuales, permitiendo que tenga fuentes importantes para la obtención del recurso hídrico [1].

A pesar de este comportamiento histórico, desde mediados del año 2018, el Instituto Meteorológico Nacional inició los comunicados y alertas sobre la afectación del fenómeno del Niño a partir del mes de diciembre del mismo año [2] [3]. Este fenómeno, oficializado a nivel internacional, ha mostrado un patrón muy seco a nivel nacional, pero con mayor impacto en las zonas Norte y Caribe. Específicamente en las regiones del Caribe se registró un déficit de lluvias de entre 60% y 75% para el mes de enero del 2019, en donde en la ciudad de Limón se reportaron solamente 58 mm de lluvia, convirtiéndose como el segundo enero más seco según registros de esta institución. Paralelamente a lo anterior, en estos mismos periodos, se registraron las temperaturas máximas más altas de lo normal [4]. En ambos casos, tanto el déficit de lluvias como las altas temperaturas son factores que afectan la recarga hídrica en los pozos que son aprovechados por la industria [5] [6] [7].

A pesar de esta posición geográfica privilegiada, es importante que se mantenga una correcta gestión, protección y conservación del recurso, como se ha realizado durante muchos años en las plantas empacadoras de banano [8] [9] [10] [11], además, de una adecuada inversión en infraestructura e innovación, como en el caso de esta investigación, ya que igualmente somos vulnerables permanentemente a amenazas naturales y antrópicas, por lo que se hace necesario garantizar la resiliencia ante estas situaciones y así estar preparados para enfrentar fenómenos como eventuales sequías que podrían causar una disminución del caudal en las aguas subterráneas [5] [12] [9].

Actualmente, el recurso hídrico utilizado para el proceso de empaque de banano es tomado de pozos concesionados [13], suministrando el agua suficiente para satisfacer los nueve subprocesos que fueron identificados y analizados en la investigación, por lo que la simulación de eventos discretos permite determinar los que representan un mayor consumo del recurso hídrico. La metodología utilizada permitió identificar variaciones semanales en el consumo del agua y a su vez proponer modelos diferentes según esas variaciones.

Adicionalmente, esta imitación y cálculo del consumo hídrico por cada uno de los subprocesos que se logra a través de la simulación de eventos discretos [14] [15], permite la generación de conclusiones directamente relacionadas con las características del sistema real, así mismo, se encuentra la posibilidad de realizar las respectivas modificaciones en las variables evaluadas y estimar los nuevos indicadores de desempeño para compararlas con respecto a los datos obtenidos originalmente.

Esta metodología incluyó un análisis de distribución, lo que permitió el diseño y la construcción de los modelos de simulación que representaran una abstracción del sistema real, utilizando variables relacionadas con el consumo de agua, tiempos de procesos y volúmenes de producción [16] [17] [18] [19].

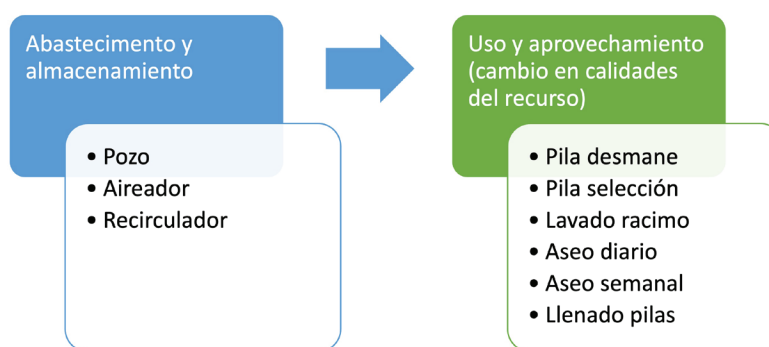
Estos modelos propuestos consideran las condiciones normales de operación del proceso de empaque de banano, entre ellas disponibilidad de agua en las pilas y racimos colgando en el patio de fruta, evitando atrasos o demoras que generen un aumento en la cantidad de horas requeridas para finalizar el proceso [20]. La investigación solamente considera los subprocesos que son abastecidos con agua a través del sistema de recirculación, principalmente por la ubicación de los hidrómetros.

Las técnicas no estandarizadas en las labores de aseo, así como la subutilización del sistema de recirculación, representan los procesos que implican un mayor consumo del recurso hídrico, por lo que la simulación de estos procesos se considera como la opción para el análisis de propuestas que permitan una reducción del consumo.

El objetivo de esta investigación consistió en el análisis para la verificación y validación de los modelos realizados, así como en la ejecución de los mismos modelos con la inclusión de las mejoras en la recirculación del agua de por lo menos en 3 días y en la correcta implementación de los procedimientos operativos de aseo. El uso eficiente y sostenible del recurso hídrico es fundamental para una gestión adecuada de los recursos naturales en la industria bananera.

## Materiales y métodos

Para el desarrollo de esta investigación, se confeccionaron dos modelos de simulación de eventos discretos para una planta empacadora de banano ubicada en la zona Atlántica de Costa Rica, lo anterior utilizando los datos de variables históricas de 49 días de proceso entre junio y octubre del año 2020. Inicialmente fue necesario seleccionar la planta empacadora a través de un muestro no probabilístico [17], principalmente porque fue la que contaba con la información más confiable y con la mejor ubicación de los hidrómetros que permitían contabilizar el consumo de agua de manera eficaz. Para la caracterización del proceso de producción se utilizó el diagrama SIPOC [21] [22], identificando los siguientes nueve subprocesos que requerían ser analizados y utilizados en el diseño del simulador.



**Figura 1.** Fases relacionadas con el recurso hídrico.

Para la etapa de recolección de datos, inicialmente se observaron los procesos y se validaron las fuentes de información en la planta empacadora, esto revisando el detalle de los registros de consumos de agua y volúmenes de producción, así como entrevista al personal a cargo del registro de la información y bajo procesos normales de empaque de banano [20].

Este análisis fue complementado con los tiempos requeridos para las jornadas laborales, conocido como tiempo de proceso, así como los periodos en los cuales se realiza las labores de aseo y llenado de pilas, conocidos como tiempo de no proceso, además, se contemplaron los registros de las cajas empacadas según el día de proceso.

Esta metodología permitió identificar las variables que requieren ser modificadas en el proceso de empaque de banano para mejorar el aprovechamiento del recurso hídrico, esto a través de la simulación de eventos discretos y la comparación del consumo actual de litros de agua por caja empacada con respecto al consumo que se tendría al realizar modificaciones de diseño y procedimientos sobre las variables analizadas. En el cuadro 1 se muestran las variables consideradas en el estudio.

**Cuadro 1.** Datos recopilados para la investigación.

Variable	Descripción	Tipo de variable	Fuente
Recirculador	Cantidad de agua almacenada en el recirculador.	Cuantitativa, continua	Cálculo del volumen del sistema
Pila desmane	Cantidad de agua almacenada en la pila para desleche de las “manos” de banano	Cuantitativa, continua	Cálculo del volumen para la pila de desmane.
Pila selección	Cantidad de agua almacenada en la pila de lavado de “gajos” y “dedos” de banano	Cuantitativa, continua	Cálculo del volumen para la pila de selección.
Lavado racimo	Cantidad de agua requerida para el lavado de racimos en el patio de fruta.	Cuantitativa, discreta	Caudal de manguera y cantidad de racimos.
Aseo diario	Cantidad de agua requerida para las labores de aseo ligero realizado diariamente	Cuantitativa, discreta.	Registro de hidrómetros
Aseo semanal	Cantidad de agua necesaria para labores de aseo profundo realizado una vez por semana	Cuantitativa, discreta.	Registro de hidrómetros
Tiempos de procesos	Horarios de las jornadas laborales para completar el proceso de empaque de banano por día, así como el tiempo requerido para labores de aseo y llenado de pilas.	Cuantitativa, continuo	Registro de lecturas al
Cajas producidas	Volúmenes de cajas que deben ser empacadas por día y determinadas por el Depto. de Producción.	Cuantitativa, discreta.	Registros del Depto. de Producción.

Después de coleccionar los datos, se realizó el análisis de varianzas de un solo factor y utilizando las comparaciones de las parejas de la prueba de Tukey [23] [24] [25], se obtuvieron p-valores menores a 0.05 para la cantidad de agua en el lavado de racimos, tiempos de procesos y cajas empacadas, por lo que se determinó, con un 95% de confianza, que existen diferencias significativas en los promedios de estas variables, específicamente el sábado en comparación con los demás días de la semana. Debido a estos resultados, se confeccionaron dos modelos de simulación, el primero de ellos contempla los datos registrados para los martes, miércoles, jueves y viernes (días entre semana) y posteriormente un segundo modelo que incluye solamente los datos para los sábados [26].

Para los datos relacionados con horarios de proceso y no proceso, cantidad de agua requerida para el lavado de racimos en el patio de fruta, cantidad de cajas empacadas y cantidad de agua para los aseos, fue necesario determinar el tipo de distribución de probabilidad. Para esto, se aplicó una prueba de bondad de ajuste a los datos recopilados a través de la siguiente ecuación (1) [27] [28].

$$x^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - e_i)^2}{e_i} \quad (1)$$

Donde  $x^2$  es un valor de una variable aleatoria cuya distribución muestral se aproxima a la distribución chi-cuadrado con  $v = k - 1$  grado de libertad, además, donde  $k$  es el total de datos que componen la muestra. Las variables  $O_i$  y  $e_i$  representan las frecuencias observadas y esperadas respectivamente, para la  $i$ -ésima celda [28].

Para este análisis se utilizó el software Input Analyzer versión 16.00.00002 del año 2019 (Rockwell Automation Technologies, Inc.) [28] [29]. De igual manera, este software fue requerido para el diseño y construcciones de los modelos de simulación. Los eventos discretos analizados en este modelo corresponden a la cantidad de agua consumida por cada una de las fases y los

volúmenes de cajas empacadas por día [28] [30] [31]. La entidad que ejecuta el proceso es la cantidad de agua que ingresa a cada proceso, las diferentes fases atienden la entidad que toman, utilizan y liberan posteriormente [28].

Los modelos de simulación inician con el llenado con agua en las pilas de selección y desmane, así como el sistema de recirculación durante la madrugada, posteriormente, a las 6:30 am inicia el proceso de empaque de cajas de banano, donde empieza la recirculación del agua que fue suministrada a los sistemas previamente y continua de esta manera hasta que finalice la jornada de trabajo, por lo que no existe descarga de aguas residuales a excepción del agua utilizada para el lavado de racimos en el patio de frutas, debido a que esta agua no puede ser retornada al recirculador. Una vez finalizado el proceso de empaque, se inicia con el proceso de aseo, primeramente, aprovechando el agua remanente del recirculador y seguidamente se complementa con agua que ingresa nuevamente al recirculador para finalizar estas labores y así el sistema pueda estar disponible para el llenado de pilas e inicio del proceso del día siguiente.

Finalmente, los modelos de simulación fueron validados estadísticamente en comparación con los datos obtenidos del proceso actual a través de intervalos de confianza, comparando los datos reales ( $x$ ) con los datos obtenidos en las simulaciones ( $y$ ) para la misma cantidad de replicas. Si el intervalo creado a partir de este conjunto de datos contiene el cero, se determina que existe suficiente evidencia para no rechazar la hipótesis nula de que no hay diferencias, de lo contrario si las hay [28] [32] [33].

$$H_0: X = Y \quad (2)$$

$$H_a: X \neq Y \quad (3)$$

$$(\bar{X} - \bar{Y}) \pm t_{(v-1, 1-\alpha)} * \sqrt{\alpha^2_{x-y}} \quad (4)$$

Donde  $H_0$  es la hipótesis nula.  $H_a$  es la hipótesis alternativa. La variable  $X$  representa los datos obtenidos del sistema actual,  $\bar{X}$  corresponde al promedio de los datos obtenidos con el sistema actual.  $\bar{Y}$  es el promedio de los datos obtenidos por el modelo de simulación.  $t$  es el estadístico de una distribución de probabilidad,  $v-1$  grados de libertad y un grado de confianza  $1-\alpha$ .  $\alpha^2_{x-y}$  es la varianza de la diferencia de los datos del sistema actual en comparación con los datos del modelo de simulación [28] [32].

Finalmente, se realiza la propuesta de realizar cambios en los subprocesos que generan un mayor consumo del recurso hídrico, desarrollando un indicador de desempeño (litros por caja empacada) para determinar si se ha cumplido con el objetivo del estudio.

## Resultados y discusión

En el siguiente cuadro, se muestran los datos obtenidos de los registros de la planta empacadora entre junio y octubre del 2020, lo que representa un consumo promedio de 385.89 m<sup>3</sup> para los días entre semana y un promedio de 466.86 m<sup>3</sup> para los sábados.

**Cuadro 2.** Detalle de los consumos de agua por proceso, horas y cajas empacadas.

Modelo de simulación	Consumo aseo (m <sup>3</sup> )	Consumo llenado pila desmane (m <sup>3</sup> )	Consumo llenado pila selección (m <sup>3</sup> )	Consumo llenado recirculador (m <sup>3</sup> )	Total (m <sup>3</sup> )
Entre semana	189.66	106.8	45.1	44.1	385.66
Sábado	270.86	106.8	45.1	44.1	466.86

Fuente: Registros de la planta empacadora entre junio y octubre del año 2020.

Para el caso del consumo del llenado de las pilas de desmane y selección, así como del recirculador, se registra el mismo valor para ambos modelos de simulación, esto debido a que antes de iniciar cada proceso se requiere llenar estos sistemas hasta su capacidad máxima para un correcto funcionamiento de la planta empacadora, por lo que, sin importar el volumen de cajas asignadas por el Depto. de Producción, así como del día de proceso, estos sistemas necesitan diariamente la misma cantidad de agua, específicamente 196 m<sup>3</sup>, principalmente por sus dimensiones, siendo las demás variables las que representan la variabilidad en los consumos obtenidos.

Adicionalmente, para el lavado de racimos en el patio de fruta, se toma agua del sistema de recirculación durante el proceso de empaque, con un consumo promedio de 25.97 m<sup>3</sup> entre semana y de 18.86 m<sup>3</sup> para los sábados, quedando un remanente en el recirculador de 18.49 m<sup>3</sup> y 27.31 m<sup>3</sup> respectivamente. Se obtuvo un promedio de 9.71 horas de proceso entre semana para 4151 cajas empacas y para los sábados un promedio de 8.56 horas para 3014 cajas producidas.

Finalmente, en el siguiente cuadro se muestra la dispersión importante de datos en el consumo de agua para aseo en los diferentes días de proceso, generado principalmente por un uso irracional del recurso y una desviación a los criterios operacionales de los procedimientos establecidos.

**Cuadro 3.** Intervalo de la media de la muestra para el consumo de los aseos por día.

Día	N	Media (m <sup>3</sup> )	Desv. Est.	Mínimo (m <sup>3</sup> )	Q1 (m <sup>3</sup> )	Mediana (m <sup>3</sup> )	Q3 (m <sup>3</sup> )	Máximo (m <sup>3</sup> )	Error estándar	Intervalo de la media de la muestra (m <sup>3</sup> )
Martes	12	148.4	78.2	32	104	137	308	308	49.7	98.7 - 198.1
Miércoles	7	178.4	119.2	36	97	149	411	411	110.2	68.2 - 288.6
Jueves	10	238.7	91.3	97	174.3	233.5	365	365	65.3	173.4 - 304
Viernes	6	203.5	143.2	27	82.5	191.5	353	359	150.3	53.2 - 353.8
Sábado	14	270.9	150.3	61	154.5	214.5	514	514	86.8	184.1 - 357.7

### Distribuciones de probabilidad calculadas para los modelos de simulación

Para las variables utilizadas en los modelos de simulación, se utilizó el software Analyzer de ARENA para determinar las siguientes distribuciones no paramétricas y paramétricas, así como las respectivas ecuaciones según el menor error cuadrado obtenido.



**Cuadro 4.** Distribuciones y ecuaciones determinadas para las variables de los modelos de simulación.

Variable	Modelo	Distribución de probabilidad	Ecuación	Error cuadrado más pequeño
Agua lavado racimo en el patio	Entre semana	Beta	$18 + 17 * \text{BETA}(0.832, 0.942)$	0.0293
Agua lavado racimo en el patio	Sábado	Weibull	$9 + \text{WEIB}(11, 1.78)$	0.0261
Agua para aseos	Entre semana	Beta	$27 + 384 * \text{BETA}(0.953, 1.3)$	0.00544
Agua para aseos	Sábado	Uniform	Unif (61, 514)	0.0755
Horario de proceso	Entre semana	Triangular	TRIA (7.05, 10.1, 12)	0.00148
Horario de proceso	Sábado	Weibull	$7 + \text{WEIB}(1.74, 1.62)$	0.0071
Horario no proceso	Entre semana	Weibull	$5.05 + \text{WEIB}(3.07, 2.91)$	0.00138
Horario no proceso	Sábado	Normal	NORM (8.94, 0.968)	0.0254
Cajas empacadas	Entre semana	Unif	UNIF (3e+003, 5.55e+003)	0.05877
Cajas empacadas	Sábado	Normal	NORM (3.01e+003, 881)	0.0313

### Modelo de simulación

Al ejecutar las 35 réplicas para el modelo de simulación del proceso de empaque de banano para los días entre semana, se obtiene que el consumo promedio de agua es de 393.11 m<sup>3</sup>, además, para esta cantidad de muestras, con un 95% de nivel de confianza se obtuvo un error estándar de 43.5 m<sup>3</sup>, de esta manera el intervalo de la media de la muestra de consumo se encuentra entre 370.8 m<sup>3</sup> y 538 m<sup>3</sup>, con un promedio de 9.5 horas de proceso.

En el apéndice 1, se muestra la imagen de la lógica del modelo de simulación [34] elaborado con el Software Arena, iniciando con el llenado de pilas y del recirculador antes de las 6:30 am, continuando con el proceso de empaque y finalizando con las labores de aseo.

En el siguiente cuadro, se observa el consumo promedio de agua para los días indicados anteriormente, siendo la cantidad de agua para aseo el que representa el mayor consumo, sin embargo, es importante indicar que para dicho subproceso, a pesar de no existir diferencias significativas entre el consumo promedio para estos días, se observa una variación importante en los datos, como se puede observar en la figura 16, lo que permite proponer acciones para la verificación del consumo de estos procesos a fin de que se realicen de manera estandarizada y con menor variación.

**Cuadro 5:** Resultados de la simulación del proceso de empaque entre semana.

Sub-proceso	Aseo	Llenado pila desmane	Llenado pila selección	Llenado recirculador	Lavado racimos patio	Remanente recirculador
Consumo de agua (m <sup>3</sup> )	197.1	106.8	45.1	44.1	25.5	20.4

Para el caso de la simulación realizada para el sábado, se obtiene que el consumo promedio de agua obtenido en las 14 réplicas es de 454.93 m<sup>3</sup> con intervalo de confianza de 370.8 m<sup>3</sup> y 538.9 m<sup>3</sup> en 8.6 horas de proceso, es decir, 73.79 m<sup>3</sup> más en comparación con el promedio obtenido para los días entre semana, además, para esta cantidad de muestras, con un 95% de nivel de confianza se obtuvo un error estándar de 84.05 m<sup>3</sup>.

Para este caso, de igual manera existe una variación importante en los consumos para el aseo, en donde la diferencia entre el tercer y primer cuartil es de 257.5 m<sup>3</sup>, principalmente por el uso irracional del recurso durante los procesos de aseo, siendo necesario realizarlos de la misma manera y generar un consumo menor variación.



**Cuadro 6.** Resultados de la simulación del proceso de empaque para los sábados.

Sub-proceso	Aseo	Llenado pila desmane	Llenado pila selección	Llenado recirculador	Lavado racimos patio	Remanente recirculador
Consumo de agua (m <sup>3</sup> )	258.9	106.8	45.1	44.1	25.7	18.3

Utilizando los resultados del consumo total de agua para cada simulación, así como la cantidad de cajas empacadas, se obtiene un rendimiento de 177 litros por caja empacada para los sábados y de 96 litros por caja para los días entre semana, lo anterior principalmente por el aumento en consumo generado por las labores de aseo durante el último día de la semana.

### Validación de los modelos de simulación

Con el propósito de validar los resultados obtenidos en las simulaciones indicadas anteriormente, se evalúa la exactitud en que dichos resultados emulan los valores reales del proceso de empaque de banano, lo anterior utilizando el análisis de intervalos de confianza basados en datos independientes, a través de la fórmula (4).

Como se puede observar en el siguiente cuadro, los resultados de todas las réplicas de los modelos de simulación se compararon con los datos recolectados para el proceso de empaque actual, obteniéndose que, en la diferencia entre ellos, con un 95% de confianza, contempla intervalos que contiene el cero, concluyéndose que no existen diferencia significativa entre los resultados presentados por los modelos de simulación y el proceso actual de empaque en el que se basó el diseño.

**Cuadro 7.** Intervalos de confianza para las simulaciones.

Variable	Simulación entre semana (35 réplicas)	Simulación del sábado (14 réplicas)
Cajas procesadas	(-2107.9, 2186.1)	(-1460.7, 2350.7)
Consumo de agua para aseo	(-273.8, 258.9)	(-448.9, 472.8)
Consumo de agua para lavado de racimos	(-10.3, 11.2)	(-11.1, 12.2)
Consumo total de agua (proceso y no proceso)	(-273.9, 259.5)	(-448.9, 472.8)
Agua remanente el recirculador	(-15.5, 11.8)	(-13.8, 17)
Horas de proceso	(-2.3, 2.8)	(-2.5, 2.4)

Fuente: Análisis realizado con el modelo de simulación de ARENA.

### Mejoras: Uso racional del recurso hídrico en las labores de aseo y reutilización del agua del recirculador

El consumo actual del proceso es de 2027.4 m<sup>3</sup> de agua por semana, sin embargo, manteniendo las mismas condiciones de los modelos de simulación y considerando un consumo promedio diario de 136.3 m<sup>3</sup> para los aseos entre semana con una desviación estándar de 31.24, además, para el sábado un consumo promedio en este mismo subproceso de 253.4 m<sup>3</sup> con una desviación estándar de 74.47, así mismo, en ambos casos, con una reutilización del agua de por lo menos 3 días, el consumo promedio registrado en las respuestas de las simulaciones, utilizando la misma cantidad de replicas, es de 316.8 m<sup>3</sup> para los días entre semana y de 410.6 m<sup>3</sup> para los sábados, generando un consumo semanal de 1166.3 m<sup>3</sup>. Finalmente, al

implementar estas mejoras, se determina una reducción de un 19.42% en la cantidad de litros de agua requeridos para el empaque de una caja de banano para los días entre semana y de un 9.74% para los sábados.

La implementación de ambas mejoras puede ser realizadas a corto plazo y casi de manera inmediata, logrando operar la planta empacadora de banano con un mejor aprovechamiento del recurso hídrico y sin interferir en el proceso normal de producción. Actualmente se cuenta con procedimientos de aseo, sin embargo, se hará necesario el reentrenamiento al personal encargado de dichas labores, así como la verificación del cumplimiento de las medidas de control y el monitoreo diario de los consumos. Adicionalmente, según estimaciones del Laboratorio de Aguas, para la reutilización del agua de proceso de empaque en por lo menos 3 días, se estaría implementando un sistema de precipitación por oxidación con hipoclorito de sodio para una reducción del 98% en la concentración del hierro disuelto en la entrada de la pila.

Es importante considerar que los resultados de los modelos propuestos indican consumos de agua, tiempos de procesos y volúmenes de producción establecidos bajo condiciones normales de operación, con la disponibilidad de todas las materias primas y de insumos requeridos para proceso de empaque de banano. En caso de presentarse atrasos en labores de cosecha, interrupción de fluido eléctrico o fallas imprevistas en alguno de los subprocesos, se podría presentar variaciones en los consumos establecidos.

Los modelos de eventos discretos se diseñan con diferentes supuestos según las necesidades u objetivos planteados, en el caso específico de esta investigación, se planteó la necesidad de analizar la cantidad de recurso hídrico necesario para el proceso de empaque de banano en una planta empacadora ubicada en la zona Atlántica, por tal motivo en este documento se explica los consumos por cada subproceso, los tiempos requeridos para los procesos y los volúmenes de producción. Esta variabilidad real de los datos de consumo, tiempo de procesos y volúmenes de producción, están representadas en los modelos de simulación por las distribuciones de probabilidad utilizadas y que posteriormente fueron validadas estadísticamente.

Esta investigación muestra que técnicamente es viable una reducción significativa en el consumo hídrico del proceso de empaque de banano, propiciando un aprovechamiento eficiente y sostenible del recurso. Las investigaciones futuras deben analizar la aplicación de esta metodología considerando los subprocesos que no fueron incluidos dentro de estos modelos de simulación debido a la ubicación de los hidrómetros.

## Conclusiones

Se utilizaron dos modelos de simulación de eventos discretos, inicialmente para determinar los consumos actuales de agua para cada uno de los subprocesos de una planta empacadora de banano y posteriormente obtener los consumos considerando las mejoras en el sistema de recirculación y procedimientos operativos de aseo. Por tanto, la implementación de ambas mejoras reduciría la cantidad de agua requerida para el empaque de las cajas de banano, dando como resultado una disminución semanal de 861.1 m<sup>3</sup>, lo que representa un 42%, además, para los días entre semana se disminuye de 95.6 litros por caja a 77 litros por caja y para los sábados se reduce de 177 litros por caja a 159.7 litros por caja. La diferencia entre los resultados obtenidos en las simulaciones se debe principalmente al tipo de aseo realizado los sábados, el cual considera un mayor enjuague y lavado de las infraestructuras con más detalle, en comparación con el aseo realizado entre semana que se realiza de manera general y no es necesario el mismo nivel de detalle, esto según los procedimientos internos y análisis de riesgos de inocuidad establecidos por la empresa.

Se considera que técnicamente esta metodología puede ser implementada en las demás plantas empacadoras de banano siempre que se cuente con la ubicación correcta de los hidrómetros, así como de registros confiables que consoliden la información requerida para los análisis estadísticos y posteriormente simulación de los procesos.

Para esta investigación, se demostró que la simulación de eventos discretos permite una disminución del uso del recurso hídrico sin afectar el proceso de empaque de banano, siendo una herramienta adecuada para una gestión integral de los recursos.

## Referencias

- [1] IMN, «CLIMATE OF COSTA RICA AND CLIMATIC VARIABILITY,» Instituto Meteorológico Nacional, 2008. [En línea]. Available: <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/CambioClimatico/climaVariabilidadCambioClimaticoCR.pdf>. [Último acceso: 16 4 2019].
- [2] IMN, «Información climática Enero 2021,» *Meteorológico mensual*, n° 1654-0465, pp. 13-19, 2021.
- [3] L. Alvarado, «Perspectiva climática y adaptación para sectores productivos,» de *Foro Regional Gobernanza del Agua*, San José, 2020.
- [4] IMN, «Información climática Enero 2019,» *Meteorológico mensual*, n° 1654-0465, pp. 14-23, 2019.
- [5] AyA, «Política Nacional de Agua Potable de Costa Rica, 2017-2030,» Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2016. [En línea]. Available: <https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/AyA%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de%20Agua%20Potable%20de%20Costa%20Rica%202017-2030.pdf>. [Último acceso: 17 5 2019].
- [6] MINAE, «Tercera comunicación nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático,» MINAE, IMN, GEF, PNUD, San José, Costa Rica, 2014.
- [7] E. Vargas-Barantes y A. Marin-Alfaro, «COSTA RICA DEMANDS AN INTEGRAL MANAGEMENT OF THE WATER RESOURCE: LATIN-AMERICAN SCENE AND THE REALITY COUNTRY,» *Intersedes*, vol. 17, n° 35, 2016.
- [8] D. Bebbber, «Climate Challenge and its impact on banana production,» de *Conferencia Corbana 04 2021*, Costa Rica, 2021.
- [9] DCC, «Dirección de Aguas,» 2018. [En línea]. Available: [http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2018/05/Politica-Adaptacion-Cambio-Clim%C3%A1tico\\_2018.pdf](http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2018/05/Politica-Adaptacion-Cambio-Clim%C3%A1tico_2018.pdf). [Último acceso: 1 8 2019].
- [10] L. Roibás, A. Elbehri y A. Hospido, «Evaluating the sustainability of Ecuadorian bananas: Carbon footprint, water usage and wealth distribution along the supply chain,» *ScienceDirect*, vol. 2, pp. 3-16, 2015.
- [11] M. Vallejos-Solis, «LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE PRODUCCIÓN DE MUSÁCEAS BAJAS EN CARBONO, RESILIENTES Y ADAPTADAS AL CAMBIO CLIMATICO PARA COSTA RICA -EPMBC-,» Abril 2018. [En línea]. Available: <http://www.mag.go.cr/asuntos-internacionales/Lineamientos-para-Estrategia-Musaceas.pdf>. [Último acceso: 1 3 2020].
- [12] MINAE, «Dirección de Aguas,» 2008. [En línea]. Available: [http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2018/05/Plan\\_Nacional\\_Gestion\\_Integrada\\_Recursos\\_Hidrico.pdf](http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2018/05/Plan_Nacional_Gestion_Integrada_Recursos_Hidrico.pdf). [Último acceso: 1 8 2019].
- [13] GeoCostaRica, «Concesión de Aguas,» GeoCostaRica Consultores Ambientales, 2018. [En línea]. Available: <https://geocostarica.com/es/servicios/concesion-de-agua#:~:text=El%20recurso%20h%C3%ADrico%20es%20un,de%20una%20Concesi%C3%B3n%20de%20Agua..> [Último acceso: 1 3 2020].
- [14] A. Sarmiento-Vásquez y E. López-Sandova, «Una comparación cualitativa de la dinámica de sistemas, la simulación de eventos discretos y la simulación basada en agentes,» *Ingeniería Industrial*, n° 35, pp. 27-52, 2017.
- [15] F. Hillier y G. Lieberman, «Simulación,» de *Introducción a la investigación de operaciones*, México, Mc Graw Hill/Interamericana Editores, S.A., 2010, pp. 871-924.
- [16] D. Lind, D. Marchal y S. Wathem, «Distribuciones de probabilidad discreta,» de *Estadística aplicada a los negocios y la economía*, México, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A., 2012, pp. 187-221.
- [17] R. Hernández-Sampiere, C. Fernández-Collado y P. Baptista-Lucio, «Selección de muestra,» de *Metodología de la Investigación*, México, McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014, pp. 172-190.
- [18] J. Acuña, «Bondad de ajuste,» de *Control de calidad. Un enfoque integral y estadístico*, Cartago, Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2012, pp. 117-118.

- [19] M. Romero Saldaña, «Pruebas de bondad de ajuste de una distribución normal,» *Enfermería de Trabajo*, vol. 6, pp. 105-114, 2016.
- [20] M. Soto-Ballesteros, *Bananas III: poscosecha y comercialización*, Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2017.
- [21] C. Cañedo-Iglesias, M. Curbero-Hernandez, K. Núñez-Chaviano y R. Zamora-Fonseca, «Los procedimientos de un sistema de gestión de información: Un estudio de caso de la Universidad de Cienfuegos,» *Biblios*, nº 46, pp. 40-50, 2012.
- [22] F. Vargas y J. Loayza, *Plan de mejora en el proceso de preparación de conservas en una industria alimenticia aplicand la metodología de seis sigma*, Ecuador: Facultad de Ingeniería y ciencias agropecuarias, 2009.
- [23] J. García-Villalpando, A. Castillo-Morales, M. Ramírez-Guzman, G. Rendón-Sanchez y M. Larqué-Saavedra, «COMPARACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE TUKEY, DUNCAN, DUNNETT, HSU Y BECHHOFFER PARA SELECCIÓN DE MEDIAS,» *Agrociencia*, vol. 35, pp. 79-86, 2001.
- [24] E. Wong-Gonzalez, «¿DESPUÉS DE UN ANÁLISIS DE VARIANCIA...QUÉ? EJEMPLOS EN CIENCIA DE ALIMENTOS,» *Agronomía Mesoamericana*, vol. 21, pp. 349-356, 2010.
- [25] Minitab, «¿Qué es el método de Tukey para comparaciones múltiples?,» Minitab, LLC, 2019. [En línea]. Available: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/what-is-tukey-s-method/>. [Último acceso: 1 8 2020].
- [26] Minitab, «Uso de comparaciones múltiples para evaluar las diferencias en las medias de grupo,» Minitab, LLC, 2019. [En línea]. Available: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/using-multiple-comparisons-to-assess-differences-in-means/>. [Último acceso: 1 8 2020].
- [27] G. Guerra, A. Tortosa, F. Soto y R. Marin, «Determination of constructive operation performances fitted to probability distributions by manual simulation means,» *Revista Ingeniería UC*, vol. 24, pp. 372-382, 2017.
- [28] F. Badilla-Murillo, V.-V. Bernal y O. Viquez-Acuña, «Analysis of the Installed Productive Capacity in a Medical Angiography Room through Discrete Event Simulation,» *Processes*, vol. 8, nº 660, 2020.
- [29] E. Carbajal López, «MEJORA DE LA OPERACIÓN DE ESTIBA Y DESESTIBA EN AERONAVES COMERCIALES DE UNA EMPRESA QUE BRINDA SERVICIOS AEROPORTUARIOS,» 5 2014. [En línea]. Available: [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5408/CAM\\_CINTHIA\\_MEJORA\\_ESTIBA\\_DESESTIBA\\_AERONAVES\\_COMERCIALES\\_EMPRESA\\_SERVICIOS\\_AEROPUERTARIOS.pdf?sequence=1](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5408/CAM_CINTHIA_MEJORA_ESTIBA_DESESTIBA_AERONAVES_COMERCIALES_EMPRESA_SERVICIOS_AEROPUERTARIOS.pdf?sequence=1). [Último acceso: 28 2 2020].
- [30] D. Kelton, R. Sadow y D. Sturrock, «Modelos continuos y discretos/continuos combinados,» de *Simulación con Software Arena*, México, McGraw-Hill/Interamericana Editores S.A., 2008, pp. 465-501.
- [31] J. Acuña, «Simulación con Arena,» de *Simulación de procesos*, Cartago, Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2015, pp. 373-462.
- [32] J. Acuña, «Conceptos básicos de verificación y validación de modelos,» de *Simulación de procesos*, Cartago, Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2015, pp. 615-631.
- [33] J. Banks, «Introduction to simulation,» *2000 Winter Simulation Conference Proceedings (Cat. No.00CH37165)*, vol. 1, pp. 9-16, 2000.
- [34] J. Acuña, «Lógica del Modelo,» de *Simulación de procesos*, Cartago, Editorial Tecnológica de Costa Rica, 2015, p. 171.
- [35] F. Sisak, «Simultaion modeling. Input data collection and analysis,» *ResearchGate*, pp. 21-23, 2005.
- [36] A. Sarmiento-Vásquez y E. López-Sandova, «Una comparación cualitativa de la dinámica de sistemas, la simulación de eventos discretos y la simulación basada en agentes,» *Ingeniería Industrial*, nº 35, pp. 27-52, 2017.
- [37] V. Babashov, I. Aivas, M. Begen, J. Cao, G. Rodrigues, D. Dsouza, M. Lock y G. Zaric, «Reducing Patient Waiting Times for Radiation Therapy and Improving the Treatment Planning Process: a Discrete-event Simulation Model (Radiation Treatment Planning),» *Clinical Oncology*, vol. 29, pp. 385-391, 2017.

## Apéndice

Apéndice 1. Imagen de la lógica del proceso de empaque elaborador con el Software Arena

