

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería
Dirección de Posgrado
Campus Mexicali

Tesis/Proyecto de Ingeniería e Innovación

Determinación de parámetros para procesos poscosecha de dátil medjool

para obtener el grado de
Maestro en Ingeniería e Innovación

Presenta

Luis Fernando Blando Briceño

Director de proyecto: Karla Garduño Palomino

Codirector de proyecto: Jesús Eduardo Mora Ramírez

Asesor de la industria: Víctor Efrén Blando López

Mexicali, Baja California. Junio de 2019

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería
Dirección de Posgrado
Campus Mexicali

Tesis/Proyecto de Ingeniería e Innovación

Determinación de parámetros para procesos poscosecha de dátil medjool

para obtener el grado de
Maestro en Ingeniería e Innovación

Presenta

Luis Fernando Blando Briceño

Director de proyecto: Karla Garduño Palomino

Codirector de proyecto: Jesús Eduardo Mora Ramírez

Asesor de la industria: Víctor Efrén Blando López

Mexicali, Baja California. Junio de 2019

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería
Dirección de Posgrado
Campus Mexicali

Tesis/Proyecto de Ingeniería e Innovación

Determinación de parámetros para procesos poscosecha de dátil medjool

para obtener el grado de Maestro en Ingeniería e Innovación

Presenta

Luis Fernando Blando Briceño

Director de proyecto: Karla Garduño Palomino

Codirector de proyecto: Jesús Eduardo Mora Ramírez

Asesor de la industria: Víctor Efrén Blando López

Dra. Karla Garduño
Palominos

Dr. Miguel Salinas
Yáñez

Dr. Alan Escamilla
Rodríguez

Mexicali, Baja California. Junio de 2019

AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIAS

Primeramente, agradezco a mis padres Víctor y María, por apoyarme incondicionalmente a lo largo de mi vida, por toda su paciencia durante mi formación y vida profesional, por siempre empujarme a ser una mejor persona y profesionalista, reconozco que no ha sido tarea sencilla.

A mi futura esposa, Ericka, quien a lo largo de mis estudios me alentó a seguir adelante, a mantenerme enfocado, y esforzarme por cumplir esta meta personal de obtener un posgrado en ingeniería, por esto y tantos detalles más te amo.

A mi director y codirector de proyecto, Karla y Jesús, por todo el tiempo que dedicaron a entender mis ideas, y guiarme en el desarrollo satisfactorio de esta tesis.

Finalmente, pero no menos importante, agradezco a Dios por rodearme de estas y otras personas extraordinarias, sin duda son ellas quienes me impulsaron a ser la persona que soy hoy en día.

Luis F. Blando

Junio, 2019

Agropecuaria Primen S. de R.L. de C.V.

Calzada Independencia 1115 Local 14C, Plaza B.C.,
Centro Cívico, C.P. 21100, Mexicali, B.C

A quien corresponda,

Por medio de la presente hacemos constar que el Ing. Luis Fernando Blando Briceño estudiante de posgrado de ingeniería en Cety's Universidad, colaboró con la organización para desarrollar el proyecto de aplicación nombrado "Determinación de parámetros para tratamientos poscosecha de dátil medjool". El enfoque del proyecto fue determinar los parámetros óptimos de operación de nuevos procesos; con la finalidad de apoyar en la integración vertical de nuestra empresa.

El valioso trabajo del Ing. Luis Blando apoya en gran medida los deseos de crecimiento de la organización, los resultados de su investigación nos han impulsado a comenzar con la implementación, con la que esperamos una reducción significativa de los desperdicios que se presentan anualmente, así como un incremento de la calidad del fruto, de tal manera que se logre un mayor ingreso financiero.

Se extiende la presente constancia a petición del interesado para los fines que juzgue convenientes; sin más por el momento agradezco de antemano su atención y envío un cordial saludo.

Atentamente

Víctor Efrén Blando López
Representante legal
Agropecuaria Primen S. de R.L. de C.V.

Índice

Resumen	1
Introducción	2
Antecedentes	2
Justificación.....	6
Planteamiento del problema	8
Objetivo	9
Preguntas de investigación.....	9
Hipótesis	9
Marco Teórico.....	10
Procesos Poscosecha	10
Proceso de deshidratación.....	11
Proceso de maduración artificial	12
Proceso de Hidratación.....	13
Análisis de Factibilidad	15
Método del valor presente/actual neto	15
Pronóstico con promedio móvil doble.....	15
Cálculo de retorno de inversión.....	17
Metodología	18
Desarrollo de diseños de experimentos.....	19
1. Selección de método de experimentación.....	19
2. Selección de variables a evaluar.....	19
3. Materiales y equipos para crear condiciones de experimento	19
4. Creación de diseño factorial y experimentación	20
5. Análisis de varianza	20
6. Aislamiento de factores e interacciones estadísticamente no significativas.....	20
7. Confirmación de factores e interacciones	20
8. Análisis de normalidad y residuales	21
Análisis de factibilidad económica	21
1. Estimación de producción futura	21
2. Cálculo de proporción por proceso	21
3. Creación de listado de equipos, instrumentos y consumibles	22
4. Definición de restricciones y consideraciones para cálculo	22

5. Cálculo de valor presente neto de inversiones requeridas	22
6. Cálculo de valor presente neto de ingreso adicional	22
7. Cálculo de retorno de inversión.....	23
Resultados.....	24
Diseños de experimentos	24
1. Selección de método	24
2. Selección de variables a evaluar.....	25
3. Materiales y equipos para crear condiciones de experimento	26
4. Creación de diseño factorial y experimentación	28
5. Análisis de varianza	28
6. Aislamiento de factores e interacciones estadísticamente no significativas.....	29
7. Confirmación de factores e interacciones	30
8. Análisis de normalidad y residuales	32
Análisis de factibilidad económica	33
1. Estimación de producción futura	33
2. Cálculo de proporción por proceso	33
3. Creación de listado de equipos, instrumentos y consumibles	34
4. Definición de restricciones y consideraciones para cálculo	34
5. Cálculo de valor presente neto de inversiones.....	35
6. Cálculo de valor presente neto de ingreso adicional	36
7. Cálculo de retorno de inversión.....	37
Discusiones, conclusiones y recomendaciones.....	38
Referencias.....	40
Anexo A	43

Índice de figuras

Figura 1. Proporción de dátil apto y no apto en la cosecha de 2017 y 2018	7
Figura 2. Principales desviaciones presentes en la cosecha de 2017 y 2018	7
Figura 3. Tabla ANOVA para proceso de deshidratación y maduración.....	28
Figura 4. Tabla ANOVA para proceso de hidratación.....	28
Figura 5. Análisis de varianza para proceso de hidratación.....	28
Figura 6. Análisis de varianza para proceso de deshidratación y maduración.....	29
Figura 7. Análisis de varianza recortado para proceso de hidratación.....	29
Figura 8. Análisis de varianza recortado para proceso de deshidratación y maduración.....	29
Figura 9. Gráfica de contorno para proceso de hidratación.....	30
Figura 10. Gráfica de contorno para proceso deshidratación y maduración.....	31
Figura 11. Gráfica de normalidad para observaciones de proceso de deshidratación y maduración.....	32
Figura 12. Gráfica de normalidad para observaciones de proceso de hidratación.....	32
Figura 13. Gráfica de residuales para proceso de deshidratación y maduración.....	32
Figura 14. Gráfica de residuales para proceso de hidratación.....	32
Figura 15. Producción de dátil estimada para temporadas 2018-2023.....	33
Figura 16. Desviaciones de calidad estimadas para temporadas 2019-2023.....	34
Figura 17. Costos de instalación y operación de área de procesos poscosecha 2019-2023.	35
Figura 18. Cálculo de valor presente neto de inversiones requeridas en 2019-2023.....	36
Figura 19. Cálculo de valor presente neto de ingreso adicional en 2019-2023.....	36

Índice de tablas

Tabla 1. Comparativa de métodos para proceso de hidratación.....	24
Tabla 2. Comparativa de métodos para proceso de deshidratación y maduración.....	25
Tabla 3. Comparativa de variables de entrada para proceso de hidratación.	25
Tabla 4. Comparativa de variables de salida para proceso de hidratación.	25
Tabla 5. Comparativa de variables de entrada para proceso de deshidratación y maduración.	26
Tabla 6. Comparativa de variables de salida para proceso de deshidratación y maduración. ...	26
Tabla 7. Tabla de selección de equipos y materiales para proceso de hidratación.	27
Tabla 8. Selección de equipos y materiales para proceso de deshidratación y maduración.....	27
Tabla 9. Listado de equipos, instrumentos y consumibles necesarios para iniciar y operar un área de procesos poscosecha.	34
Tabla 10. Listado de restricciones y consideraciones generales para procesos poscosecha. ...	35

Lista de abreviaturas

ROI	Return on investment (Retorno de inversion)
BCR	Benefit/cost ratio (Proporción Beneficio/costo)
VAN	Valor actual neto
NPV	Net present value (Valor actual neto)
ANOVA	Analysis of variance (Análisis de varianza)

Resumen

El proyecto se desarrolló en una empresa productora de dátil variedad medjool en el Valle de Mexicali, la finalidad principal del mismo fue apoyar a la organización a desarrollar procesos de retrabajo, estos le permitirán mejorar las oportunidades de calidad que presenta más del 50% del fruto cada temporada, el primer objetivo del proyecto fue definir los parámetros de operación óptimos para los procesos poscosecha de hidratación, deshidratación y maduración, con los que se busca reducir hasta en un 89% los desperdicios de la organización; el segundo objetivo consiste en desarrollar un análisis de factibilidad económica, este busca justificar la inversión en un área de procesos poscosecha.

El primer objetivo se logró a través de diseños de experimentos, donde se evaluaron las variables de entrada y salida más significativas, buscando determinar de forma estadística los niveles de operación que maximizaran la variable de interés, para el proceso de hidratación estos fueron 60°C de temperatura y 170 min de permanencia, mediante el uso de vapor de agua para incrementar el peso del fruto; durante la investigación se determinó, que los requerimientos de los procesos de deshidratación y maduración son muy similares, por lo que es posible realizarlos en conjunto, para ello fue necesario provocar una convección forzada utilizando aire a diferentes temperaturas, por medio de la experimentación se estableció que 55°C y 37 horas de permanencia son ideales para lograr la máxima reducción de peso, así como la maduración total del fruto.

El segundo objetivo se alcanzó realizando un pronóstico de producción para los próximos 5 años, así como cálculos de inversiones e ingresos, para finalmente obtener el retorno de inversión, este fue de 164% del monto invertido, con lo que se justifica contundentemente la implementación de este proyecto.

Introducción

Antecedentes

La palma datilera es un cultivo perenne capaz de producir en promedio 40 kg de fruta anualmente, el rendimiento puede superar los 100kg a través de un buen manejo de la planta, estas comienzan su producción entre el cuarto y sexto año de edad y alcanzan su plena producción entre los 10 y 12 años (Siddiq, Aleid, y Kader, 2014; Yahia y Kader, 2011). La vida económica promedio de un oasis de palma es de entre 40 y 50 años, pero algunos son productivos hasta por 150 años (Siddiq et al., 2014).

Las inflorescencias de las palmas femeninas se desarrollan y están listas para ser polinizadas entre los meses de enero y marzo en el hemisferio norte, dependiendo principalmente de factores climatológicos, aproximadamente de 6 a 9 después se realizará la cosecha de un dátil completamente maduro (Yahia y Kader, 2011). La pizca por lo general se lleva a cabo en los meses de agosto y octubre, debido al desfase natural que existió durante el brote de las inflorescencias. Durante el desarrollo del fruto, el mismo atraviesa por 5 etapas: *Hababouk*, *Kimri*, *Khalal*, *Rutab* y *Tamr*.

Hababouk comienza inmediatamente después de la polinización y tiene una duración promedio de 4 a 5 semanas, se caracteriza por su color blanco. *Kimri* sufre un cambio de color de blanco a verde, el fruto empieza a crecer hasta obtener prácticamente su tamaño, peso y contenido de azúcares reductores final, 16 a 18 semanas después de ser polinizado. *Khalal* se identifica una vez que la coloración cambia por completo de verde a amarillo en el caso específico del *Medjool*, a partir de esta etapa el dátil perderá humedad paulatinamente, y se dará una transformación gradual de azúcares reductores principalmente sacarosa, a azúcares invertidos donde destacan la fructuosa y glucosa a lo largo de 6 semanas. *Rutab* se identifica cuando la pigmentación del fruto comienza a tornarse café en un periodo promedio de 4 semanas, esta etapa también es identificada como el inicio de la maduración. Finalmente, *Tamr* tiene una duración media de 2 semanas, el fruto cuenta con el nivel más bajo de humedad y máxima dulzura,

físicamente presenta características tales como una textura suave y arrugada, así como un color café oscuro; Dátiles en esta etapa son menos perecederos que en cualquiera de las anteriores, ideales para su procesamiento y almacenaje (Diboun et al., 2015; Siddiq et al., 2014; Haider, 2014; Ashraf, 2011; Yahia y Kader, 2011).

El cultivo de dátil Medjool se ha convertido en la variedad más importante y deseada alrededor del mundo debido a su gran tamaño, apariencia atractiva, textura suave y excelente sabor (Al-Khayri et al., 2015).

La palma datilera es nativa del Medio Oriente, de donde se expandió a áreas adyacentes en el Norte de África, Mediterráneo y sur de Asia, posteriormente se estableció en España país que introdujo el frutal por primera vez al continente Americano por medio de semillas, aparentemente las palmas datileras fueron establecidas en la Alta y Baja California por los misioneros Jesuitas y Franciscanos, quienes las plantaban cerca de las misiones, dichos frutales fueron de poco interés debido a la variabilidad de palmas que emergían de cada semilla, razón por la cual no tuvieron importancia comercial (de Grenade, 2013; Siddiq et al., 2014).

Fue años más adelante que se llevaron a cabo las primeras importaciones de hijuelos desde el viejo mundo hacia los Estados Unidos, estableciéndose inicialmente en el continente americano en los valles de Coachella, Bard y Mecca en California, así como en el condado de Yuma, Arizona, por H.E. Van Deman y después por W.T. Swingle (Al-Khayri et al., 2015).

La primera variedad específica en plantarse en el Valle de Coachella, California fue de *Deglet Noor* por Fred Johnson en 1905, misma que hasta hoy en día sigue siendo el cultivo de palma datilera predominante en la región, no fue hasta 1940 que se sembraron frutales *Medjool* en el Valle de Bard, California (Al-Khayri et al., 2015).

Años más adelante se traerían las primeras palmas de esta variedad a México, estas se establecieron a las afueras de la ciudad de San Luis Rio Colorado, Sonora, y tiempo más adelante comenzaron a trasplantarse principalmente en el Valle de Mexicali, Baja California, en 2018 según la Secretaria de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO) existen

más de 1135 hectáreas de palma datilera de las variedades más demandadas en el mercado, como lo son *Degleet Noor*, *Medjool* y *Halaway* principalmente.

La región del Valle de Mexicali cuenta con características similares a las de países con mayor producción de dátil en el mundo como lo son: Irán, Pakistán, Argelia, Egipto, Iraq, Marruecos, Arabia Saudita, Túnez y Emiratos Árabes Unidos. Comparten condiciones que han sido identificadas como ideales para la propagación, crecimiento y fructificación de la palma datilera, tales como: Altas temperaturas, baja humedad relativa del ambiente, suelos de alta calidad, pocas precipitaciones durante época de cosecha, disponibilidad y calidad de agua (Al-Khayri et al., 2015; Ashraf, 2011). Debido a estos factores y al ser identificado como un cultivo altamente redituable, se ha desencadenado en los años recientes la plantación de este tipo de frutal, y por lo tanto la producción de dátil en la región ha incrementado continuamente.

Actualmente en la región existe una gran cantidad de productores con huertas datileras jóvenes (1-20 años) y tan solo un par de productores experimentados (20+ años), estos últimos por años han mantenido sus buenas prácticas de producción, procesos poscosecha y empaque de manera privada, al considerarlas ventajas competitivas y barreras de entrada para sus actuales y futuros competidores, razón por la cual la mayor parte del conocimiento con el que se cuenta en la región, está limitado al establecimiento y mantenimiento de las palmas, es por ello que existe un desconocimiento de temas poscosecha, principalmente de los procesos que permiten mejorar y mantener la calidad del fruto, para así llevarlo a una presentación final listo para el consumo humano.

Se han realizado esfuerzos por parte del gobierno del estado a través de SEDAGRO (Secretaría de Desarrollo Agropecuario), así como del gobierno federal por medio de SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) por apoyar a los productores con capacitaciones que los ayuden a mejorar sus prácticas en el establecimiento de las palmas, con la finalidad de fomentar la inversión en el cultivo y evitar costosas consecuencias en sus huertas, de las que destaca la mortalidad parcial o total de los frutales, la cual ha sido frecuente en la región a lo largo de los años. Estos esfuerzos se presentan principalmente como apoyos financieros y entrenamientos impartidos por investigadores del INIFAP (Instituto Nacional de

Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias), los cuales a pesar de su plena dedicación tienen un corto tiempo estudiando y experimentando con el cultivo, es por esto que las capacitaciones se han enfocado en gran parte a la siembra y nutrición del frutal, sin abordar temas poscosecha como lo son el manejo, procesamiento y empaque del dátil.

Debido a la limitada experiencia de los productores e investigadores con el cultivo, la mayor parte del conocimiento que se utiliza en la región proviene de prácticas del medio oriente, estas se han recabado y compartido por décadas gracias al organismo de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), mismas que se deben adaptar para ser aplicadas en la región.

Los procesos a realizarse una vez que se cosecha el dátil dependerán principalmente de la etapa de maduración en la que se encuentre cada lote, así como de su contenido de humedad, evaluadas estas características el fruto pasará por los procesos poscosecha necesarios para corregir sus deficiencias, estos incluyen los procesos de: Fumigación, para prevenir y eliminar plagas existentes; Deshidratación, para reducir el contenido de humedad; Hidratación, para aumentar el contenido de humedad y Maduración artificial, para llevarlo a la etapa de maduración final. Concluidos estos procesos, se espera que el dátil esté listo para ser clasificado de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-FF-117-SCFI-2012 (Productos Alimenticios para Consumo Humano – Dátiles – Especificaciones), para posteriormente empacarlo, almacenarlo y comercializarlo.

La finalidad de este proyecto es investigar los distintos procesos poscosecha que realizan los principales productores (Región del medio oriente y Estados Unidos), buscando seleccionar los más viables para la región considerando su eficiencia, los requerimientos de equipo, infraestructura y capital, una vez seleccionados se realizarán diseños de experimentos, para definir los parámetros de operación que potencializan la variable de salida de cada uno de ellos. El objetivo de estos procesos será el de mejorar la calidad del dátil, logrando que la mayor parte de la cosecha sea apta para el consumo humano, permitiendo así que el productor aumente sus ingresos por kilogramo de fruto.

La aplicación de dicho proyecto se enfocará en una empresa en específico, esta se encuentra ubicada en la Colonia Pólvora del Valle de Mexicali en el estado de Baja California, y fue constituida en el año de 1997 como una sociedad mercantil bajo el nombre de Agropecuaria Primen S. de R.L. de C.V., dicha empresa cuenta con una superficie de 20 hectáreas, donde actualmente tienen más de 2100 palmas de variedad Medjool en diferentes etapas productivas.

En la temporada de 2017 esta huerta logró una producción superior a las 49 toneladas de dátil, con tan solo el 32% de sus frutales en plena producción, razón por la esta cantidad se seguirá incrementando a través de los años, hasta que la huerta en su totalidad alcance su pleno rendimiento. La empresa estima que la huerta tendrá una producción de 270 toneladas por año, una vez que las palmas alcancen su plena madurez.

Justificación

El proyecto está orientado a mejorar el sistema productivo actual en la empresa del caso de estudio, esto se logrará estableciendo los procesos poscosecha necesarios para mejorar la calidad del producto, de esta manera la compañía tendrá la capacidad de procesar de manera independiente su cosecha, permitiéndole llevar su producto hasta el consumidor final, el incursionar en estas áreas de la cadena de suministros les permitirá establecer una marca comercial propia, con la que se espera ingresen al mercado y aumenten sus utilidades.

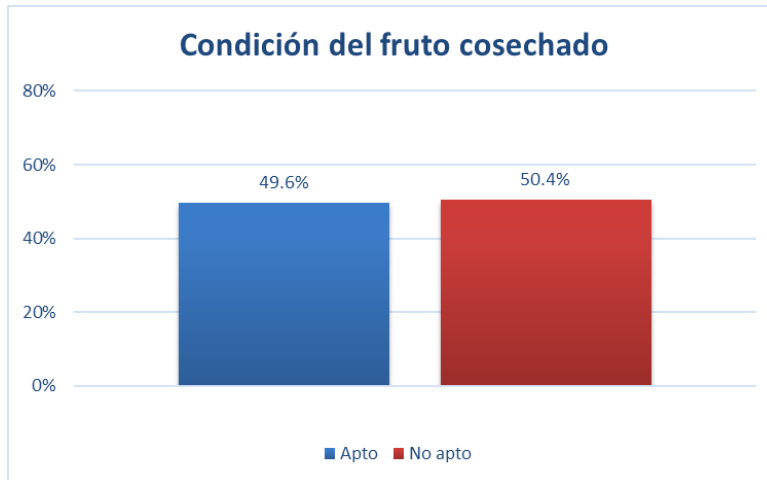


Figura 1. Proporción de dátil apto y no apto en la cosecha de 2017 y 2018

En el caso específico de la empresa del caso de estudio, durante la cosecha de los años 2017 y 2018 se tuvieron desperdicios y penalizaciones que representaron el 21% del ingreso bruto de la organización, en la figura 1 se aprecia que solamente el 49.6% del fruto cosechado se encuentra en la condición deseada por el cliente, mientras el resto del dátil requiere de algún procesamiento para mejorar su estado, debido a ello existen penalizaciones financieras por parte del comprador.

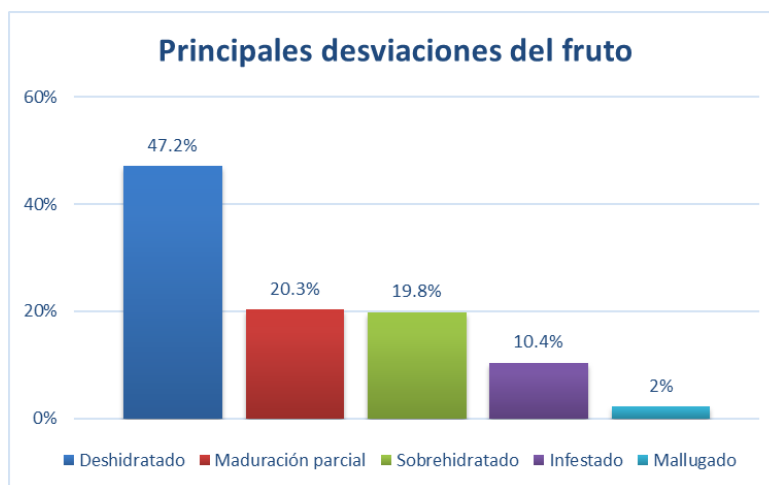


Figura 2. Principales desviaciones presentes en la cosecha de 2017 y 2018

Como se puede observar en la figura 2, la mayor área de oportunidad se encuentra en el producto deshidratado, posteriormente el fruto que no concluyó su maduración y

después el dátil sobre hidratado, el acumulado de estas desviaciones representa el 87% del total de la merma en la temporada, de contar con los procesos poscosecha esta misma fracción tiene el potencial de ser recuperado, finalmente los defectos restantes están relacionados a infestaciones por plagas y daños por manejo.

Planteamiento del problema

Actualmente existen tan solo tres empresas de la región con la capacidad de realizar los procesos poscosecha, estos incluyen la desinfección, hidratación, deshidratación y maduración artificial de dátil, estas organizaciones desarrollaron sus técnicas a lo largo de los años, y hasta la actualidad protegen los detalles específicos, al considerarlas barreras de entrada para los competidores.

Es por ello que es necesario evaluar los distintos métodos disponibles y realizar diseños de experimentos, esto permitirá identificar las variables y condiciones óptimas de operación para cada proceso, con la finalidad de mejorar la calidad del fruto. Previo a la inversión en este proyecto será necesario justificarlo financieramente, es por ello que es imprescindible realizar pronósticos de producción, así como calcular costos y beneficios, que permitan computar y presentar el ROI a los directivos de la empresa para su aprobación.

La principal dificultad de realizar dichos experimentos está en el limitado estado del arte sobre el tema, a pesar de existir múltiples investigaciones relacionadas a los procesos poscosecha, estas fueron desarrolladas para otras variedades de dátil, las cuales presentan características diferentes a las del Medjool; otro obstáculo importante es la disponibilidad de dátil para la experimentación, al solo existir una cosecha al año donde se cuenta con fruto en las condiciones necesarias para realizarla.

Objetivo

Definir los parámetros de operación óptimos para los procesos de hidratación, maduración artificial y deshidratación.

Realizar un análisis de factibilidad económica que justifique la inversión en un área de procesos pos-cosecha.

Preguntas de investigación

¿Cuáles son los parámetros de operación óptimos para los procesos poscosecha de dátil Medjool, que permitan reducir el porcentaje de desperdicios y obtener el mayor beneficio en las próximas temporadas?

¿Cuál es el retorno de inversión de implementar un área de procesos poscosecha para el manejo de dátil Medjool?

Hipótesis

H1: El establecer los niveles de operación óptimos para los procesos poscosecha permitirá a la empresa reducir el costo de los desperdicios, el cual en 2018 fue equivalente al 21% del ingreso bruto.

H2: La inversión en un área de procesos poscosecha permitirá a la empresa obtener un retorno de inversión mayor del 50% en un periodo de 5 años.

Marco Teórico

Procesos Poscosecha

El dátil a lo largo de su desarrollo pasa por diferentes etapas de maduración, estas están directamente relacionadas al contenido de humedad del fruto, es por ello que el momento ideal para cosechar el dátil es cuando este pasa por sus etapas de maduración, y llega de forma natural al contenido de humedad óptimo, el cual se encuentra en el rango de 26%-30% (Boubeki et al., 2010; Diboun et al., 2015). Sin embargo, esto es difícil de lograr debido al escalonamiento de la producción, una palma adulta arroja en promedio un total de 18 a 22 racimos, donde se desarrollarán aproximadamente entre 2700 a 4500 dátiles, estos al igual que los racimos emergieron de forma paulatina durante la temporada. Razón por la cual es necesario realizar de 3 a 4 recolecciones por palma para lograr una cosecha parcialmente homogénea (Awad et al., 2011; Navarro, 2006). El llevar a cabo acopios adicionales permitiría obtener dátiles más cercanos a su condición ideal, sin embargo, los costos principalmente de mano de obra hacen que esta no sea una práctica cotidiana en la región.

Considerando el escalonamiento natural de la producción, además del desprendimiento de frutos de manera prematura, es de esperarse que exista una cosecha con dátiles en diferentes etapas de maduración, y por consecuente con exceso o faltante de humedad interna. Es por esto que la primera tarea a ejecutar al recibir un lote de fruto será la de clasificarlo en conjuntos que presenten condiciones similares, el objetivo principal será el de identificar las agrupaciones que requieran: terminar su proceso de maduración, rehidratación debido a un contenido de humedad por debajo del 20% o deshidratación debido a un contenido de humedad superior al 30% (Boubeki et al., 2010; Diboun et al., 2015).

El llevar a cabo los procesos poscosecha de maduración artificial, rehidratación e hidratación tiene la finalidad de restablecer el fruto a su estado ideal para el consumo humano, previo a la realización de cualquiera de los procesos mencionados, es necesario realizar un proceso de desinfección para eliminar el crecimiento o propagación

de plagas, mismas que se introducen al fruto durante su permanencia en los racimos, en el caso de existir lotes infestados, es posible que estos se trasmitan a lotes aledaños deteriorando paulatinamente la calidad del producto, incluso hasta el punto donde el dátil ya no pueda ser utilizado, es de suma importancia verificar periódicamente los lotes de producto almacenado para evitar la propagación de cualquier tipo de plaga (Ashraf y Hamidi-Esfahani, 2011).

Proceso de deshidratación

Los dátiles necesitan ser deshidratados hasta el contenido óptimo de humedad para que preserven su calidad durante el manejo y almacenaje subsecuente, el porcentaje de humedad ideal para ser almacenado está entre el 24 y 25% (Falade et al., 2007; Doymaz et al., 2010). El secado puede ser descrito como el método de preservación industrial, en el cual el contenido de agua en frutas y vegetales es reducido por medio de aire caliente, para minimizar su deterioro bioquímico, químico y microbiológico (Doymaz e Ismail, 2010).

La temperatura y duración requerida para reducir el contenido de agua depende del tipo de dátil, uso y consistencia de la pulpa, las condiciones de secado tales como temperatura, humedad relativa y tiempo de secado afectaran el color, sabor, marchitez, separación de la piel y pulpa, y en general su aceptabilidad; la deshidratación es una operación que busca alcanzar una apropiada relación azúcar:agua, la cual deberá ser cerca de 2 para dátiles suaves, mayor de 2 para dátiles secos, y menor de 2 para dátiles muy suaves (Siddiq et al., 2014).

Secar excesivamente hasta una humedad menor al 20% debe ser evitado para que los dátiles se mantengan suaves y sean aptos para el consumo humano (Siddiq et al., 2014; Falade, 2007).

La deshidratación se logra al exponer los dátiles a aire caliente (< 70°C) dentro de un horno solar o industrial para evitar el oscurecimiento de los azúcares, para secar dátiles

suaves, se recomienda 54°C y 50% de humedad relativa, mientras que el tiempo de secado dependerá del contenido inicial de humedad (Siddiq et al., 2014).

Algunas veces la deshidratación se lleva a cabo de forma simultánea con la maduración artificial hasta que se alcanza un contenido de humedad seguro, este proceso se lleva a cabo comúnmente por medio de la recirculación de aire hasta que se acumula humedad, entonces se introduce desde el exterior aire precalentado a baja humedad. (Siddiq et al., 2014).

El método de deshidratación mecánica consta de pasar aire caliente a través de un túnel para evitar el cambio de color, y/o el deterioro de la textura de frutas secas (Wakil et al., 2015). El uso del secado con aire caliente es una opción viable para frutas y vegetales debido a la gran cantidad de alimento producido anualmente, el cual debe ser secado para su preservación, adicionalmente el proceso de secado no es afectado por factores climáticos (Doymaz e Ismail, 2010).

Proceso de maduración artificial

El estado de maduración en la cosecha es el factor más importante que determina la calidad final del producto y su vida en almacén, los frutos inmaduros son más susceptibles a arrugarse, así como a daños mecánicos, todos los frutos tropicales y subtropicales con algunas excepciones, alcanzan su mejor calidad cuando se les permite madurar completamente en la planta (Yahia y Kader, 2011). La maduración del dátil conlleva un proceso interno en el cual existe una disminución considerable del contenido de agua, un incremento del contenido de azúcares total, los cuales en su etapa final de maduración se separan principalmente en fructuosa y glucosa, esto provoca cambios físicos en el fruto haciéndolo más suave y de coloración café (Boubekri, 2010).

Los dátiles cosechados inmaduros para evitar daños por lluvias, insectos u otros factores necesitan ser madurados después de la recolección. En algunos países africanos donde el clima es caliente y el aire es suficientemente seco, los dátiles inmaduros son madurados a la intemperie (Siddiq et al., 2014). A pesar de que esta técnica es simple y

económica, la fruta expuesta está sujeta a condiciones adversas tales como la lluvia, tierra durante los vientos, ataques de aves, roedores, etc., y las condiciones de maduración no pueden ser controladas. (Siddiq et al., 2014; Doymaz e Ismail, 2010).

Las pruebas de campo realizadas en dátil Medjool dieron excelentes resultados, se aprovechó la energía solar para madurar estibas completas de fruto, estas fueron envueltas en fílmico transparente, dejando pequeñas aberturas en la parte superior para evitar la condensación, con estos ensayos se determinó que el tiempo de maduración se puede predecir con la fórmula $\ln(t) = 2K((\Sigma(t_{tmax})/n)+30)$ donde K es una constante con valor 152.2, $\Sigma(t_{tmax})/n$ es la temperatura máxima media dentro de la estiba, y t es el tiempo de maduración en horas (Navarro, 2006).

Para madurar en interior, los cuartos deben ser equipados con equipos que controlen la temperatura y humedad, y tengan una circulación de aire adecuado. La temperatura exacta y tiempo de maduración dependen del tipo de dátil, estado de maduración y condición cuando se cosechó. (Siddiq et al., 2014).

Se han desarrollado experimentos en laboratorio, con los que se pudo determinar que se necesitan hasta 156 horas para madurar dátiles de variedad Medjool a una temperatura mínima de 30°C, mientras que a 50°C este tiempo se reduce a tan solo 21 horas, se realizaron pruebas adicionales a 55°C sin embargo estas provocaron cambios en la coloración, e incluso separación de la piel del dátil, por lo que no es recomendable (Navarro, 2006).

La relación Temperatura-Tiempo para madurar dátil Medjool se puede describir con la fórmula $K=T.\ln(t)$, donde K es una constante con valor 152.2, T es la temperatura de maduración en °C, y t es el tiempo de maduración en horas (Navarro, 2006).

Proceso de Hidratación

La hidratación se lleva a cabo en frutos que se secaron por permanecer demasiado tiempo en el frutal, debido a un almacenaje extenso o por una irrigación

inadecuada (Ashraf y Hamidi-Esfahani, 2011; Al-Khayri et al., 2015). La finalidad de este proceso es tratar dátiles secos para que estos retomen su textura suave, a través de una ganancia de humedad y la inversión de sus azúcares (Demiray y Tulek, 2017; Boubekri, 2010).

El método más común para realizar la hidratación es utilizando vapor saturado a baja presión (Ashraf y Hamidi-Esfahani, 2011). En los Estados Unidos, los dátiles son hidratados al exponerlos a vapor a 60°C por 4 a 8 horas (Al-Khayri et al., 2015). El periodo de hidratación dependerá del grado de disrupción celular y estructural del fruto (Falade y Abbo, 2007). El proceso se caracteriza por comenzar con una tasa de absorción alta inicialmente, la cual disminuye cuando el fruto se encuentra cerca de su punto de equilibrio, este comportamiento es debido a la rápida rehidratación de cavidades superficiales (Demiray y Tulek, 2017). Se ha comprobado experimentalmente que las altas temperaturas mejoran la rehidratación debido al efecto de la temperatura en las paredes celulares y el tejido (Doymaz e Ismail, 2010).

Los productos también pueden ser rehidratados al sumergirlos en agua y otros líquidos, tales como jugo de frutas, soluciones de sacarosa o glucosa; existen distintos factores que afectan la rehidratación, dentro de los intrínsecos está la composición química del producto, la formulación del producto, método de secado y su condición actual, mientras que dentro de los factores extrínsecos destaca la composición del fluido de rehidratación, la temperatura y su condición hidrodinámica (Demiray y Tulek, 2017; Boubekri, 2010).

Se realizaron experimentos donde se sumergieron dátiles de variedad Deglet Nour en agua a 25, 45 y 65°C por 6 horas, los resultados demostraron que el aumento de temperatura incrementa la tasa de humidificación del fruto, esto a su vez provoca que exista una inversión de los azúcares, lo que confirma que el calor promueve la hidrólisis de la sacarosa en glucosa y fructuosa; se concluyó que la temperatura de 45°C obtuvo los mejores resultados al restablecer la suavidad del fruto, y al obtener el balance perfecto respecto al contenido de azúcar (Boubeki et al., 2010).

Análisis de Factibilidad

Para cualquier intercambio el valor del dinero en el presente se convierte en otra cantidad en el futuro, teniendo en cuenta los efectos de las circunstancias que ocurran durante el tiempo transcurrido; en otras palabras, de manera ideal, es la cantidad de dinero que se debe aplicar o disponer en el presente para generar una mayor cantidad en el futuro, pudiendo deberse a un interés (aumento) o decremento (inflación o devaluaciones de la moneda) (Alvarado, 2014).

Método del valor presente/actual neto

“El VAN es un método utilizado para evaluar alternativas de inversión de capital, mediante la obtención del valor actual de los flujos de caja futuros que se estima que generará el proyecto, descontando a un costo de oportunidad o tasa de rendimiento requerida” (Chu, 2016).

“El monto que deberíamos invertir hoy se llama valor presente (VP) o valor actual (VA) de la inversión” (Martínez, 2017).

$$VP = VF (1 + r)^n$$

Las abreviaturas significan lo siguiente: VP- valor presente, VF- valor futuro, r- tasa de interés y n- número de periodos (Martínez, 2017).

Pronóstico con promedio móvil doble

El principio detrás el promedio móvil es que las observaciones que están cercanas unas de otras también tienen valores similares. Así que el promediar los periodos cercanos históricamente proveerá una buena estimación de tendencias próximas. El procedimiento crea nuevos promedios conforme se agregan nuevas observaciones, y a su vez descarta los valores más viejos (Chase,2013).

“Como solo usa datos recientes para el pronóstico, un promedio móvil responde al cambio en el proceso de una manera más rápida. Sea N el número de periodos que se quieren considerar en el promedio móvil y M_t el valor del promedio móvil” (Sipper et al., 2005).

“El método consiste en calcular un conjunto de promedios móviles y en seguida se calcula un segundo conjunto como promedio móvil del primero. Este método se utiliza para realizar pronósticos de series que tienen una tendencia lineal, ya que éste método maneja mejor la tendencia lineal que el “Método del Promedio Móvil Simple” el cual presenta un rezago respecto de la serie original en estos casos. La siguiente expresión es la ecuación con la cual se calcula el primer promedio móvil” (Franco,2014).

$$M_t = \frac{X_t + X_{t-1} + X_{t-2} + \dots + X_{t-n+1}}{n}$$

“Con la siguiente expresión se calcula el segundo promedio móvil” (Franco, 2014).

$$M'_t = \frac{M_t + M_{t-1} + M_{t-2} + \dots + M_{t-n+1}}{n}$$

“La siguiente expresión se utiliza para calcular la diferencia entre los dos promedios móviles” (Franco, 2014).

$$a_t = 2M_t - M'_t$$

“La siguiente ecuación es un factor adicional de ajuste” (Franco, 2014).

$$b_t = 2 \frac{M_t - M'_t}{n - 1}$$

“La siguiente expresión es la que se utiliza para calcular el pronóstico para p periodos hacia el futuro” (Franco, 2014).

$$P_{t+p} = a_t b_t p$$

“En donde n es el número de periodos en el promedio móvil y p es el número de periodos a pronosticar” (Franco,2014).

Cálculo de retorno de inversión

“Las fórmulas presentadas en este capítulo usan valores anualizados de tal manera que el impacto de las inversiones pueda ser calculado para proyectos de corto plazo. Utilizar valores anualizados se ha convertido en una práctica aceptable para calcular el ROI en diferentes organizaciones. Esta aproximación es una forma conservadora del ROI, ya que muchos proyectos de corto plazo tienen ingresos en el segundo y tercer año. Para proyectos de largo plazo, es necesario utilizar intervalos más extensos” (Phillips y Phillips, 2007).

“Quizás la fórmula más apropiada para evaluar proyectos de inversión es dividir los beneficios del programa entre los costos. Esta es el ROI tradicional en finanzas y está directamente relacionado al BCR (Benefit/Cost ratio). La proporción ROI se expresa usualmente como un porcentaje donde el valor fraccional se multiplica por 100, la fórmula es:

$$ROI(\%) = \frac{\textit{Beneficio neto del proyecto}}{\textit{Costos del proyecto}} \times 100$$

Un ROI de 150% en un proyecto indica que los costos fueron recuperados y adicionalmente se obtuvo 1.5 veces la inversión” (Phillips y Phillips, 2007).

La ecuación básica del ROI puede ser utilizada para proyectos con retorno inmediato, típicamente menores a un año. Pero para esos proyectos que producen beneficios después de un año, que incluye la mayoría de nuestros proyectos, la fórmula del ROI debe incorporar el valor del dinero en el tiempo (Resch, 2011).

Metodología

Se desarrollaron diseños de experimentos para evaluar y establecer los parámetros de operación óptimos de los procesos de hidratación, maduración artificial y deshidratación, el programa empleado para la creación y evaluación del diseño de experimentos fue Minitab 17, se utilizó un nivel de confianza del 95%, el procedimiento que se llevó a cabo es el siguiente:

1. Selección de método de experimentación.
2. Selección de variables a evaluar.
3. Materiales y equipos para crear condiciones de experimento.
4. Creación de diseño factorial y experimentación.
5. Análisis de varianza.
6. Aislamiento de factores e interacciones estadísticamente no significativas.
7. Confirmación de factores e interacciones.
8. Análisis de normalidad y residuales.

Posteriormente se desarrolló un análisis de factibilidad económica, este consideró las inversiones necesarias para instalar y operar un área de procesos poscosecha, así como los beneficios financieros que esta brindaría a la empresa, el periodo de evaluación consideró los próximos 5 años de operación, la metodología es la siguiente:

1. Estimación de producción futura.
2. Cálculo de proporción por proceso.
3. Creación de listado de equipos, instrumentos y consumibles.
4. Definición de restricciones y consideraciones para cálculo.
5. Cálculo de valor presente neto de inversiones requeridas.
6. Cálculo de valor presente neto de ingreso adicional.
7. Cálculo de retorno de inversión.

Desarrollo de diseños de experimentos

1. Selección de método de experimentación

En esta etapa se evaluaron los diferentes métodos mencionados en el marco teórico, la finalidad es seleccionar el procedimiento que será utilizado para realizar la experimentación, esta valoración deberá efectuarse para cada uno de los procesos poscosecha, se crearon tablas donde se asignaran valores del 1 al 10 según los criterios del anexo A, se efectuará una sumatoria de los valores para auxiliar en la selección del método, los criterios a evaluar son: Eficacia del método, tiempo de exposición requerido, disponibilidad de equipo en el mercado, inversión requerida para la experimentación e inocuidad del método

2. Selección de variables a evaluar

Esta fase implica evaluar las diferentes variables existentes dentro del método seleccionado, esto deberá realizarse para cada uno de los procesos, la finalidad de la etapa es elegir por lo menos dos variables a controlar, así como la variable de salida con la que se medirá la respuesta de la experimentación. Al igual que en el paso anterior se crearán tablas donde se asignarán valores del 1 al 10 según los criterios del anexo A, se efectuará una sumatoria de los valores para auxiliar en la selección.

Los criterios de selección consideraran principalmente la experiencia de autores previos, así como la disponibilidad de equipo para manipular y medir la variable de interés, para este último es importante destacar que está enfocado en el presupuesto disponible.

3. Materiales y equipos para crear condiciones de experimento

La etapa consiste en seleccionar los equipos que permitan realizar cada experimento de manera satisfactoria, su funcionamiento facilitará el control de las variables de interés, así como la medición precisa de la respuesta. Se crearán tablas donde se declaren las

características consideradas, sus requerimientos específicos y equipos seleccionados para cada uno de ellos.

4. Creación de diseño factorial y experimentación

Ingresando el número de factores, niveles y réplicas, Minitab nos genera una tabla con un orden aleatorio que se debe seguir durante el experimento, una vez obtenidos los datos, se descargan las observaciones correspondientes en el programa.

5. Análisis de varianza

En este paso se analizan cuales factores e interacciones son estadísticamente significativas, primeramente se evaluará la interacción entre los factores, esto se podrá determinar al observar el P-Value resultante, si este es mayor al nivel de significancia ($\alpha=0.05$) nos indica que no existe una interacción entre ellos, por lo que deberemos verificar el P-Value de cada factor por separado, nuevamente un P-Value superior al nivel de significancia ($\alpha=0.05$) indica que no existe un efecto estadísticamente significativo en la variable de salida.

6. Aislamiento de factores e interacciones estadísticamente no significativas

En caso de ser necesario, en esta etapa se eliminan factores e interacciones que no fueron estadísticamente significativas, con la intención de agregar grados de libertad al análisis de las variables de mayor injerencia en el resultado. Una vez realizado el recorte de variables se deberá ejecutar nuevamente el análisis factorial, por ello es necesario verificar el P-Value resultante, esto para confirmar que todos los factores e interacciones reevaluadas siguen siendo estadísticamente significativos.

7. Confirmación de factores e interacciones

Se procede a generar los gráficos de contorno o superficie que representan la interacción de los factores, y sus diferentes niveles con la variable de salida. Adicional a ello en esta etapa el programa nos arroja la ecuación de regresión final, con esta podemos ingresar distintos valores para cada factor, y así estimar la respuesta que obtendremos en la variable de salida en diferentes escenarios.

8. Análisis de normalidad y residuales

Se generan gráficas de normalidad y residuales en Minitab, la primera permite evaluar de manera visual, que los valores obtenidos del experimento se apegan a una distribución normal, la función de la segunda es verificar que la varianza se mantuvo constante a lo largo de las observaciones, lo cual sustenta que hubo una aleatoriedad en la muestra los datos.

Análisis de factibilidad económica

1. Estimación de producción futura

Este primer paso es esencial para dimensionar correctamente el análisis, donde utilizando los datos de producción de los periodos 2013-2018, se estimará el rendimiento esperado para las temporadas 2019-2023, esto se realizará en una hoja de cálculo empleando el método de promedio móvil doble.

2. Cálculo de proporción por proceso

En esta sección se calculará la proporción del fruto que requerirá cada proceso poscosecha, para esto se utilizó el rendimiento estimado de las temporadas 2019-2023, así como los porcentajes de desviación presentados inicialmente en la figura 2, este paso se realizará en una hoja de cálculo.

3. Creación de listado de equipos, instrumentos y consumibles

Considerando el volumen de producción estimado, así como las condiciones de operación de cada proceso, crear un listado de los equipos, instrumentos y consumibles necesarios para iniciar y ejecutar un área de procesos poscosecha.

4. Definición de restricciones y consideraciones para cálculo

Previo al cálculo de la inversión, será necesario generar un listado con las restricciones y consideraciones hechas para llevarlo a cabo, estas incluirán datos como: Temperatura media durante la época de cosecha, duración de cosecha en días, tipo de cambio peso-dólar, consumo energético de equipos, costo de energéticos, características térmicas del envoltorio, así como datos específicos para cada proceso poscosecha.

5. Cálculo de valor presente neto de inversiones requeridas

En este paso se llevarán los costos de inversión y operación de las temporadas 2019-2023 al valor actual, para realizar esta operación se utilizará una hoja de cálculo y el método de valor presente neto, la tasa de interés que se empleó fue del 5%, lo cual corresponde a la inflación alcanzada en los años recientes en México.

6. Cálculo de valor presente neto de ingreso adicional

En esta etapa se llevarán los ingresos adicionales de las temporadas 2019-2023 al valor actual, para realizar esta operación se utilizará una hoja de cálculo y el método de valor presente neto, el beneficio adicional por procesar el fruto está estimado en 1.10 dólares por kilogramo, la tasa de interés que se empleó fue del 5%, lo cual corresponde a la inflación alcanzada en los años recientes en México.

7. Cálculo de retorno de inversión

La etapa final de este análisis consiste en aplicar la fórmula de retorno de inversión, el resultado del cálculo nos permite evaluar financieramente la viabilidad del proyecto, para realizar el computo es necesario ingresar el valor presente neto de la inversión y del ingreso adicional esperado.

Resultados

Diseños de experimentos

1. Selección de método

Proceso de hidratación

Tabla 1. Comparativa de métodos para proceso de hidratación.

Método	Eficacia	Tiempo de exposición	Disponibilidad	Costo	Inocuidad	Total
Vapor saturado a baja presión	10	5	5	5	5	30
Sumergir en agua o soluciones	10	1	5	5	5	26

En la tabla 1 se pueden observar los resultados de la evaluación de los distintos métodos disponibles, con ella se determinó que el proceso de hidratación se realizará utilizando vapor saturado a baja presión, al aplicar este método se espera que el contenido de agua en el fruto incremente, visualmente el producto aumentará en dimensiones y tendrá una consistencia más suave.

Proceso de deshidratación y maduración

Debido a la similitud de las condiciones necesarias para deshidratar y madurar artificialmente el fruto, se optó por realizar el experimento en conjunto como lo menciona Siddiq et al., en 2014.

Tabla 2. Comparativa de métodos para proceso de deshidratación y maduración.

Método	Eficacia	Tiempo de exposición	Disponibilidad	Costo	Inocuidad	Total
Horno solar o industrial	10	10	10	1	10	41
Mecánico (Flujo forzado)	10	10	10	10	5	45
Intemperie	5	5	10	10	1	31
Estibas en fílmico	5	10	10	10	5	40

En la tabla 2 se pueden observar los resultados de la evaluación de los distintos métodos disponibles, con ella se determinó que el proceso de deshidratación y maduración artificial se realizará utilizando el método mecánico.

2. Selección de variables a evaluar

De acuerdo a las tablas 3 y 4 el diseño factorial constará de dos factores, las variables seleccionadas fueron la temperatura del espacio controlado y el tiempo de permanencia, la respuesta que se eligió fue el incremento porcentual de peso.

Proceso de hidratación

Tabla 3. Comparativa de variables de entrada para proceso de hidratación.

Variables de entrada	Experiencia de autores previos	Disponibilidad de equipo	Total
Temperatura espacio (°C)	10	10	20
Tiempo (min)	10	10	20
Presión (Kpa)	5	5	10

Tabla 4. Comparativa de variables de salida para proceso de hidratación.

Variable de salida	Experiencia de autores previos	Disponibilidad de equipo	Total
Incremento de peso (%)	10	10	20
Proporción azúcar:agua	10	1	11
Reducción de dureza (%)	5	1	6

Proceso de deshidratación y maduración

De acuerdo a las tablas 5 y 6 el diseño factorial constará de dos factores, las variables seleccionadas fueron la temperatura de aire de entrada y el tiempo de permanencia, estos coinciden con los experimentos realizados por Navarro en 2006, la variable de salida elegida fue la disminución porcentual de peso.

Tabla 5. Comparativa de variables de entrada para proceso de deshidratación y maduración.

Variables de entrada	Experiencia de autores previos	Disponibilidad de equipo	Total
Temperatura (°C)	10	10	20
Humedad Relativa (%)	10	5	15
Tiempo (min)	10	10	20
Velocidad del aire (m/s)	5	10	15

Tabla 6. Comparativa de variables de salida para proceso de deshidratación y maduración.

Variable de salida	Experiencia de autores previos	Disponibilidad de equipo	Total
Reducción de peso (%)	10	10	20
Cambio de coloración	10	1	11
Proporción azúcares (Sacarosa, glucosa y fructosa)	10	1	11

3. Materiales y equipos para crear condiciones de experimento

Proceso de hidratación

El equipo seleccionado para el proceso de hidratación se presenta en la tabla 7, este exhibe algunas limitantes de operación, por lo que el diseño factorial tendrá 2 niveles, los rangos de operación utilizados para la temperatura fueron 30 y 60°C, mientras el tiempo de exposición fue de 60 y 180 minutos.

Tabla 7. Tabla de selección de equipos y materiales para proceso de hidratación.

Característica	Requerimiento	Equipo/Material seleccionado
Temperatura	Control de temperatura entre 30 y 60°C	Generador de vapor modelo QFH190536
Variación de peso	Evaluar pesos entre 10 y 25 gramos, precisión de 0.1 gramos	Báscula digital modelo TRITON T2, marca MyWeigh
Espacio	Volumen controlado que aislé al fruto de otros factores	Estructura plástica recubierta de polietileno de espesor 0.5mm (Volumen 0.17m ³)
Fruto	Dátil en etapa de maduración Tamr deshidratado	N/A

Proceso de deshidratación y maduración

El equipo seleccionado para el proceso de deshidratación y maduración se presenta en la tabla 8, este tiene algunas limitantes de operación, por lo que el diseño factorial tendrá 2 niveles, la temperatura fluctuará entre 35 y 55°C, mientras el tiempo de exposición será de 24 y 48 horas.

Tabla 8. Selección de equipos y materiales para proceso de deshidratación y maduración.

Característica	Requerimiento	Equipo/Material seleccionado
Temperatura	Control de temperatura entre 30 y 55°C	Deshidratador modelo SX-770
Variación de peso	Evaluar pesos entre 10 y 25 gramos, precisión de 0.1 gramos	Báscula digital modelo TRITON T2, marca MyWeigh
Espacio	Volumen controlado que aislé al fruto de otros factores	Deshidratador modelo SX-770
Fruto	Dátil en etapa de maduración Rutab	N/A

4. Creación de diseño factorial y experimentación

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Temperatura	Tiempo
1	3	1	1	1	30	48
2	5	2	1	1	30	24
3	6	3	1	1	55	24
4	4	4	1	1	55	48
5	2	5	1	1	55	24
6	7	6	1	1	30	48
7	8	7	1	1	55	48
8	1	8	1	1	30	24

Figura 3. Tabla ANOVA para proceso de deshidratación y maduración.

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Temp	Tiempo
1	1	1	1	1	30	60
2	7	2	1	1	30	180
3	8	3	1	1	60	180
4	4	4	1	1	60	180
5	3	5	1	1	30	180
6	5	6	1	1	30	60
7	2	7	1	1	60	60
8	6	8	1	1	60	60

Figura 4. Tabla ANOVA para proceso de hidratación.

Las figuras 3 y 4 muestran la secuencia que fue generada por el programa para cada proceso poscosecha, en las columnas C5 y C6 de las tablas se pueden observar las diferentes combinaciones de niveles, el orden deberá respetarse para garantizar la aleatoriedad del experimento, se consideraron dos réplicas para verificar la reproducibilidad de los resultados.

Una vez obtenidas las tablas de ANOVA, se realizaron los experimentos en el orden establecido, al concluir se descargaron los resultados en Minitab para comenzar con el análisis de varianza.

5. Análisis de varianza

Proceso de hidratación

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	151.453	50.4842	181.16	0.000
Linear	2	32.013	16.0064	57.44	0.001
Temp	1	2.490	2.4900	8.94	0.040
Tiempo	1	2.360	2.3598	8.47	0.044
2-Way Interactions	1	11.956	11.9561	42.90	0.003
Temp^Tiempo	1	11.956	11.9561	42.90	0.003
Error	4	1.115	0.2787		
Total	7	152.567			

Figura 5. Análisis de varianza para proceso de hidratación.

El análisis factorial en la Figura 5 nos confirma que ambos factores, así como la interacción entre ellos son estadísticamente significativos, esto se puede afirmar ya que el P-Value de todos ellos se encuentra por debajo del nivel de significancia ($\alpha=0.05$).

Debido a la jerarquía de la interacción sobre los factores individuales, será necesario recortar a estos últimos para realizar el análisis final en la siguiente etapa.

Proceso de deshidratación y maduración artificial

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	25.3057	8.4352	39.59	0.002
Linear	2	24.9141	12.4571	58.47	0.001
Temperatura	1	16.7331	16.7331	78.54	0.001
Tiempo	1	8.1810	8.1810	38.40	0.003
2-Way Interactions	1	0.3916	0.3916	1.84	0.247
Temperatura*Tiempo	1	0.3916	0.3916	1.84	0.247
Error	4	0.8522	0.2131		
Total	7	26.1580			

Figura 6. Análisis de varianza para proceso de deshidratación y maduración.

El análisis presentado en la Figura 6 nos confirma que no existe una interacción estadísticamente significativa entre los factores de temperatura y tiempo, esto se concluye al observar que el P-Value de esta es 0.247 lo cual supera el nivel de significancia ($\alpha=0.05$), posteriormente se verificó el efecto de los factores individuales en la variable de salida, los resultados indican que de forma independiente la temperatura y el tiempo tienen un efecto significativo sobre el porcentaje de reducción peso.

6. Aislamiento de factores e interacciones estadísticamente no significativas

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	1	119.440	119.440	21.63	0.003
2-Way Interactions	1	119.440	119.440	21.63	0.003
Temp*Tiempo	1	119.440	119.440	21.63	0.003
Error	6	33.128	5.521		
Lack-of-Fit	2	32.013	16.006	57.44	0.001
Pure Error	4	1.115	0.279		
Total	7	152.567			

Figura 7. Análisis de varianza recortado para proceso de hidratación.

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	2	24.9141	12.4571	50.07	0.000
Linear	2	24.9141	12.4571	50.07	0.000
Temperatura	1	16.7331	16.7331	67.26	0.000
Tiempo	1	8.1810	8.1810	32.89	0.002
Error	5	1.2439	0.2488		
Lack-of-Fit	1	0.3916	0.3916	1.84	0.247
Pure Error	4	0.8522	0.2131		
Total	7	26.1580			

Figura 8. Análisis de varianza recortado para proceso de deshidratación y maduración.

Se puede observar en las figuras 7 y 8, que el recorte de factores e interacciones no modificó las afirmaciones realizadas en el paso anterior, razón por la que el posterior análisis solo considerará estos factores e interacciones.

7. Confirmación de factores e interacciones

Proceso de hidratación

Considerando la interacción de los factores estadísticamente significativos, la ecuación de regresión que predice el comportamiento de la variable de salida es la siguiente:

$$\% \text{Increm} = 0.41 + 0.001147 \text{ Temp} * \text{Tiempo}$$

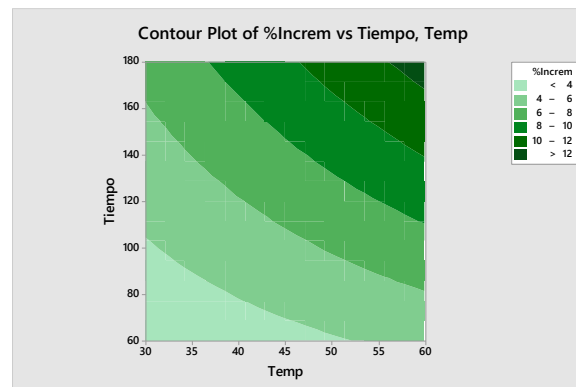


Figura 9. Gráfica de contorno para proceso de hidratación.

Como se puede observar en la figura 9, existen diferentes combinaciones de temperatura y tiempo que alcanzan el mayor porcentaje de hidratación, sin embargo, los valores que permiten maximizar la respuesta requieren temperaturas entre los 56 y 60 °C, y un tiempo de permanencia de 170 a 180 minutos.



Imagen 1. Dátiles deshidratados, previo a proceso de hidratación.



Imagen 2. Dátiles deshidratados, posterior a proceso de hidratación.

Las imágenes 1 y 2 nos muestran el antes y después del proceso de hidratación, es claro como el fruto recupera volumen, peso y apariencia cosmética, a su vez la textura del mismo se torna más suave, es posible extender el tiempo de hidratación para que estas características continúen mejorando.

Proceso de deshidratación y maduración

Considerando los factores estadísticamente significativos, la ecuación de regresión que puede predecir el comportamiento de la variable de salida es la siguiente:

$$\%Reduc = -3.435 + 0.1157 \text{ Temperatura} + 0.0843 \text{ Tiempo}$$

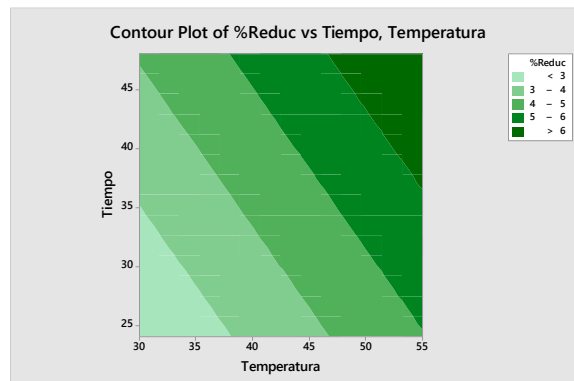


Figura 10. Gráfica de contorno para proceso deshidratación y maduración.

Como se puede observar en la figura 10, existen distintas combinaciones de temperatura y tiempo que permiten alcanzar el máximo porcentaje de deshidratación, sin embargo, estas por lo general requieren temperaturas entre los 47 y 55 °C, y un tiempo de permanencia de 37 a 48 horas.



Imagen 3. Dátiles previo a proceso de deshidratación y maduración.



Imagen 4. Dátiles posterior a proceso de deshidratación y maduración.

El antes y después del proceso de deshidratación y maduración se pueden observar en las imágenes 3 y 4, es claro como el fruto pierde humedad, por lo que tiende a reducir su volumen, a su vez la piel se arruga, la maduración se alcanza satisfactoriamente ya que existe un cambio de coloración de amarillo a marrón, mismo que es característico de la etapa tamr.

8. Análisis de normalidad y residuales

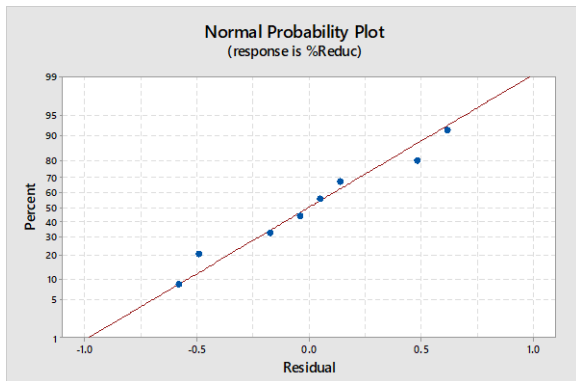


Figura 11. Gráfica de normalidad para observaciones de proceso de deshidratación y maduración.

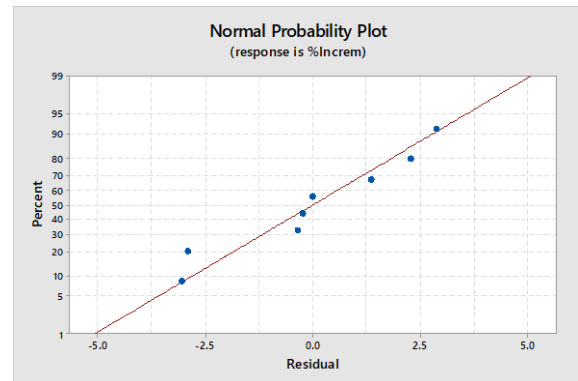


Figura 12. Gráfica de normalidad para observaciones de proceso de hidratación.

Se observa claramente en las gráficas de normalidad (Ver figuras 11 y 12), que los valores están ordenados de acuerdo al supuesto de una distribución normal, la mayor parte de las observaciones se encuentran cercanas al eje, y no existen valores atípicos.

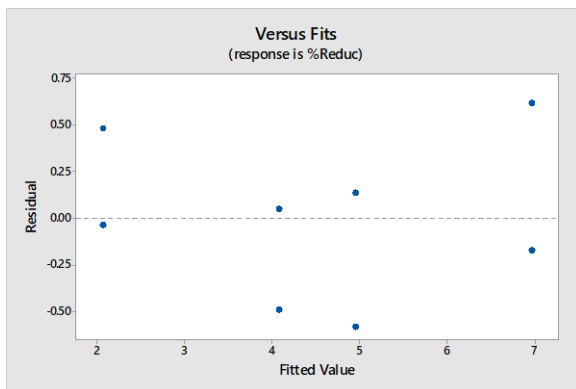


Figura 13. Gráfica de residuales para proceso de deshidratación y maduración.

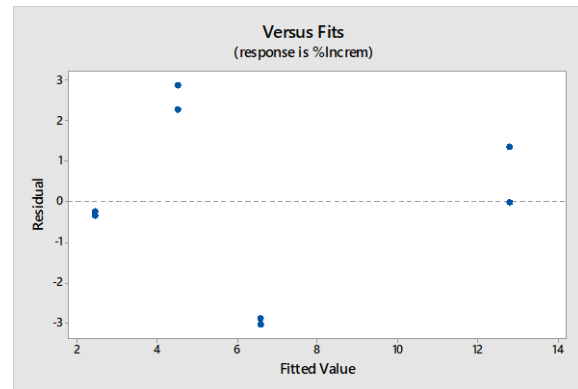


Figura 14. Gráfica de residuales para proceso de hidratación.

Las gráficas de residuales de los experimentos (Ver figuras 13 y 14) nos confirman que la varianza se mantuvo relativamente constante a lo largo de las observaciones, lo cual sustenta que hubo una aleatoriedad en los datos.

Análisis de factibilidad económica

1. Estimación de producción futura

La figura 15 nos muestra el resultado de aplicar el método de promedio móvil doble, en esta se observa la producción estimada de los próximos 5 años para la empresa, donde se puede apreciar que para el año 2023 el rendimiento habrá incrementando en un 60%.



Figura 15. Producción de dátil estimada para temporadas 2018-2023.

2. Cálculo de proporción por proceso

En la figura 16 se puede observar, la fracción de producción que se estima presente oportunidades de calidad, en cada año podemos contemplar la cantidad específica de kilogramos por deficiencia, estas cantidades requerirán de los procesos poscosecha para mejorar su calidad, de lo contrario, el monto por penalizaciones que recibe la empresa por año seguirá incrementando.



Figura 16. Desviaciones de calidad estimadas para temporadas 2019-2023.

3. Creación de listado de equipos, instrumentos y consumibles

El listado mostrado en la tabla 9, incluye los puntos principales para iniciar y operar un área de procesos poscosecha, los equipos seleccionados permiten alcanzar y monitorear las condiciones de operación identificadas anteriormente, estos cuentan con la capacidad para satisfacer la demanda esperada en las próximas 5 temporadas.

Tabla 9. Listado de equipos, instrumentos y consumibles necesarios para iniciar y operar un área de procesos poscosecha.

Categoría	Proceso de hidratación	Proceso de deshidratación y maduración
Equipos e instrumentos	Generador de vapor de agua (Fulton, Modelo: 15J)	Calefactor (Dyna-Glo, Model: RMC-FA300DGD)
	Higrómetro	Ventilador (Commercial Electric, Modelo: BF42BDCE)
	Termómetros	
	Tanque estacionario (Tatsa, Modelo: 000231010002000)	
Energéticos	Gas LP	
Infraestructura	Contenedor aislado 20'	
Mano de obra	Operadores	
Otros	Instalación y contingencia	

4. Definición de restricciones y consideraciones para cálculo

La tabla 10 presenta un listado de restricciones y consideraciones, estas fueron la base para calcular los costos de operación del área de procesos poscosecha.

Tabla 10. Listado de restricciones y consideraciones generales para procesos poscosecha.

Generales	Proceso de hidratación	Proceso de deshidratación y maduración
Temp. media externa: 85 °F	Tiempo de proceso: 6 horas	Tiempo de proceso: 48 horas
Días de cosecha: 40	Temperatura inicial: 85°F	Temperatura inicial: 85°F
Tipo de cambio Peso-Dll: 18.5	Temperatura final: 140°F	Temperatura final: 131°F
Ingreso adicional: 1.10 dlls/kg	Consumo gas lp: 17.76 litros/hr	Consumo gas lp: 12.38 litros/hr
	Costo por litro de gas lp: 11.4 pesos/l	Costo por litro de gas lp: 11.4 pesos/l
		Contenedor 20': -Área de paredes: 1967 ft ³ -Conductividad térmica: 0.03 Btu/(hr ft °F)

5. Cálculo de valor presente neto de inversiones

La primera parte de esta etapa requiere calcular los costos de instalación y operación de los equipos, instrumentos y consumibles declarados en la tabla 9, el resultado de ello se presenta en la figura 17, donde se aprecia que la mayor inversión será durante el primer año, a partir del cual permanecen algunos costos variables.



Figura 17. Costos de instalación y operación de área de procesos poscosecha 2019-2023.

La figura 18 muestra el cálculo para obtener el monto de las inversiones a valor actual, la fila 11 contiene la cantidad original por año, mientras la fila 14 presenta el monto después de aplicar el método de valor presente neto, sobre la misma línea se observa el

valor de interés, el cual es de 45,432.60 dlls, este representa los costos de instalar y operar el área de procesos poscosecha en las temporadas 2019-2023.

5	Column1	2019	2020	2021	2022	2023	
6	Capacidad	66650	66650	66650	66650	66650	
7	Incremento	0	0	0	0	0	
8	Demanda	20525	23568	24708	27131	29596	
9	V Perdidas	0	0	0	0	0	
10							
11	Inversión	\$35,527	\$2,858	\$2,860	\$2,864	\$2,868	
12	n - Inversión		1.5	2.5	3.5	4.5	
13	NPV- Inversión		0.929	0.885	0.843	0.803	Inversión Total
14	NPV - \$Inversión	\$35,527	\$2,656	\$2,532	\$2,414	\$2,302	\$45,431.60
15							
16	V Perdida	0	0	0	0	0	
17	\$ V Perdidas	0	0	0	0	0	
18	n - V Perdidas	0	1.5	2.5	3.5	4.5	
19	NPV - V Perdidas	0	0.929	0.885	0.843	0.803	NPV - V Perdidas Total
20	NPV - \$ V Perdidas	0	0	0	0	0	-

Figura 18. Cálculo de valor presente neto de inversiones requeridas en 2019-2023.

6. Cálculo de valor presente neto de ingreso adicional

La figura 19 muestra el cálculo para obtener el monto de ingreso adicional a valor actual, la fila 41 contiene la cantidad original por año, mientras la fila 45 presenta el monto después de aplicar el método de valor presente neto, sobre la misma línea se observa el valor de interés, el cual es de 119,974.69 dlls, este representa el beneficio que la empresa obtendría por procesar la totalidad del fruto en las temporadas de 2019-2023.

30		2019	2020	2021	2022	2023	
31	Capacidad						
32	Incremento	0	0	0	0	0	
33	Demanda	20525	23568	24708	27131	29596	
34	V Perdidas	(20525)	(23568)	(24708)	(27131)	(29596)	
35							
36	Inversión		\$0	\$0	\$0	\$0	
37	n - Inversión		1.5	2.5	3.5	4.5	
38	NPV- Inversión		0.929	0.885	0.843	0.803	Inversión Total
39	NPV - \$Inversión		\$0	\$0	\$0	\$0	-
40							
41	V Perdida	\$ 20,525	\$ 23,568	\$ 24,708	\$ 27,131	\$ 29,596	
42	\$ V Perdidas	\$ 22,578	\$ 25,925	\$ 27,179	\$ 29,844	\$ 32,555	
43	n - V Perdidas	0	1.5	2.5	3.5	4.5	
44	NPV - V Perdidas	0	0.929	0.885	0.843	0.803	NPV - V Perdidas Total
45	NPV - \$ V Perdidas	\$ 20,525	\$ 24,095	\$ 24,058	\$ 25,159	\$ 26,138	\$ 119,974.69

Figura 19. Cálculo de valor presente neto de ingreso adicional en 2019-2023.

7. Cálculo de retorno de inversión

El análisis de factibilidad económica se concluye realizando el cálculo de retorno de inversión, en este se utiliza el valor presente de neto de las inversiones y el ingreso adicional, como se muestra a continuación:

$$ROI = \frac{\text{Ingreso adicional} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}} = \frac{119,974.69 - 45,431.60}{45,431.60} = \mathbf{164\%}$$

El resultado de 164% indica que, en un periodo de 5 años la inversión se habrá recuperado por completo, y adicional a ello se generarán 1.64 veces el valor invertido. Considerando el extenso ciclo de vida de la palma datilera, y la tendencia en toneladas de producción, es de esperarse que, en un periodo más longevo de evaluación, este porcentaje seguirá incrementando y será cada vez más redituable contar con un área de procesos poscosecha.

Discusiones, conclusiones y recomendaciones

En este apartado se discutirán los resultados obtenidos, así como algunos eventos destacables que ocurrieron durante el desarrollo del proyecto.

En el caso del proceso de hidratación, los resultados obtenidos concuerdan con las afirmaciones de Al-Khayri en 2015, la temperatura debe permanecer entre 56 y 60°C, mientras que el tiempo de permanencia fluctuará dependiendo del grado de deshidratación del fruto.

La experimentación del proceso de deshidratación y maduración también muestra similitudes con las afirmaciones de Siddiq en 2014, sin embargo, en este proyecto se determinó que temperaturas inferiores, de hasta 47°C pueden obtener el mismo porcentaje de deshidratación, contrario a lo afirmado por Navarro en 2006, las temperaturas de 55°C no provocaron separación de la piel del fruto, por lo que se recomienda este parámetro para el proceso de deshidratación y maduración, ya que nos permite reducir hasta en un 23% el tiempo de permanencia.

Durante la experimentación, la principal limitante fue que no se encontraron equipos económicamente accesibles, debido a ello no fue posible manipular y medir otras variables de interés, considero de gran importancia para cualquiera que decida realizar estos experimentos, el cotejar recursos para obtener los equipos que permitan controlar e inspeccionar todas las variables identificadas, de esta manera, por medio de la experimentación definir si estas son estadísticamente significativas.

A pesar de lograr el objetivo de determinar los parámetros de operación óptimos, no será posible validar la primera hipótesis, esto debido a que la conclusión de mi posgrado llega previo a la implementación del proyecto.

El análisis de factibilidad muestra resultados positivos para este proyecto, este nos confirma que la inversión se recuperaría en un periodo de tan solo 2 años, a partir de los cuales existirán ingresos adicionales a la empresa, se estima que la capacidad de los

equipos es suficiente para satisfacer la demanda hasta el año 2030, por lo que el retorno de inversión será significativamente mayor al calculado en los resultados.

Finalmente sugiero que la empresa se asesore con expertos en las áreas de inocuidad alimentaria, con la finalidad de garantizar la correcta manipulación del fruto a lo largo de los procesos, esto le permitirá obtener las certificaciones necesarias para ingresar a la industria alimenticia.

Con este proyecto se presenta una base sólida para lograr la integración vertical que busca la empresa, eliminando la principal barrera de entrada de sus competidores, lo cual permite que la empresa siga incorporando procesos, que la lleven a desarrollar una marca propia que logre posicionarse en el mercado nacional e internacional.

Referencias

- Siddiq, M., Aleid, S. M., & Kader, A. A. (Eds.). (2014). *Dates: Postharvest science, processing technology, and health benefits*. Chichester, West Sussex: Wiley Blackwell.
- Wakil, W., Faleiro, J. R., & Miller, T. A. (Eds.). (2015). *Sustainable Pest Management in Date Palm: Current Status and Emerging Challenges*. Switzerland: Springer, Cham.
- Al-Khayri, J. M., Jain, S. M., & Johnson, D. V. (Eds.). (2015). *Date Palm Genetic Resources and Utilization* (Vol. 1, Africa and the Americas). Dordrecht: Springer.
- Ashraf, Z., & Hamidi-Esfahani, Z. (2011). Date and Date Processing: A Review. *Food Reviews International*, 27(2), 101-133. doi:10.1080/87559129.2010.535231, Recuperado de la base de datos Academic Search Complete (EBSCOhost).
- Boubekri, A., Benmoussa, H., Courtois, F. y Bonazzi, C. (2010). Softening of Overdried 'Deglet Nour' Dates to Obtain High-Standard Fruits: Impact of Rehydration and Drying Processes on Quality Criteria. *Drying Technology*, 28(2), 222-231. doi: 10.1080/07373930903526764, Recuperado de la base de datos Academic Search Complete.
- Diboun, I., Mathew, S., Al-Rayyashi, M. et al. (2015). Metabolomics of dates (*Phoenix dactylifera*) reveals a highly dynamic ripening process accounting for major variation in fruit composition. *BMC Plant Biol*, 15(1), 291. doi: <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1186/s12870-015-0672-5>, Recuperado de la base de datos SpringerLink.
- Haider, M. S., Khan, I. A., Jaskani, M. J., Naqvi, S. A., & Khan, M. M. (2014). Biochemical attributes of dates at three maturation stages. *Emirates Journal Of Food & Agriculture*, 26(11), 953-962. doi:10.9755/ejfa.v26i11.18980, Recuperado de la base de datos Academic Search Complete.
- Awad, M. A., Al-Qurashi, A. D., & Mohamed, S. A. (2011). Biochemical Changes in Fruit of an Early and a Late Date Palm Cultivar During Development and Ripening.

International Journal Of Fruit Science, 11(2), 167-183. doi:10.1080/15538362.2011.578520, Recuperado de la base de datos Academic Search Complete.

De Grenade, R. (2013). Date palm as a keystone species in Baja California península, Mexico oases. *Journal of Arid Enviorenments*, 94(1), 59-67, doi: 10.1016/j.jaridenv.2013.02.008. Recuperado de la base de datos Science Direct.

Navarro, S. (2006). Postharvest treatment of dates. *Stewart Postharvest Review*, 2(2), 1-9, doi: 10.2212/spr.2006.2.1. Recuperado de la base de datos Researchgate.

Falade, K., Abbo, E. (2007). Air-drying and rehydration characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits. *Journal of Food Engineering*, 79(2), 724-730, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.01.081. Recuperado de la base de datos Science Direct.

Yahia, E., Kader, A. (Eds.). (2011). *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits (Vol. 3, Cocona to Mango)*. England: Woodhead Publishing.

Doymaz, I., Ismail, O. (2010). Drying and Rehydration Behaviors of Green Bell Peppers. *Food Sci. Biotechnology*, 19(6), 1449-1455, doi: <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1007/s10068-010-0207-7>. Recuperado de la base de datos Science Direct.

Demiray, E. & Tulek, Y. (2017). Effect of temperature on water diffusion during rehydration of sun-dried red pepper (*Capsicum annum* L.). *Heat Mass Transfer*, 53(5), 1829-1834, doi: <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1007/s00231-016-1940-0>. Recuperado de la base de datos Science Direct.

Martínez, A. E. (2017). *Finanzas para directivos (2a. ed.)*. España: McGraw-Hill. Recuperado de ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/cetyssp/detail.action?docID=5214407>.

Alvarado, Manuel, Víctor (2014). *Ingeniería económica: nuevo enfoque*. Grupo Editorial Patria. Recuperado de ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/cetyssp/detail.action?docID=3227397>.

Chu, Rubio Manuel (2016). *Finanzas para no financieros (5a. ed.)*. Ecuador: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Recuperado de ProQuest Ebook Central, <http://ebookcentral.proquest.com/lib/cetyssp/detail.action?docID=4722195>.

Chase, C. (2013). *Demand-driven forecasting: A structured approach to forecasting (2nd ed.)*. Hoboken, NJ: Wiley. Recuperado de ProQuest Ebook Central, <https://ebiblio.cetys.mx:4153>

Sipper, D., Bulfin, R. L., Osuna, M. G., & García, S. H. (2005). *Planeación y control de la producción*. México: McGraw-Hill.. Recuperado de ProQuest Ebook Central, <https://ebiblio.cetys.mx:4153>

Franco, L. M. (2014). *Modelos de Pronósticos, Métodos de Pronósticos, y Técnicas de Pronósticos*. Recuperado el 11 de Marzo, 2019, de http://modelosdepronosticos.info/metodo_de_promedio_movil_doble.html

Resch, M. (2011). *Strategic project management transformation delivering maximum ROI & sustainable business value*. Ft. Lauderdale, FL: J. Ross Pub. Recuperado de ProQuest Ebook Central, <https://ebiblio.cetys.mx:4153>

Phillips, J. J., & Phillips, P. P. (2007). *Show me the money: How to determine roi in people, projects, and programs*. Recuperado de ProQuest Ebook Central <https://ebiblio.cetys.mx:4153>

Anexo A

Criterio de puntuación de tabla 1. Métodos para proceso de hidratación.

Característica	Puntuación		
	1	5	10
Eficacia del método	Hidratación nula	Hidratación parcial	Hidratación total
Tiempo de exposición	8 hr	6 hr	4 hr
Disponibilidad de equipo	Mercado internacional	Mercado nacional	Mercado local
Inversión requerida en equipo de experimentación	<500 dlls	<300 dlls	<100 dlls
Inocuidad del método	No Inocuo	Medianamente inocuo	Completamente inocuo

Criterio de puntuación de tabla 2. Métodos para proceso de deshidratación y maduración.

Característica	Puntuación		
	1	5	10
Eficacia del método	Deshidratación y maduración nula	Deshidratación y maduración parcial	Deshidratación y maduración total
Tiempo de exposición	72 hr	48 hr	24 hr
Disponibilidad de equipo	Mercado internacional	Mercado nacional	Mercado local
Inversión requerida en equipo de experimentación	<500 dlls	<300 dlls	<100 dlls
Inocuidad del método	No Inocuo	Medianamente inocuo	Completamente inocuo

Criterio de puntuación de tablas 3 al 6. Comparativa de variables de entrada y salida para procesos de hidratación, deshidratación y maduración.

Característica	Puntuación		
	1	5	10
Experiencia de autores previos	Variable poco significativa	Variable significativa	Variable muy significativa
Disponibilidad de equipo para manipular/medir variable*	Muy limitada disponibilidad de equipos	Limitada disponibilidad de equipos	Alta disponibilidad de equipos

*Dentro de presupuesto para experimentación