

Multicriteria model for the selection and design of the drying process for cocoa beans

Veintimilla-Alarcón Karen, Ing¹, Vera-Aguirre Josselin, Ing¹, Pérez-Siguenza Cinthia, Ph.D.¹

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador
kveintim@espol.edu.ec, jivera@espol.edu.ec, ccperez@espol.edu.ec

Abstract— This study presents a proposal of a multicriteria model to select and design the drying process of a cocoa semi-finished products export plant in Ecuador, focusing on productivity and environment. The criteria considered for the selection of the best alternative are: organoleptic quality of cocoa, capacity for expansion, availability, efficiency and safety at work. Among the expected advantages are the decrease in lead times and the decrease in the drying process time of the cocoa beans.

The proposed process consists on the implementation of a cocoa bean dryer with solar panels. We present the basic design of the system and then it is validated through simulation.

Keywords: *Multicriteria Model, Simulation, VSM, Cocoa, Bottleneck*

Digital Object Identifier (DOI): http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.403 ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390
--

Modelo Multicriterio para la Selección y Diseño de un Sistema de Secado de Cacao en Grano

Veintimilla-Alarcón Karen, Ing¹, Vera-Aguirre Josselin, Ing¹, Pérez-Siguenza Cinthia, Ph.D.¹

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Campus Gustavo Galindo Km. 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador

kveintim@espol.edu.ec, jivera@espol.edu.ec, ccperez@espol.edu.ec

Resumen- En este estudio se presenta una propuesta de un modelo multicriterio para seleccionar y diseñar el proceso de secado de una planta exportadora de semielaborados de cacao en Ecuador, donde los enfoques están en las áreas de productividad y medio ambiente. Los criterios considerados para la selección de la mejor alternativa son: calidad organoléptica del cacao, capacidad de expansión, disponibilidad, eficiencia y seguridad en el trabajo. Entre las ventajas esperadas se tiene la disminución de los tiempos de espera y la disminución del tiempo de proceso de secado del cacao en grano.

El proceso propuesto consiste en la implementación de un secador de granos de cacao con paneles solares, para esto se describirá el desarrollo del sistema, y luego se validará la propuesta. La validación se la realizará con una simulación del método actual de la empresa y el método propuesto, para luego comparar ambos sistemas.

Palabras Claves: Modelo Multicriterio, Simulación, VSM, Cacao, Cuello de Botella.

Abstract- This study presents a proposal of a multicriteria model to select and design the drying process of a cocoa semi-finished products export plant in Ecuador, focusing on productivity and environment. The criteria considered for the selection of the best alternative are: organoleptic quality of cocoa, capacity for expansion, availability, efficiency and safety at work. Among the expected advantages are the decrease in lead times and the decrease in the drying process time of the cocoa beans.

The proposed process consists on the implementation of a cocoa bean dryer with solar panels. We present the basic design of the system and then it is validated through simulation.

Keywords: Multicriteria Model, Simulation, VSM, Cocoa, Bottleneck.

I. INTRODUCCIÓN

El cacao es uno de los principales productos de exportación ecuatoriana. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), el sector cacaotero contribuye con el 5% de la población económicamente activa nacional (PEA) y el 15% de la PEA rural, siendo esta una base fundamental para la economía familiar ecuatoriana [1].

Ecuador se encuentra entre los 10 principales exportadores de cacao en grano a nivel mundial, donde su producción anual alcanza las 185 mil toneladas métricas [2]. Por sus condiciones geográficas y su riqueza en recursos biológicos, es el productor por excelencia de Cacao fino y de aroma (63% de la producción mundial), cuyo sabor ha sido reconocido durante siglos en el mercado internacional. Es importante notar que el chocolate fino se distingue por su

pureza, específicamente, el sabor y fragancia, lo que hace necesario contar con procesos que cuiden la calidad del cacao en todas sus etapas [3]. Al pasar el cacao en grano a un proceso productivo donde se separan las fases sólidas y líquidas se obtienen los semielaborados de cacao que son: Licor, manteca, torta, polvo y nibs. Estos productos son exportados ya que hiciste gran demanda a nivel mundial.

Ecuador es el tercer exportador de semielaborados de cacao de Latinoamérica; teniendo una participación de 12% en américa latina y 1% a nivel mundial, como se muestra en la Fig. 1.

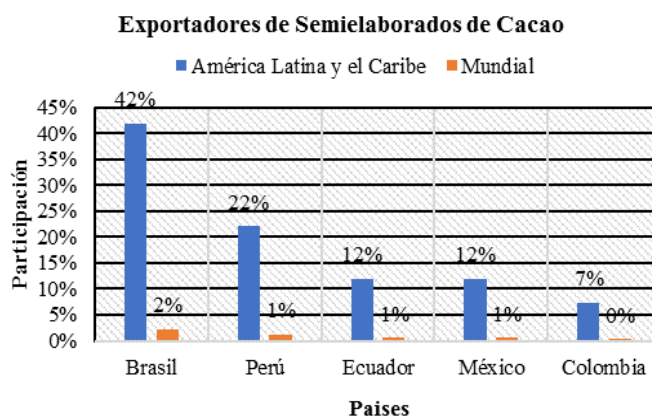


Fig. 1 Participación en el mercado de los principales exportadores de cacao en Latinoamérica.

Fuente: Análisis Estadístico Pro – Ecuador

Para ofrecer un producto de calidad es de vital importancia enfocarse en el método de secado del cacao, ya que este definirá muchas características de calidad. La mayoría de las empresas en Ecuador exportadoras de cacao en grano y de semielaborados usan tendales para el proceso de secado, donde el cacao es colocado en terrenos encementados expuestos al aire libre para que a través de la luz solar alcance la humedad ideal, este proceso no garantiza un cacao en grano de calidad ya que sus propiedades de aroma, sabor y textura se pierden. Adicionalmente, el proceso de secado completo puede tomar varios días. Por otro lado, algunas empresas emplean un secado artificial usando GLP (Gas Licuado de Petróleo), este proceso genera gases que contaminan el medio ambiente siendo este efecto uno de los principales causantes del calentamiento global. La falta de un diseño adecuado del proceso productivo limita las oportunidades de agregar valor al producto y obtener mayores ingresos para las empresas y el país.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.403>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

El 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales de las naciones unidas adoptaron un conjunto de objetivos globales para proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años. Para alcanzar estas metas, todo el mundo tiene que hacer su parte: los gobiernos, el sector privado, la sociedad civil y las personas [4]. Ecuador, impulsado por los ODS 7 y 12 tiene un cambio de matriz energética que implica incrementar el uso de la energía renovable en el país, en donde la energía solar tiene un porcentaje del 0,14% de participación, como se muestra en la Fig. 2 [5].

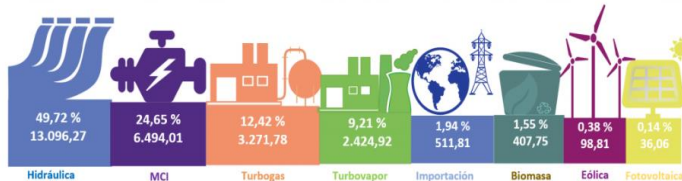


Fig. 2 Producción de Energía e Importaciones (GWh)
Fuente: Estadísticas Arconel 2015

Este estudio tiene como objetivo proponer una metodología multicriterio para el diseño de la operación de secado en una planta de semielaborados de cacao utilizando comparaciones pareadas en los criterios de evaluación, donde los enfoques están en el área de productividad y medio ambiente. El enfoque en el área de productividad cubre: lead time, nivel de productividad, calidad del cacao en grano y uso de horas/hombre. En el área del medio ambiente el enfoque busca alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) 7 y 12 metas 7.3, 12.2, 12.6, 12.a propuestos por la ONU.

La presente investigación se dividió en 6 secciones. En la sección II se presenta la metodología propuesta, en la sección III se presenta el modelo y sus resultados, en la sección IV se presenta el diseño del método de secado seleccionado para luego continuar con la sección V donde se desarrolla la simulación del sistema actual de la empresa y el sistema propuesto, mostrando los resultados en las conclusiones de la sección VI.

II. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la siguiente investigación se propone la siguiente metodología, que se muestra en la Fig. 3.

La investigación se desarrolla en la empresa “Agro Cacao” exportadora de semielaborados de cacao que se encuentra ubicada en el cantón Durán de la provincia de Guayas, en Ecuador.

A continuación, se explica cada paso de la metodología:

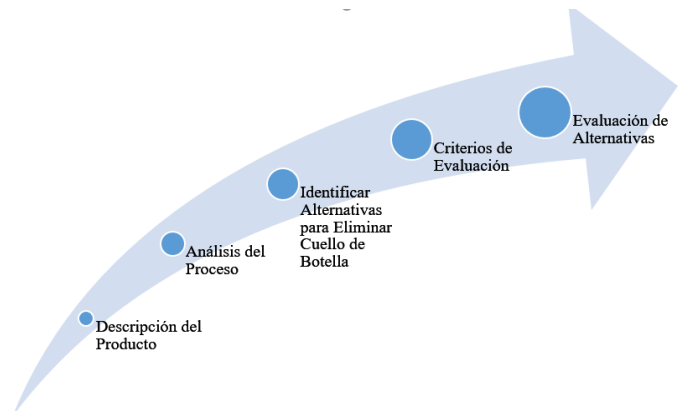


Fig. 3 Metodología del Estudio Propuesto.
Fuente: Elaboración Propia.

A. Descripción del Producto

En esta etapa se consulta al personal de la empresa Agro Cacao para identificar cuáles son los productos que ofrece, cantidad y porcentaje de ventas. Cabe recalcar que es una empresa que todos sus productos son de exportación.

B. Análisis del Proceso

Una vez identificados los productos que produce Agro Cacao se levantan los procesos mediante entrevistas y son documentados a través de un diagrama de flujo. sede esta manera se identifican todas las actividades que agregan valor, No agregan valor, pero son necesarias y a las que no agregan valor. Finalmente se hace un estudio del tiempo de las operaciones.

C. Identificar alternativas para eliminar el cuello de botella

En esta etapa se analiza y se determina cual es la actividad que limita la producción al tener la capacidad de operación más baja o también llamada “El Cuello de botella del proceso”. Esto se realiza en función de los tiempos de las actividades identificadas en la etapa anterior.

Una vez identificado el cuello de botella del proceso mediante un Value Stream Mapping (VSM), se determinan posibles alternativas que ayuden a mejorar la capacidad o reducir el tiempo de ejecución, para así mejorar el tiempo total del proceso.

D. Criterios de Evaluación

Para evaluar las alternativas que permitirán eliminar o reducir el tiempo de proceso del cuello de botella, se definieron 5 criterios o factores que servirán para analizar los impactos de las distintas alternativas.

E. Evaluación de Alternativas

Con el objetivo de evaluar las alternativas se utilizará una matriz comparativa donde se tendrán que realizar los siguientes pasos:

1. A los cinco criterios identificados en la etapa anterior se les asignará una ponderación (Weight factor) en función de su importancia para luego compararlos y

obtener su peso relativo, utilizando comparaciones pareadas.

2. Cada criterio o factor será evaluado en base a una escala Likert del 1 al 5, siendo 1 el de menor puntuación y 5 el de mayor puntuación.
3. Se multiplicará la ponderación (Weight factor) obtenida en el punto 1, con el valor que se le dio al criterio o factor en el punto 2, estos valores se sumarán para cada alternativa y el que obtenga mayor valor será tomado como la alternativa ideal.

Una vez que se obtenga la alternativa con mayor puntuación, se propondrá el desarrollo de esta.

III. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

A. Descripción del Producto

Actualmente Agro Cacao produce licor, manteca y torta de cacao, que son los semielaborados que tienen mayor participación en el mercado, el licor con un 46.94%, manteca con un 23.36%. La descripción de los semielaborados se detalla a continuación:

- **Licor de cacao:** Es una pasta fluida que se obtiene del cacao a partir de un proceso de molienda. Este al ser sometido a un proceso de prensado se convierte la manteca y torta de cacao
- **Manteca de cacao:** Es la materia grasa natural comestible del cacao.
- **Torta de cacao:** Es la fase sólida del licor de cacao con bajo porcentaje de manteca, este es triturado en piezas pequeñas. Este al ser sometido a un proceso de pulverización se convierte en polvo de cacao.

B. Análisis del Proceso

Una vez definidos los productos que la empresa exporta, se levantó el proceso productivo para identificar oportunidades de mejora. En la Fig. 4 se detalla el proceso de semielaborados de cacao de la empresa seleccionada para este estudio:

Para garantizar la calidad en los productos de exportación, Agro Cacao debe asegurar que el cacao en grano que ingresa como materia prima al proceso productivo contenga un máximo de 7 a 8% de humedad. Ya que al tener un valor mayor pierde el valor de comercialización y sus propiedades o puede desarrollar moho y cambiar características como forma, color del grano por fuera, consistencia, olor, sabor, por lo tanto, el proceso de Secado es clave para iniciar el proceso [6].

1. **Secado:** El método tradicional de secado se base en esparcir en tendales los granos de cacao para que sean sacados a través de la energía solar.
2. **Tostado:** Una vez aprobado el lote de grano por el jefe de calidad, este es colocado a través de un transportador de cangilones en las cámaras del tostador donde su temperatura debe llegar a 140 °C para que baje la humedad del 7% al 2%.



Fig. 4 Proceso de Elaboración de Semielaborados de Cacao.

Fuente: Empresa "Agro cacao"

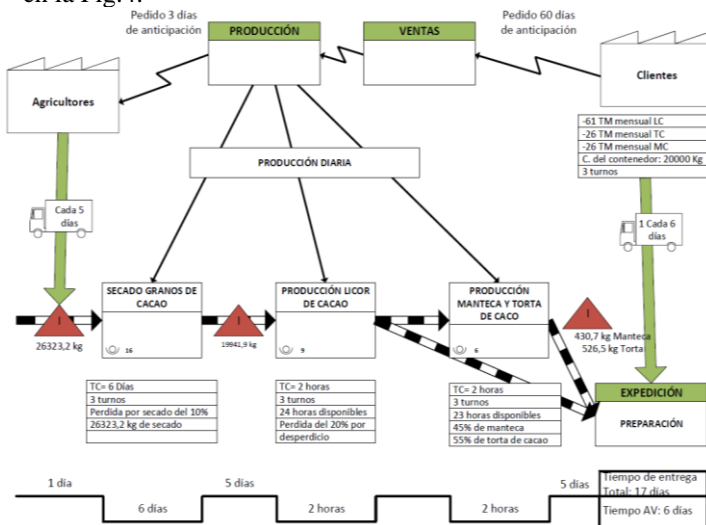
3. **Descascarillado:** El grano tostado ingresa al descascarillado, donde la cascarilla es desprendida en su totalidad del NIB del cacao y a través de una esclusa rotatoria y un soplador de alta presión el producto pasa a la pre molienda.
 4. **Pre Molienda:** Los NIBs de cacao se rompen hasta obtener una sustancia muy viscosa, el porcentaje de finura en este punto debe de ser a 80%.
 5. **Molienda:** El producto viscoso es movido hasta obtener un porcentaje de finura ideal. El licor de cacao pasa a ser almacenado en un tanque temperado a 75° – 85 °C, para luego ser transportado al esterilizador.
 6. **Esterilizado:** El licor de cacao pasa a un esterilizador horizontal, donde es sometido a una temperatura alta. Este producto puede pasar a temperado y empacado de manera directa, o a la etapa de elaboración de manteca y torta de cacao.
- Si sigue el proceso de licor, los pasos son los siguientes:
7. **Temperado de Licor:** Este proceso consiste en disminuir la temperatura del licor a 35 °C.
 8. **Empaque de Licor:** El licor de cacao temperado a través de tuberías es dosificado dentro de las fundas dispuestas en el respectivo cartón.
- Si sigue el proceso de elaboración de manteca y torta de cacao los pasos son los siguientes:
9. **Prensado:** El licor de cacao es sometido a altas presiones contra un filtro, el cual retiene las partículas sólidas y expulsa la manteca de cacao. Del prensado se generan dos productos: manteca y torta de cacao.
 - **Torta de cacao:** La torta pasa al molino de cuchillas, en el que es troceado y así facilitar la manipulación y empaque. La torta es empacada en fundas.
 - **Manteca de cacao:** La manteca pasa por el proceso de temperado, para disminuir la temperatura a 28° –

30° C. El empaque se realiza en fundas dispuestas en el respectivo cartón.

10. **Almacenamiento:** Posterior al despacho del licor y manteca, estas deben reposar durante 48 horas en la bodega de producto terminado a una temperatura de 20° - 25 °C y a una humedad relativa del 50% - 60%. Una vez que el producto se encuentre solidificado es apilado en pallets plásticos.

Para determinar las actividades y los tiempos del proceso, se desarrolló un mapeo del flujo de valor (Value Stream Mapping), donde se detalla que los clientes de la empresa realizan sus pedidos al departamento de ventas con 60 días de anticipación, y este envía la información a producción para que se realice la planificación diaria. El Producto Terminado será enviado cada 6 días, tiempo que se demora en llenar un contenedor.

Debido a que los tiempos de procesamiento son muy pequeños y las máquinas de la línea de producción siguen un flujo continuo y tienen una capacidad de 250 Kg/h, se graficó el VSM en tres secciones: proceso de secado, producción de licor, y el de producción de manteca y torta como se muestra en la Fig.4.



El tiempo de las actividades que agregan valor es de 6 días, es decir todas aquellas actividades que son necesarias para llevar a cabo la transformación de cacao en grano a semielaborado y el tiempo total de producción es de 17 días incluyendo los tiempos de esperas.

El cuello de botella del proceso es el de secado ya que toma 6 días en promedio y representa el 35% del tiempo total, la Fig. 5 muestra la curva que tiene el proceso de secado, donde el área amarilla corresponde al cacao recién salido del proceso de fermentación y el contenido de humedad se reduce a valores entre el 25% y 30%. En el área verde el grano de cacao tiene un contenido de humedad de aproximadamente 25%, por último, el área celeste corresponde a la fase donde el

grano tiene una humedad cercana al 12%, pero para que el grano llegue a este porcentaje tienen que pasar aproximadamente 6 días [7].

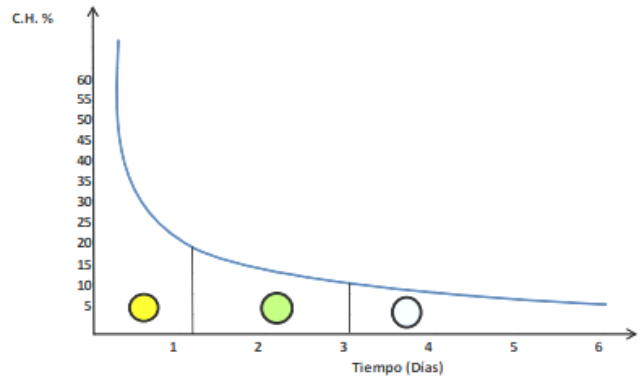


Fig. 5 Curva de un proceso de secado.

Fuente: FedeCacao

C. Identificar alternativas para eliminar el cuello de botella

En función del análisis de la sección B, se determinó que el cuello de botella es el proceso de secado, por lo tanto, se proponen distintas técnicas para el secado de cacao con la finalidad de reducir el inventario máximo almacenado y tiempo de procesamiento.

Las propuestas de secado son clasificadas en 3 tipos: secado natural, secado artificial y secado híbrido. A continuación, se detalla cada propuesta.

1. Secado Natural

- **Tendales (Método actual de la empresa):** Es un método comúnmente utilizado, consiste en esparcir el cacao en concreto con una pequeña pendiente para facilitar el drenaje, el intercambio de energía y humedad entre el aire y el producto queda limitado exclusivamente a la superficie, por lo que requiere revolver el cacao constantemente. Sin embargo, este método requiere altas áreas de terreno y mayor mano de obra para la operación.

2. Secado Artificial

- **Horno a Gas:** consiste en introducir el cacao en grano en una cámara que utilizan derivados del petróleo como combustible para disminuir la humedad. La transferencia de calor se realiza a través de la conducción y convección. El proceso de secado es mucho más rápido que el natural y se reduce el riesgo de contaminación del cacao ya que no está expuesto al aire libre, polvo, bacterias, lluvia, etc.

3. Secado Híbrido

- **Secador con Paneles Solares:** El método consiste en que el cacao en grano sea secado por aire caliente que se precalentó a través del uso de colectores o paneles solares, donde a través de un extractor el aire entra al colector subiendo la temperatura.

D. Criterios de Evaluación

Para elegir el método de secado se definen cinco criterios o factores que serán utilizados para una futura evaluación. Estos factores son elegidos en función del impacto en el nivel de servicio y calidad del producto que va a ser ofrecido a los clientes y así brindar una propuesta de valor en el mercado cacaotero. Los criterios son:

1. Calidad organoléptica del cacao: es una de las principales razones por la cual el cacao recibe un precio mayor en el mercado, ya que este define el aroma y olor en productos finales como chocolates finos.
2. Capacidad de expansión: mide que tan flexible es el método de secado para un futuro crecimiento de la planta, y que pueda secar mayor cantidad de cacao en grano.
3. Disponibilidad: mide la probabilidad de que el medio de secado a evaluar este libre para ser utilizado en cualquier momento que se requiera un pedido importante, y a su vez que el cacao en grano se encuentre en buenas condiciones, esto dependerá del tiempo de secado.
4. Eficiencia: se refiere a la capacidad de cumplir con su objetivo correctamente, es decir que este método de secado logre disminuir la humedad del cacao a un 7% en el tiempo establecido.
5. Seguridad en el trabajo: evalúa los riesgos de trabajo asociados al sistema de secado a evaluar, para esto se considera las actividades relacionadas al manejo y manipulación de materiales durante el proceso.

E. Evaluación de Alternativas

Para proceder con la evaluación de las alternativas de secado, primero se determinó la ponderación (Weight factor) de cada criterio por medio de una matriz de comparaciones por pares, donde cada factor X_{ij} muestra la importancia de i frente a j , por lo que si i es más importante que j entonces la celda $X_{ij}=1$ y la celda $X_{ji}=0$. Como punto de partida para la comparación se inicia con el eje vertical y cuando los criterios son igual de importantes, las dos celdas tienen 1. Una vez asignados los valores de 1 y 0 se suman las filas, la suma obtenida se divide para la suma total que es 15 y los valores son multiplicados por 100% para obtener números entre 0 – 100%, como se muestra en Tabla I.

A continuación, se detalla cómo será la escala y la manera de medir cada criterio:

1. Calidad Organoléptica del cacao: Para evaluar este criterio se realizan pruebas al licor de cacao ya que este varía en función de los diferentes medios de secado, si el cacao fue secado por tendal, el licor suele tener un sabor ácido por un volteo inapropiado o existe probabilidad de contaminación por polvo, animales, etc., si el secado es por métodos artificiales el licor puede adquirir un sabor indeseado ahumado por falta de

un buen control. La escala de Likert utilizada para este aspecto es la que se muestra en la tabla II.

Tabla I. Determinación de WF mediante comparación pareada

CRITERIOS O FACTORES	COMPARACIÓN PAREADA					SUMA PREFERENCIAL	WF
	Calidad organoléptica del cacao.	Capacidad de expansión.	Disponibilidad.	Eficiencia.	Seguridad en el trabajo.		
Calidad organoléptica del cacao.		1	1	1	1	4	27%
Capacidad de expansión.	0		0	1	0	1	7%
Disponibilidad.	0	1		1	1	3	20%
Eficiencia.	0	1	1		1	3	20%
Seguridad en el trabajo.	1	1	1	1		4	27%
TOTAL						15	100%

Fuente: Elaboración propia

Tabla II. Escala Likert del criterio calidad

CALIDAD ORGANOLÉPTICA					
RF	Mala Calidad	Calidad Baja	Calidad Regular	Calidad Media Regular	Alta Calidad
	1	2	3	4	5

Fuente: Elaboración propia

2. Capacidad de expansión: Para medir la flexibilidad que tienen los sistemas de secado para el crecimiento futuro de la producción de la empresa, se proyecta las dimensiones en m^2 que tiene cada método y se realiza el contraste con el espacio disponible para expansión que presenta el terreno. La escala de Likert utilizada para este aspecto es la que se muestra en la tabla III.

Tabla III. Escala Likert del criterio Expansión

CAPACIDAD DE EXPANSIÓN					
RF	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
	1	2	3	4	5

Fuente: Elaboración propia

3. Disponibilidad: Para medir este criterio se toma en consideración el tiempo de secado de cada método, ya que entre más rápido es el secado se tendrá mayor disponibilidad para secar mayor cacao en grano. Adicionalmente se considera el tipo de mantenimiento que se le da a cada método de secado y se evalúa la probabilidad de falla en el caso de los secados artificiales e híbridos. La escala de Likert utilizada para este aspecto es la que se muestra en la tabla IV.

Tabla IV. Escala Likert del criterio Disponibilidad

DISPONIBILIDAD					
RF	Nunca	Pocas Veces	Regularmente	Casi Siempre	Siempre
	1	2	3	4	5

Fuente: Elaboración propia

4. Eficiencia: para evaluar este criterio se mide la humedad del cacao en grano secado por los diferentes métodos propuestos, el porcentaje de humedad es obtenido a través de un *medidor de humedad de cacao*. Se asigna el valor de 5 si es que ese método de secado logra que el 80% -100% del lote llegue a 7% de humedad y así para las demás alternativas de

evaluación. La escala de Likert utilizada para este aspecto es la que se muestra en la tabla V.

Tabla V. Escala Likert del criterio Eficiencia

EFICIENCIA					
RF	0% - 20% de los granos llega al 7% de humedad	20% - 40% de los granos llega al 7% de humedad	40% - 60% de los granos llega al 7% de humedad	60% - 80% de los granos llega al 7% de humedad	80% - 100% de los granos llega al 7% de humedad
	1	2	3	4	5

Fuente: Elaboración propia

5. Seguridad en el trabajo: para evaluar los riesgos que pueden sufrir los trabajadores durante las actividades de secado en los distintos métodos se utiliza el método propuesto por el British Standards Institution. Se podrán estimar los niveles de riesgo en función de su probabilidad estimada y a sus consecuencias esperadas. Las ponderaciones utilizadas para este método son: riesgo intolerable, riesgo importante, riesgo moderado, riesgo tolerable y riesgo trivial. El formato utilizado para este análisis es el que se muestra en la tabla VI.

Tabla VI. Formato de valoración de riesgo

Tabla VI. Formato de Valoración de Riesgo									
Medio de Secado:									
Fecha:									
Evaluadores:									
Posibles Peligros	Actividades Realizadas	Gravedad de las Consecuencias	Probabilidad	Tipo de Riesgo					Valoración de Riesgo
				Trivial	Tolerable	Moderado	Importante	Intolerable	

Fuente: British Standards Institution

La valoración de cada criterio o factor fue realizada por el gerente general de la empresa, asignándoles una puntuación del 1-5 según la escala Likert, siendo 1 el de menor puntuación y 5 el de mayor puntuación.

A continuación, se detalla la puntuación obtenida para cada uno de los métodos de secado:

1. **Tendal:** Para este método la calidad organoléptica del cacao es regular ya que tiende a contaminarse de plagas debido a la exposición constante al aire libre. La capacidad de expansión es baja ya que requiere de grandes terrenos (3000 m2). El grano de cacao se encuentra regularmente disponible para la operación debido a que para este método el proceso de secado toma 6 días. La eficiencia es del 40% - 60% de secado debido a que existirán partes donde el grano no se ha secado totalmente, y con respecto a la seguridad en el trabajo este método tiene un riesgo importante debido a que el personal tiene que descargar y mover granos de cacao de forma constante, dando como puntuación un total de 269 puntos, como se muestra en la tabla VII.

Tabla VII. Evaluación del método Tendal

Aspectos	WF%	MÉTODO DE SECADO
----------	-----	------------------

Evaluados		Tendal (Método Actual)		
		Característica	RF	Puntuación
Calidad organoléptica del cacao	27	CALIDAD REGULAR	3	81
Capacidad de expansión	7	BAJA	2	14
Disponibilidad	20	REGULARMENTE	3	60
Eficiencia	20	40% - 60% DE SECADO	3	60
Seguridad en el Trabajo	27	RIESGO IMPORTANTE	2	54
TOTAL				269

Fuente: Elaboración propia

2. **Horno a Gas:** Para este método la calidad organoléptica del cacao es media regular debido a que un porcentaje considerable del grano posee un sabor inadecuado ahumado ocasionado por la contaminación de los gases del combustible. La capacidad de expansión es alta ya que en este método se disminuye un 80% del espacio. El grano de cacao se encuentra casi siempre disponible para la operación debido a que para este método los granos se secan en mayores cantidades y con mayor frecuencia que los métodos anteriores. La eficiencia es del 80% - 100% de secado debido a que aún existirán partes donde el grano no se ha secado totalmente, y con respecto a la seguridad en el trabajo este método tiene un riesgo tolerable debido a que el personal tiene que mover los sacos del grano de cacao hacia la máquina, dando como puntuación un total de 424 puntos, como se muestra en la tabla VIII.

Tabla VIII. Evaluación del método Horno a Gas

Aspectos Evaluados	WF%	MÉTODO DE SECADO		
		Horno a Gas		
		Característica	RF	Puntuación
Calidad organoléptica del cacao	27	CALIDAD MEDIA REGULAR	4	108
Capacidad de expansión	7	ALTA	4	28
Disponibilidad	20	CASI SIEMPRE	4	80
Eficiencia	20	80% - 100% DE SECADO	5	100
Seguridad en el Trabajo	27	RIESGO TOLERABLE	4	108
TOTAL				424

Fuente: Elaboración propia

3. **Secador con paneles solares:** Para este método la calidad organoléptica del cacao es alta debido a que el secado se realiza de manera controlada evitando contaminación cruzada. La capacidad de expansión es alta ya que en este método se disminuye un 80% (600 m2) del espacio en comparación con los tendales. El grano de cacao se encuentra siempre disponible para la operación debido a que para este método los granos se secan en mayor cantidad, rapidez y con mayor frecuencia que los métodos anteriores. La eficiencia es del 80% - 100% de secado debido a que aún existirán

granos que no se han secado totalmente, y con respecto a la seguridad en el trabajo este método tiene un riesgo trivial debido a que el personal no tiene que hacer grandes esfuerzos para mover los sacos del grano de cacao hacia la máquina, dando como puntuación un total de 498 puntos, como se muestra en la tabla IX.

Tabla IX. Evaluación del método Secador con Paneles solares

Aspectos Evaluados	WF%	MÉTODOS DE SECADO		
		Secado Híbrido		
		Característica	RF	Puntuación
Calidad organoléptica del cacao	27	ALTA CALIDAD	5	135
Capacidad de expansión	7	ALTA	4	28
Disponibilidad	20	SIEMPRE	5	100
Eficiencia	20	80% - 100% DE SECADO	5	100
Seguridad en el Trabajo	27	RIESGO TRIVIAL	5	135
TOTAL				498

Fuente: Elaboración propia

El método de secado con mayor puntuación es el del secado híbrido con un puntaje de 498 puntos. Por lo tanto, el método de secado híbrido es el ideal para cumplir con los criterios de calidad, expansión, disponibilidad, eficiencia y seguridad de trabajo.

IV. PROPUESTA DE DESARROLLO DEL MÉTODO DE SECADO CON PANELES SOLARES

Para el diseño del secador es importante que se tengan en cuenta los siguientes parámetros:

- Condiciones climatológicas: temperatura, humedad, radiación solar y velocidad del viento.
- Capacidad de secado.
- Tiempo de secado.
- Parámetros térmicos.
- Volumen de cacao para el secador.
- Flujo de aire requerido.
- Diseño térmico.
- Espacio utilizado para la implementación del secador: 600 metros cuadrado.

Durán, que es la ciudad donde se localiza la planta, presenta dos periodos climatológicos, uno húmedo y lluvioso, que se presenta en los meses de diciembre a abril (invierno); y otro fresco y seco, que se presenta en los meses de mayo a diciembre (verano) y en base a los valores mostrados por la NASA la radiación solar anual del cantón es de 5.4 kWh/m/d, la velocidad del viento es de 4.4 m/s y la humedad relativa de 77.80%, Como se muestra en la tabla X.

Tabla X. Datos atmosféricos del cantón Durán

Month	Air temperature °C	Relative humidity %	Daily solar radiation - horizontal kWh/m ² /d	Atmospheric pressure kPa	Wind speed m/s	Earth temperature °C	Heating degree-days °C-d	Cooling degree-days °C-d
January	26.9	78.20%	5.11	101.1	4.3	28.6	0	524
February	26.9	76.90%	6.08	101.1	3.8	28.9	0	475
March	27.1	77.20%	6.18	101	3.1	29.4	0	530
April	27.5	78.90%	5.79	101	3.6	29.9	0	524
May	27.9	76.80%	5.25	100.9	5.6	29.6	0	554
June	27.5	76.00%	5.1	101	5	29	0	523
July	27.2	76.00%	5.12	101	4.7	28.8	0	531
August	26.9	77.70%	5.25	101.1	4.8	28.5	0	523
September	26.9	78.20%	5.28	101.1	5	28.5	0	507
October	26.8	78.40%	5.47	101.1	4.9	28.5	0	520
November	26.7	79.80%	5.25	101.1	4.1	28.6	0	501
December	26.8	79.80%	4.97	101.1	3.7	28.6	0	521
Annual	27.1	77.80%	5.4	101	4.4	28.9	0	6233

Fuente: NASA (Atmospheric Science Data Center)

El diseño del secado híbrido está constituido por un sistema de calentamiento y una cámara de secado. En la sección de calentamiento estarán los colectores o paneles solares con una inclinación de aproximadamente 30° del suelo y respetando la distancia adecuada entre ellos. El aire a través de un extractor entra al colector para subir su temperatura y este por medio de tuberías se dirige a la cámara de secado donde se encuentra el cacao en grano, para que al tener contacto con el aire absorba su humedad. Para aumentar la eficiencia del secado se utiliza una cámara cilíndrica giratoria. Este sistema estará conectado a sensores de temperatura que permitirán controlar el porcentaje de humedad ideal del lote secado.

Adicionalmente el mantenimiento de este método no requiere gastos excesivos ya que sus elementos no se deterioran rápidamente. Para el caso del mantenimiento preventivo se deben realizar inspecciones visuales con el fin de verificar que se está trabajando en las condiciones ideales y está dentro de los límites aceptables de funcionamiento, la limpieza de los paneles estará definida en un instructivo. Para el caso del mantenimiento correctivo cada 3 meses se realizará revisiones detalladas de los aislamientos térmicos para evitar deterioros y limpieza en la cámara.

V. VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE SECADO CON PANELES SOLARES

Tomando en cuenta el desarrollo de la sección IV y como validación de la selección del método de secado híbrido, se realizará una comparación con el método de secado actual de la empresa “Agrocacao” y el secador con paneles solares, para luego realizar una simulación de ambos métodos con el software flexsim. Con la simulación se busca demostrar que con el sistema propuesto se disminuye el lead time, inventario máximo almacenado y turnos, lo que aumenta la capacidad de la empresa para responder a un incremento en la demanda. Es importante mencionar que los resultados fueron obtenidos al simular 12 meses de operación.

A. Resultados de la Simulación del Método Actual de la Empresa (Tendal)

Para poder realizar la simulación del proceso de producción de licor, manteca y torta de cacao, se tuvo como base todos los datos del Value Stream Mapping expuesto en la

sección 3 literal B, por lo que se simuló el VSM del proceso de secado con tendal.

Una vez realizada la simulación en el Software Flexsim se obtuvieron los datos que se muestran en la Tabla XI, donde los porcentajes de procesamiento de los 3 procesos principales que se detallaron en el VSM de la Fig 4. son: 100% para el secado en grano en tendal; 72,50% para la de producción de licor de cacao y de 15,30% para la de producción de manteca y torta de cacao, dando como resultado que se necesita trabajar 3 turnos para el secado del cacao en tendal, 2,2 turnos para la producción de licor de cacao, 0,5 turnos para la producción de manteca y torta de cacao. Por lo que la empresa paga 1,4 horas extras diarias para el área de la producción de licor de cacao.

Tabla XI. Cálculo de turnos del sistema de secado actual

	Tendal	Producción de Licor de cacao	Producción de Manteca y Torta de cacao
%Processing	100%	72,50%	15,30%
%Idle	0%	27,50%	84,70%
Turnos	3	2,2	0,5

Fuente: Elaboración propia

Una vez identificado el porcentaje de utilización de cada operación se obtuvo como resultado de la simulación que el inventario final máximo es de 2030 cajas, la empresa envía un promedio de 4 contenedores mensuales, y tiene una producción mensual como se muestra en la Fig. 6.

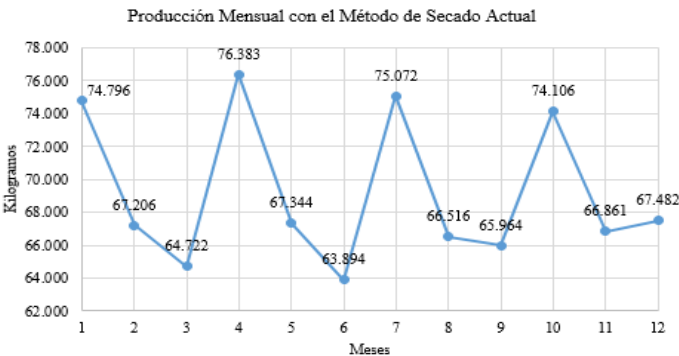


Fig. 6 Producción mensual con el método de secado actual

Fuente: Elaboración propia

B. Resultados de la Simulación del Método de Secado con Paneles Solares

Para poder realizar la simulación del proceso de producción de licor, manteca y torta de cacao, se tuvo como base todos los datos del Value Stream Mapping expuesto en la Fig. 7, el tiempo de las actividades que agregan valor es de 1 día, y el tiempo total de producción es de 8 días incluyendo los tiempos de esperas.

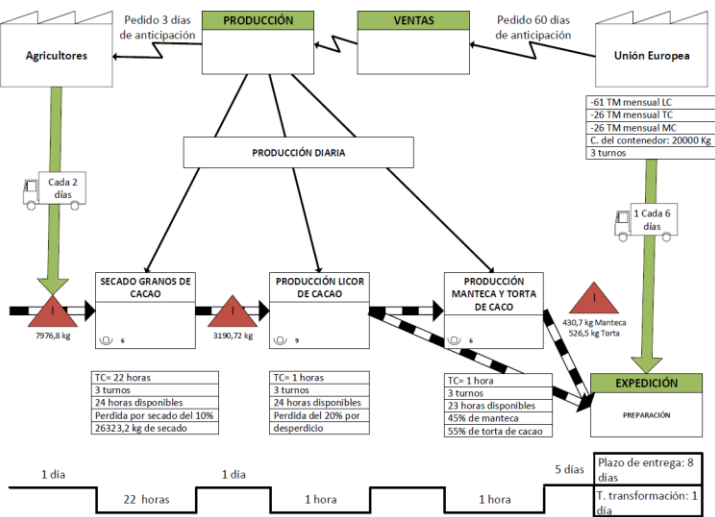


Fig. 7 VSM del Proceso de Semielaborados de Cacao con el método de secado propuesto

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la simulación con la nueva propuesta de secado se obtuvieron los datos que se muestran en la Tabla XII, donde el porcentaje de procesamiento de los 3 procesos principales que se detallaron en el VSM de la Fig 7. son: el 100% para el secado con paneles solares; 62,50% para la de producción de licor de cacao y de 12,70% para la de producción de manteca y torta de cacao, dando como resultado que se necesita trabajar 3 turnos para el secado del cacao, 1,9 turnos para la producción de licor de cacao, 0,4 turnos para la producción de manteca y torta de cacao.

Tabla XII. Cálculo de turnos del sistema de secado propuesto

	Se cador con Paneles solares	Producción de Licor de cacao	Producción de Manteca y Torta de cacao
%Processing	100%	62,50%	12,70%
%Idle	0%	37,50%	87,30%
Turnos	3	1,9	0,4

Fuente: Elaboración propia

Una vez identificado el porcentaje de utilización de cada operación se obtuvo como resultado de la simulación que el inventario final máximo es de 986 cajas, la empresa envía un promedio de 4 contenedores mensuales, y tiene una producción mensual como se muestra en la Fig. 8.

C. Comparación de Resultados

Al realizar la simulación de los dos procesos se pudieron obtener los siguientes resultados:

- Con el método de secado actual (tendal) se pagan 1,4 horas extras diarias por operario, mientras que en el método de secado solar no se pagan horas extras, generando un ahorro monetario para la empresa.
- El número de contenedores enviados por mes es en promedio 4 contenedores para ambos métodos.
- Con el método de secado solar se disminuye el inventario de producto terminado considerablemente,

con un máximo de 980 cajas, mientras que con el método de tendal el inventario máximo es de 2030 cajas.

- El número de operarios disminuyó de 21 a 14 operarios con el método propuesto.
- El lead time disminuyó 47%, siendo de 8 días para el secador propuesto con paneles solares.

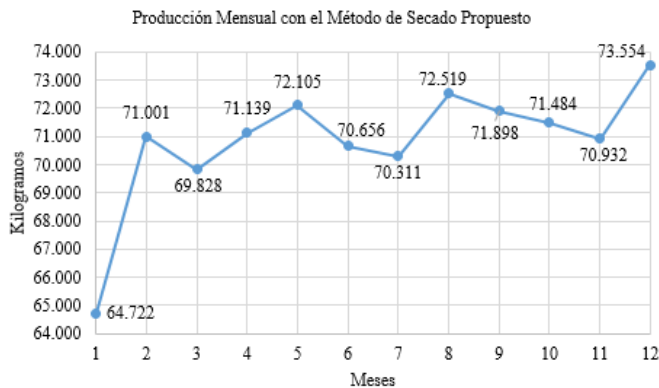


Fig. 8 Producción mensual con el método de secado con paneles solares

Fuente: Elaboración propia

VI. CONCLUSIONES

El presente estudio muestra como un modelo de Multicriterio puede ser utilizado para la selección y diseño de alternativas de mejoras de procesos. La ventaja de usar un modelo multicriterio es que permite determinar las preferencias del decisor entre un conjunto de opciones o alternativas, de las cuales se quiere seleccionar la preferida en el sentido de que sea la que mejor satisfaga nuestros intereses [8].

La propuesta de implementar un secador con paneles solares en una planta procesadora de semielaborados de cacao en Durán-Ecuador genera una ventaja competitiva, ya que con este estudio se pudo comprobar que con la implementación del sistema propuesto se obtiene una reducción del 47% del lead time, una reducción del 48% del inventario máximo almacenado, una reducción del 80% de los metros cuadrados utilizados para el proceso de secado, una reducción del 33% del personal, una reducción del 85% (22 horas) en el tiempo del secado y una reducción de 1,4 horas extras diarias por operario, todas estas mejoras se asocian a un ahorro directo a la empresa, permitiendo la implementación de nuevos proyectos y adquisiciones de nuevas tecnologías.

La energía renovable es una excelente alternativa por ser un recurso considerado como inagotable, y posee algunas ventajas, que son: fácil mantenimiento, no generan gases de efecto invernadero, gran duración, no producen ruido y promueven el desarrollo sostenible.

Para la correcta implementación del sistema de secado con paneles solares se debe invertir en sensores que permitan controlar la temperatura y la humedad del producto, permitiendo establecer el tiempo óptimo requerido, además de la cantidad de humedad y de calor necesario para realizar el secado. Adicionalmente la empresa debe hacer pruebas sensoriales del producto terminado para analizar el nivel de satisfacción al cliente.

REFERENCIAS

- [1] ANECACAO. (2019). Sector Exportador de Cacao. Available: <http://www.anecacao.com/uploads/estadistica/cacao-ecuador-2019-4.pdf>
- [2] ANECACAO. (2019). Estadísticas de Exportación. Available: <http://www.anecacao.com/index.php/es/estadisticas/estadisticas-actuales.html>
- [3] ANECACAO. (2015). Cacao Nacional un Producto Emblemático del Ecuador. Available: <http://www.anecacao.com/es/quienes-somos/cacao-nacional.html>
- [4] Naciones Unidas. (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [5] ARCONEL. (2016). Ecuador Posee un 51,78% de Energía Renovable. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/ecuador-posee-un-5155-de-energia-renovable/>
- [6] SEVEC. (2016). Secado Correcto del Cacao: Garantía de un Buen Sabor y Aroma. Available: <https://vivaelcacao.com/cacao-bien-seco-es-mejor/>
- [7] FEDECACAO. (2015). Efecto del Secado y Almacenaje sobre la Calidad del Cacao. Available: <https://www.fedecacao.com.co/site/images/ColCacao4.pdf>
- [8] C. A. Yajure. (2015). "Comparación de los métodos multicriterio AHP y AHP Difuso en la selección de la mejor tecnología para la producción de energía eléctrica a partir del carbón mineral". Available: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:JoGxVyOqWQJ:https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/9381+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>