INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ENCAPSULADO DE POLVO DE *MORINGA OLEÍFERA* MEDIANTE TÉCNICAS DE SIMULACIÓN.”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

PRESENTA

DELFIN PORTELA ELIZABETH

DIRECTOR DE TESIS

DRA. FABIOLA SÁNCHEZ GALVÁN

CODIRECTOR

DR. HORACIO BAUTISTA SANTOS

TANTOYUCA, VERACRUZ. SEPTIEMBRE DEL 2020

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

FORMATO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN
DE TESIS DE POSGRADO

Tantoyuca, Ver., 24 de Agosto 2020

C. ELIZABETH DELFIN PORTELA
P R E S E N T E:

De acuerdo al dictamen emitido por el jurado asignado para la revisión de su Trabajo Profesional, integrado por los siguientes catedráticos:

PRESIDENTE: Dra. Fabiola Sánchez Galván
SECRETARIO: M.C.C. Rogelio García Rodríguez
VOCAL: Dr. Leobardo Mendo Ostos
SUPLENTE: Dr. Daniel Ángeles Herrera

Y considerando que cumple con todos los requisitos del reglamento de titulación en vigor del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, doy a usted la autorización para que proceda a imprimir su Trabajo de Posgrado para titulación por la:

Opción de "TESIS" cuyo nombre del trabajo es:

"Optimización del proceso de encapsulado de polvo de hoja de *moringa oleífera* mediante técnicas de simulación"

Lo anterior lo hago de su conocimiento para los fines correspondientes a su Examen de Grado de **Maestro en Ingeniería Industrial**, por lo cual deberá entregar al encargado de Titulación de Posgrado un ejemplar de su documento final de tesis empastado en color vino con letras plateadas y cuatro CD's (debidamente rotulados) en archivo PDF, así como donar un libro (nuevo) de su LGAC al Centro de Información (Biblioteca).

Esperando que el logro del mismo sea congruente con sus deseos profesionales.

A T E N T A M E N T E

Director Académico

C.c.p. Servicios Escolares.
Titulación de Posgrado

DEDICATORIA

A Dios por darme la dicha de culminar esta etapa de mi vida, por ser mi guía durante toda mi vida, voluntad y perseverancia diaria.

A mi familia y a cada una de las personas que hicieron posible que yo alcanzara este reto, muy especialmente a Erick Arturo, eres uno de los mejores ejemplos a seguir que tengo, tu dedicación e inteligencia me sorprenden cada día, gracias por siempre apoyarme y animarme a superarme, sin tu experiencia jamás hubiera sido posible este proyecto.

A a mis dos grandes amores Jesús Arturo y Ericka Alissa, esto es por ustedes, gracias por la paciencia que me tuvieron durante estos años, son lo mejor que tengo.

A mis padres Sergio y Alma por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, gracias por enseñarme el camino de la superación.

A mi amiga Alejandra, contigo compruebo que la familia no siempre es de sangre, por ser como una hermana para mí, por siempre apoyarme y animarme a tomar cualquier reto que llegue a mi vida. Por tu amistad sincera e incondicional. Gracias

A mis amigos Nani y Kike siempre me apoyaron y nunca me dejaron sola, su experiencia y sus conocimientos fueron fundamentales para mí en este proyecto, por esos gratos momentos que pasamos juntos, Gracias.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, por el apoyo brindado durante toda la maestría y sobre todo por recibirme como aspirante.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada ya que fue de gran ayuda para cumplir con este proyecto.

A mi directora de tesis la Dra. Fabiola Sánchez Galván por todo el apoyo en el desarrollo de la tesis y por sus acertadas asesorías y comentarios durante estos años.

Al Dr. Horacio Bautista Santos por el apoyo y comentarios puntuales en el documento.

Al Dr. Luis Carlos Sandoval Herazo por apoyarme y siempre creer en mí, por buscar siempre que de lo mejor y sobre todo por enseñarme su amor y pasión por la ciencia. Gracias.

Al el Dr. Juan Manuel Carrión Delgado, gracias por permitirme conocerlo y ver su calidad humana, sus conocimientos y experiencia fueron de gran aporte para realizar este proyecto.

A todos los profesores del núcleo académico que formaron parte de este programa, su experiencia y sus conocimientos fueron fundamentales para formarme como maestra en ingeniería industrial.

RESUMEN

La producción de capsulas de *moringa oleífera* es una actividad productiva en desarrollo en el país, debido a que esta planta posee atributos que apoyan a la salud y nutrición de los consumidores, aspectos que ya fueron documentado por muchas investigaciones. Derivado de ello agricultores emprendieron en el desarrollo de este producto como complemento alimenticio, desarrollando capsulas para el consumo humano de manera artesanal, con bajos controles de producción. La simulación de procesos con software de simulación Arena es una forma efectiva de evaluar las implicaciones de los procesos de producción antes de ponerlas en práctica para evaluar posibles alternativas y determinar el mejor enfoque para optimizar el rendimiento del proceso, por ello el objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo de simulación del proceso de producción de capsulas de *moringa oleífera* que optimice la utilización de sus recursos, con el propósito de disminuir sus tiempos de proceso con el análisis tres escenarios para determinar la mejor alternativa para la empresa. Metodológicamente, se abordó como un estudio de caso, la empresa está ubicada en el estado de Veracruz, para el diseño un modelo se siguieron los lineamientos establecidos por el profesor Averill Law, para el diagnóstico inicial se realizó una estancia de investigación durante 180 días, los datos de los tiempos fueron recabados mediante un muestreo sistemático y el modelado utilizando el software de simulación Arena, considerando tres escenarios de simulación que incluyeron: una encapsuladora de 200 capsulas (1E200C), dos encapsuladora de 200 capsulas (2E200C) y una encapsuladora de 800 capsulas (1E800C). Los resultados revelan que con el escenario con (1E200C) el tiempo de procesamiento en horas fue de 57.5, con la (2E200C) de 37.7 y con la (1E800C) de 23.5, la capacidad de producción de producción se estableció en 24,000 capsulas por limitaciones de materia prima. En cuanto a la reducción de tiempo se destaca que el modelo 1E800C (60%), la 2E200C (35%), por otra parte, los días trabajados con el modelo 1E800C solo se requieren 2 jornadas (16 horas), la 2E200C requiere 4 jornadas (32 horas) y con la 1E200C se requieren las 7 jornadas (56 horas). En cuanto a los costos de producción por frasco de 90 cápsulas la (1E200C) fue de $66.21, la (2E200C) de $61.37 y por último la (1E800C) de $58.11.*Se concluye* que la empresa tiene una limitación de materia prima que le permite producir 12,800 unidades al año de 90 capsulas, se recomienda establecer la encapsuladora 1E800C, debido a que permitirá bajar los costos de producción globales en un 12.23%, que representan $8.1 pesos por unidad producida, que económicamente le permitirán obtener una ganancia adicional de $103,680.00, debido a los ahorros en mano de obra.

Palabras Clave: Modelamiento; Moringa oleífera; simulación; procesos de producción.

ABSTRACT

The production of *moringa oleifera* capsules is a productive activity in development in the country because this plant has attributes that support the health and nutrition of consumers, aspects that have already been documented by many investigations. As a result, farmers undertook the development of this product as a food supplement, developing capsules for human consumption in an artisanal way, with low production controls. Process simulation with Arena simulation software, It is an effective way of evaluating the implications of production processes before putting them into practice to evaluate possible alternatives and determine the best approach to optimize process performance, so the objective of this work was to develop a simulation model of the production process. Production of *moringa oleifera* capsules that optimizes the use of its resources, with the purpose of reducing its process times with the analysis of three scenarios to determine the best alternative for the company. Methodologically, it was approached as a case study, the company is located in the state of Veracruz, for the design of a model the guidelines established by Professor Averill Law were followed, for the initial diagnosis a research stay was carried out for 180 days, the time data were collected through systematic sampling and modeling using the Arena simulation software, considering three simulation scenarios that included: One 200 capsule encapsulator (1E200C), two 200 capsule encapsulator (2E200C) and one 800 capsule encapsulator (1E800C). The results reveal that with the scenario with (1E200C) the processing time in hours was 57.5, with the (2E200C) 37.7 and with the (1E800C) 23.5, the production production capacity was established at 24,000 capsules due to limitations of raw material. Regarding the reduction of time, it is highlighted that the 1E800C model (60%), the 2E200C (35%), on the other hand, the days worked with the 1E800C model only require 2 days (16 hours), the 2E200C requires 4 days. (32 hours) and with the 1E200C the 7 days (56 hours) are required. Regarding the production costs per bottle of 90 capsules, the (1E20jzzzz0C) was $ 66.21, the (2E200C) was $ 61.37 and lastly the (1E800C) was $ 58.11. It is concluded that the company has a limitation of raw material that allows it To produce 12,800 units per year of 90 capsules, it is recommended to establish the 1E800C encapsulator, because it will lower overall production costs by 12.23%, representing $ 8.1 pesos per unit produced, which will economically allow you to obtain an additional profit of $ 103,680.00, due to labor savings.

Key Words: Modeling; *moringa oleífera*; simulation; production processes.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS ..... **II**

RESUMEN ..... **III**

ABSTRACT ..... **IV**

ÍNDICE DE ANEXOS Y FIGURAS **3**

ÍNDICE DE CUADROS **4**

INTRODUCCIÓN **5**

CAPÍTULO I. GENERALIDADES **6**

1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA 6
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 7
1.3 OBJETIVOS 8
1.3.1 Objetivo General 8
1.3.2 Objetivos específicos 8
1.4 JUSTIFICACIÓN 8
1.4.1 Un mercado en crecimiento 8
1.4.2 Proceso de Producción 9
1.4.3 Aspectos nutricionales de la Moringa oleífera 11
1.4.4 Aspectos benéficos en la salud humana 13
1.5 SITUACIÓN INTRÍNSECA DEL PROYECTO 14
1.5.1 Alcances 14
1.5.2 Limitaciones 14
1.5.3 Hipótesis 15

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO. **16**

2.1. LA IMPORTANCIA DE LOS SUPLEMENTOS ALIMENTICIOS EN MÉXICO. 16
2.1.2 Impacto económico y social de los suplementos alimenticios. 16
2.1.3 Suplementos alimenticios 17
2.1.4 Características de los Suplementos Alimenticios. 19
2.2. LA MORINGA OLEÍFERA LAM 22
2.2.1 Usos de la Moringa oleífera 24
2.2.2 La moringa oleífera como suplemento alimenticio. 24
2.2.3 Usos provenientes de estudios experimentales 25
2.3. PRODUCTIVIDAD 26
2.4. COSTOS DE PRODUCCIÓN. 27
2.4.1 Procesos Productivos 29
2.5 MAQUINARIA PARA ENCAPSULADO. 30
2.6 HISTORIA DE LA SIMULACIÓN 31
2.7 SISTEMAS Y MODELOS EN SIMULACIÓN 34
2.7.1 Criterios para realizar un buen modelo de simulación. 36
2.7.2 Tipos de simulación. 37
2.7.3 Pasos para un estudio de simulación 40
2.8 SOFTWARE ARENA. 41
2.8.1 Conceptos básicos de la simulación Arena 45

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS 48

3.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO 48
3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 50

3.3 Recolección de datos y obtención del modelo 50
3.4 Muestreo de datos para el modelo de simulación 51
3.5 Instrumento de campo 51
3.6 Tipo de muestreo y tamaño de la muestra 51
3.7 Determinación del tipo de distribución de datos de entrada del modelo 52
3.8 Verificación del modelo 53
3.9 Construcción del modelo de simulación 53
3.10 Pruebas piloto 53
3.11 Validación de resultados 53
3.12 Diseño de experimentos 55
3.13 Corrida del programa y criterios de simulación 56

CAPITULO IV. MARCO OPERATIVO 57

4.1 Muestreo de datos para el modelo de simulación 57
4.2 Instrumento de campo 57
4.3 Tipo de muestreo y tamaño de la muestra 60
4.4 Determinación del tipo de distribución a la que se ajustan los datos. 63
4.5 Verificación del modelo 65
4.6 Descripción del modelo real a simular 67
4.7 Validación de resultados 71
4.8 Diseño de experimentos 73
4.9 Resultados de escenario I. Simulación de una encapsuladora de 200 capsulas (1E200C) 75
4.10 Resultados de escenario II. Simulación de dos encapsuladoras de 200 capsulas(2E200C) 78
4.11 Resultados de escenario III. Simulación con encapsuladora de 800 capsulas(1E800C) 80
4.12 Comparación de los tres escenarios de simulación 83
4.13 Costos de producción del procesamiento 85

CONCLUSIONES 88

RECOMENDACIONES 89

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN 89

BIBLIOGRAFÍA 90

PRODUCTIVIDAD ACADEMICA 96

ÍNDICE DE ANEXOS Y FIGURAS

FIGURA 1.DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE PRODUCTOS A BASE DE MORINGA OLEÍFERA 10
FIGURA 2. PRODUCTO PRINCIPAL DE LA EMPRESA 11
FIGURA 3. MERCADO ACTUAL DE SUPLEMENTOS ALIMENTICIOS 17
FIGURA 4. PARTES DE MORINGA OLEIFERA Y SUS USOS. 24
FIGURA 5. ENCAPSULADORES MANUALES CON CAPACIDAD DE 200 CAPSULAS 30
FIGURA 6. ELEMENTOS DEL SISTEMA (FISHMAN, 1978) 35
FIGURA 7 CLASIFICACIÓN DE MODELOS. 36
FIGURA 8. VENTANA PRINCIPAL DE ARENA 43
FIGURA 9. PANEL DE PROCESOS BÁSICOS DE ARENA 44
FIGURA 10. PANEL DE PROCESOS AVANZADOS DE ARENA 45
FIGURA 11. UBICACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO 48
FIGURA 12. DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA Y DIAGRAMA DE RECORRIDO PARA EL 49
FIGURA 13. PASOS PARA EL DESARROLLO DE MODELOS DE SIMULACIÓN (LAW, 2014) 50
FIGURA 14. FORMATO DE INSTRUMENTO DE CAMPO 57
FIGURA 15. VALUEM STEAM MAPPING DE LA EMPRESA 66
FIGURA 16. MODULO PROCESS 70
FIGURA 17. REPLICACIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN 75
FIGURA 18. TIEMPO DE REALIZACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DE MATERIA PRIMA 76
FIGURA 19. TIEMPO QUE GENERAN EN COLA LAS ACTIVIDADES DEL PROCESO DE ENCAPSULADO 76
FIGURA 20. TIEMPO REQUERIDO PARA TENER PRODUCTO TERMINADO 77
FIGURA 21. NÚMERO TOTAL DE LOTES DIARIOS DURANTE 10 DÍAS 77
FIGURA 22. TIEMPO DE REALIZACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DE MATERIA PRIMA 78
FIGURA 23. TIEMPO QUE GENERAN COLA LAS ACTIVIDADES DEL PROCESO DE 79
FIGURA 24. TIEMPO REQUERIDO PARA PRODUCTO TERMINADO PARA DOS ENCAPSULADORAS 79
FIGURA 25. NÚMERO TOTAL DE LOTES DIARIOS PARA DOS ENCAPSULADORAS 80
FIGURA 26. TIEMPO DE REALIZACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DE MATERIA PRIMA PARA ENCAPSULADORA DE 8000 CAPSULAS 81
FIGURA 27. TIEMPO QUE GENERAN COLA LAS ACTIVIDADES DEL PROCESO DE ENCAPSULADORA 81
FIGURA 28. TIEMPO REQUERIDO PARA PRODUCTO TERMINADO 82
FIGURA 29. NÚMERO TOTAL DE LOTES DIARIOS PRODUCIDOS (10 DÍAS) 82
FIGURA 30. ESCENARIOS DE LA SIMULACIÓN 83

ÍNDICE DE CUADROS

FIGURA 1.DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE PRODUCTOS A BASE DE MORINGA OLEÍFERA 10
FIGURA 2. PRODUCTO PRINCIPAL DE LA EMPRESA 11
FIGURA 3. MERCADO ACTUAL DE SUPLEMENTOS ALIMENTICIOS 17
FIGURA 4. PARTES DE MORINGA OLEIFERA Y SUS USOS. 24
FIGURA 5. ENCAPSULADORES MANUALES CON CAPACIDAD DE 200 CAPSULAS 30
FIGURA 6. ELEMENTOS DEL SISTEMA (FISHMAN, 1978) 35
FIGURA 7 CLASIFICACIÓN DE MODELOS. 36
FIGURA 8. VENTANA PRINCIPAL DE ARENA 43
FIGURA 9. PANEL DE PROCESOS BÁSICOS DE ARENA 44
FIGURA 10. PANEL DE PROCESOS AVANZADOS DE ARENA 45
FIGURA 11. UBICACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO 48
FIGURA 12. DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA Y DIAGRAMA DE RECORRIDO PARA EL 49
FIGURA 13. PASOS PARA EL DESARROLLO DE MODELOS DE SIMULACIÓN (LAW, 2014) 50
FIGURA 14. FORMATO DE INSTRUMENTO DE CAMPO 57
FIGURA 15. VALUEM STEAM MAPPING DE LA EMPRESA 66
FIGURA 16. MODULO PROCESS 70
FIGURA 17. REPLICACIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN 75
FIGURA 18. TIEMPO DE REALIZACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DE MATERIA PRIMA 76
FIGURA 19. TIEMPO QUE GENERAN EN COLA LAS ACTIVIDADES DEL PROCESO DE ENCAPSULADO 76
FIGURA 20. TIEMPO REQUERIDO PARA TENER PRODUCTO TERMINADO 77
FIGURA 21. NÚMERO TOTAL DE LOTES DIARIOS DURANTE 10 DÍAS 77
FIGURA 22. TIEMPO DE REALIZACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DE MATERIA PRIMA 78
FIGURA 23. TIEMPO QUE GENERAN COLA LAS ACTIVIDADES DEL PROCESO DE 79
FIGURA 24. TIEMPO REQUERIDO PARA PRODUCTO TERMINADO PARA DOS ENCAPSULADORAS 79
FIGURA 25. NÚMERO TOTAL DE LOTES DIARIOS PARA DOS ENCAPSULADORAS 80
FIGURA 26. TIEMPO DE REALIZACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DE MATERIA PRIMA PARA ENCAPSULADORA DE 8000 CAPSULAS 81
FIGURA 27. TIEMPO QUE GENERAN COLA LAS ACTIVIDADES DEL PROCESO DE ENCAPSULADORA 81
FIGURA 28. TIEMPO REQUERIDO PARA PRODUCTO TERMINADO 82
FIGURA 29. NÚMERO TOTAL DE LOTES DIARIOS PRODUCIDOS (10 DÍAS) 82
FIGURA 30. ESCENARIOS DE LA SIMULACIÓN 83

INTRODUCCIÓN

En la actualidad en un mundo globalizado en el que vivimos, la vida acelerada que llevan las personas, el no alimentarse correctamente acorta la expectativa de años de vida, un régimen alimentario con elevado contenido de grasas saturadas y poca cantidad de frutas y hortalizas, contribuyen significativamente al desarrollo de enfermedades no transmisibles como: desnutrición, diabetes, cáncer y obesidad. (OMS, 2018).

En este sentido surgen los complementos alimenticios como una alternativa de nutrición y de fácil ingesta, por lo que el mercado para las empresas que producen suplementos de calidad es alto, por ello la empresa BD Moringa nace y ofrece a este mercado potencial un suplemento alimenticio a base de *moringa oleífera* Lam., el cual tiene buena calidad de nutrientes esenciales que son necesarios para complementar la dieta de sus clientes, aunado a los beneficios a la salud reportados en la bibliografía especializada. Sin embargo, su sistema de producción es limitado, lo que deriva el presente trabajo de investigación motivado por la expectativa de la empresa de abordar nuevos mercados debiendo incrementar su capacidad de producción en campo y en fábrica.

El presente trabajo abordara conceptos elementales y avanzados útiles para la solución de problemas en procesos de producción bajo la línea de generación y aplicación de conocimientos, mejora de productos y procesos, autorizada por el Instituto tecnológico de Tantoyuca; donde se aplicarán conocimientos para ofrecer al sector productivo una alternativa para la solución de la problemática planteada.

Por lo anterior el trabajo que se desarrollará será aplicado en la empresa procesadora de *moringa oleifera*, ubicada en la ciudad de Tierra Blanca, Veracruz, quien produce y comercializa suplementos alimenticios a base de m*oringa oleífera*.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1.1 Situación problemática

Actualmente la *moringa oleífera* es una planta que se ha popularizado en nuestro país usándola como suplemento alimenticio y por sus propiedades medicinales. En México se reportan plantaciones de moringa en cinco estados y 11 municipios del país, con 428 hectáreas sembradas, en los que se obtuvieron 1,206 toneladas, con un valor de 11.8 millones de pesos. Siendo el estado de Michoacán el principal productor de *moringa oleifera*, con 98.7% del volumen total; siendo Huetamo el municipio que más aportó, con arriba de 90% del total nacional. (SIAP, 2018). En Veracruz no existen datos oficiales de establecimientos de plantaciones comerciales, sin embargo, se cuenta con información de establecimientos en Tierra Blanca, Veracruz en su conjunto no superan a las 10 Ha**.,** donde su principal propósito es de producción de suplementos alimenticios a partir de las hojas, semillas y flor de la *moringa oleífera* con el intención de ofrecer al consumidor una alternativa para complementar la dieta con estos productos, por lo beneficios a la salud que ella aporta.

Estas empresas en su mayoría son pequeños productores agropecuarios que, sin un conocimiento técnico adecuado para la trasformación del producto, se lanzaron a producir capsulas y otros productos de manera artesanal, sin ningún control de la producción y de calidad para diversificar sus ingresos, logrando colocar en el mercado productos con cierto nivel de aceptación (UNESCO, 2009). Sin embargo, existen por otra parte productos no regulados llamados comúnmente productos milagro que pueden ocasionar daños a la salud (COFEPRIS, 2018) por ello, la autoridad llevo a cabo acciones de vigilancia en puntos de venta, almacenes de distribución y en fábricas de en 140 operativos en todo el país, logrando el decomiso de más de 2.5 millones de piezas irregulares y evitando que se encuentren al alcance de la población.

En este sentido se participa con un convenio de colaboración con la empresa procesadora de *moringa oleífera* para desarrollar una alternativa producción, el cual le

permita diferenciarse del resto de productos del mercado, le ofreceremos a la empresa un estudio de simulación que genere alternativas para lograr que su proceso de producción sea apropiado en base a la demanda del marcado, a un precio que le permite competir el segmento cumpliendo con las normas oficiales mexicanas para su venta como suplemento alimenticio.

1.2 Planteamiento del problema

En el 2017 nace la empresa procesadora de *moringa oleífera*, la cual se encuentra ubicada en la ciudad de Tierra Blanca, Veracruz, con un sistema de producción que se caracteriza por ser de baja tecnología y a un nivel artesanal, actualmente cuenta con una superficie establecida de una hectárea y media con un total de 1,150 árboles en producción de dos años, dicha plantación ubicada en la localidad de Tierra Adentro, perteneciente a la Congregación de Joachín, municipio de Tierra Blanca, Veracruz. Esta empresa tiene un proceso de encapsulado que a pesar de estar en el mercado local con la venta al público de frascos de capsulas de *moringa oleífera* de 90 capsulas de 500 miligramos, esta carece de un proceso de producción que permita contar con información adecuada para proyectar hacia el futuro sus capacidades de producción. Por lo anterior es muy importante para la empresa determinar su cantidad de producción actual y redefinir su proceso de producción con propósito de hacer eficiente y determinar en cada etapa de su proceso, las variables que intervienen para obtener información a detalle de su forma de operación actual y con ella estar en condiciones de ofrecer y garantizar productos a sus futuros clientes potenciales.

Una parte crítica en el proceso de producción de la empresa es el proceso de encapsulado, en el cual, el polvo de *moringa oleífera* es vertido al interior de una capsula a través de máquinas encapsuladoras, que son las que permiten el proceso de llenado y cierre de las cápsulas. Actualmente este proceso es llevado de forma manual apoyado por una maquina encapsuladora de capacidad de llenado de 200 capsulas por operación, manejada por un operario por turno, situación que limita su capacidad de procesamiento a 800 capsulas por hora, obteniendo en una jornada laboral 6,400

capsulas, lo que genera una producción de 71 frascos en presentación de 90 capsulas de 500 mg y , debido principalmente por que se tiene una sola estación de encapsulado en la planta.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo de simulación del proceso de producción de capsulas de *moringa oleífera Lam.* que optimice la utilización de sus recursos, con el propósito de disminuir sus tiempos de proceso con el análisis tres escenarios para determinar la mejor alternativa para la empresa mediante el software de simulación Arena.

1.3.2 Objetivos específicos

1.-Describir el proceso de encapsulado actual de la empresa para obtener los indicadores de producción del proceso para su futuro seguimiento y gestión.

2.- Simular el proceso de producción de encapsulado de polvo de *moringa oleífera*, mediante el software Arena con el propósito de cuantificar los tiempos de proceso y analizar alternativas que mejoren su desempeño.

3.- Analizar el beneficio costo del proceso de producción para determinar las bases de posibles mejoras en la empresa procesadora de capsulas de *moringa oleífera*.

1.4 Justificación

Los siguientes cuatro elementos son considerados para justificar el presente trabajo de investigación**:**

1.4.1 Un mercado en crecimiento

Con datos de Milenio (2017) La demanda suplementos alimenticios en el país ha crecido un 6%, por lo que representa una oportunidad para la empresa ofrecer productos inocuos y de calidad para aportar a la demanda creciente de dichos

productos en el mercado nacional, ya que en México existe una industria formal de suplementos alimenticios que está respaldada por investigación para garantizar la calidad de sus productos, este mercado está dominado principalmente por 12 empresas que son: Amway, Biofarma, DSM, Du Pont, GNC, Herbalife Nutrición, Immunotec, Natures Sunshine, Naturex, Omnilife, Schütze-Segan y Usana. (El semanario, 2017) Por lo que generar productos confiables y a bajo costo será indispensable para poder competir en esta industria que ofrece oportunidades.

1.4.2 Proceso de Producción

En el caso de la empresa procesadora de productos de *moringa oleífera*, futuro contrato con empresa de distribución alemana ofrece una oportunidad de colocar sus productos en el mercado europeo, para ello requiere una evaluación integral de sus procesos de producción con el propósito de optimizar sus recursos y poder cumplir con las demandas que la empresa tendrá a futuro.

En dicho proceso de encapsulado, se juega un papel importante, ya que este proceso limita la capacidad total de producción de la empresa, y es aquí donde independientemente de la capacidad de generar materia prima en campo, la producción de producto no es tan eficiente, porque en la parte del proceso de encapsulado, solo se cuenta con una sola estación, que está limitada a 200 capsulas por cada 15-20 minutos, obteniendo un total diario de 6,400 capsulas por jornada.

Por otra parte, un proceso productivo es una secuencia de actividades que se encargan de generar y transformar la materia prima, mediante la mano de obra y maquinas diseñadas para tal fin. Existen diferentes tipos de procesos que van desde lo más sencillo hasta los más complejos, el proceso de producción del encapsulado de la empresa, tienen características que actualmente manifiesta una solo línea de producción con diez operaciones que se estudiaron en una visita preliminar efectuada el 12 de octubre del 2018, El diagrama de flujo de proceso para la elaboración de productos a base de *moringa oleífera* se describe en la figura 1, en la cual se muestra el

proceso de producción detectado de manera inicial en la empresa, donde se tienen tres productos: a) Hoja para te, B) Frascos de capsulas. C) Enriquecedor de alimentos.

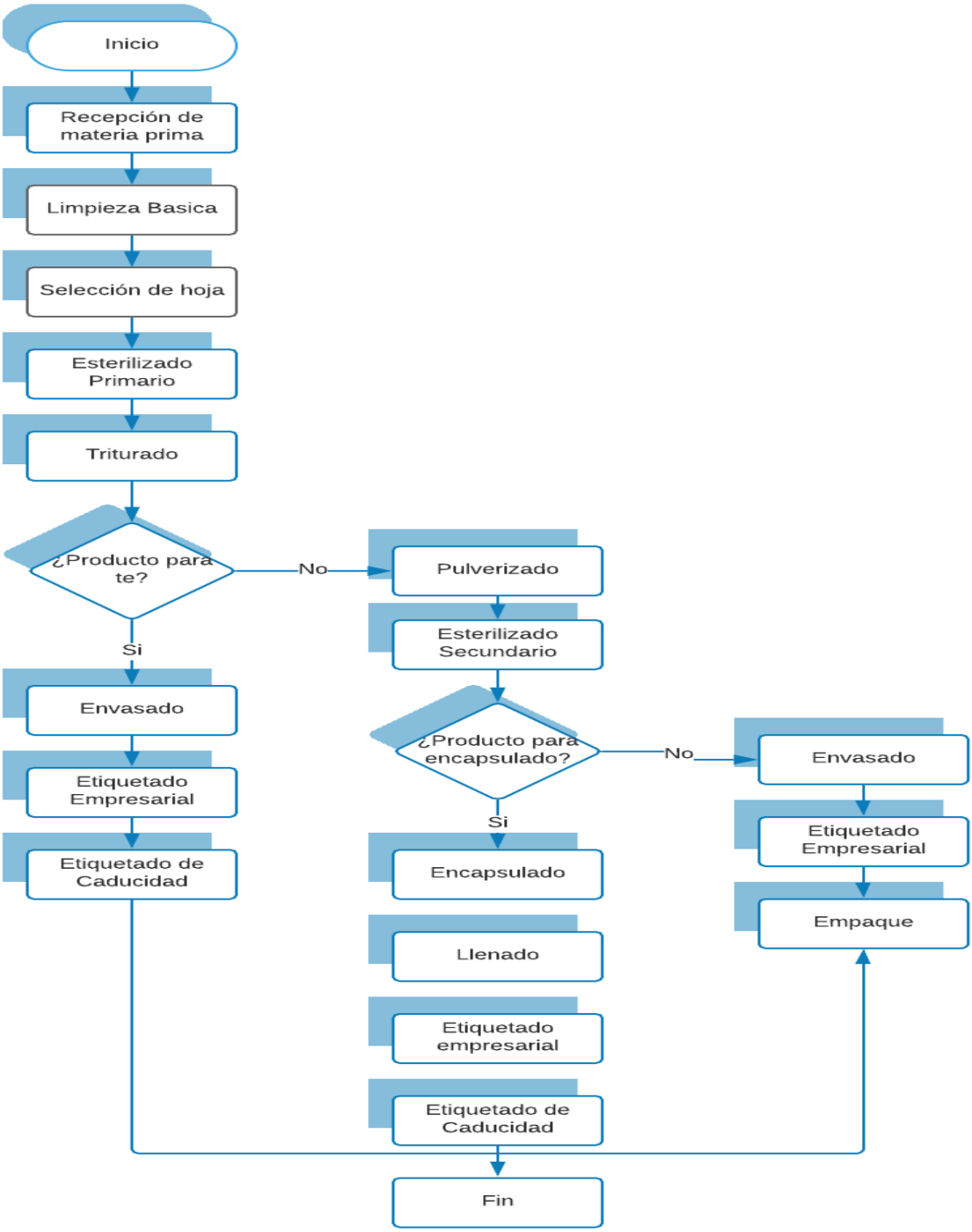


Figura 1.Diagrama de Flujo del proceso de elaboración de productos a base de *moringa oleífera*

Se observa que hasta la operación de esterilizado primario la materia prima llega en materia seca triturada en partículas que van desde los 0.5 mm hasta los 3 mm. En este punto dependiendo las necesidades de la empresa se destina a 3 subprocesos que son elaboración de Té, Capsulas y Enriquecedor de alimentos.

Es muy importante destacar que dentro de este proceso de producción el producto más importante, por el volumen de ventas son las capsulas en frascos de 90 capsulas que se muestran en la figura 2.

Figura 2. Producto principal de la empresa

Es por ello por lo que este trabajo se centra en el análisis del proceso de producción de elaboración de capsulas, ya que permitirá ofrecer una propuesta técnica, económica para que la empresa pueda tomar decisiones informadas para la mejora de su proceso de producción y poder cumplir con la demanda de la empresa.

1.4.3 Aspectos nutricionales de la Moringa oleífera

Es muy importante considerar los beneficios a la salud reportados por (Mathur, 2005; Moyo *et al*., 2011; Alhakmani *et al*., 2013; Teixeira *et al.,* 2014; Vongsak *et al*., 2017;) en el contenido nutricional de las hojas de moringa, donde principalmente se destacan: proteína, carbohidratos, calcio, Hierro, betacaroteno, ácido ascórbico, flavonoides, compuestos fenólico y carotenoides. Así como vitaminas C, vitamina B1, vitamina B3, cromo, cobre, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, potasio, proteína, y zinc.

Al consumir esta planta aporta todos los aminoácidos esenciales para la salud humana y de fácil asimilación por el cuerpo. Es por ello, por lo que generar productos alimenticios a base de esta planta coadyuvamos a ofrecer un producto de calidad que ayudara a la nutrición de los clientes, aspectos estudiados por Abdalla, 2013; Rosero, 2015; Becker *et al.,* 2001; Doriya *et al.,*2016; Guzmán *et al*., 2015; Affiku y Ogbe, 2011; Cavada *et al*.,1999; Doriya *et al*., 2016. Donde confirmaron los múltiples aspectos nutritivos de la *moringa oleífera*.

El árbol de moringa se ha utilizado para combatir la desnutrición principalmente en niños y mujeres lactando es considerada la nutrición natural para los trópicos. Prácticamente todas las partes de la planta tienen uso alimenticio. (Fahey, 2005).

Las frutas, las hojas, las flores, las raíces y el aceite son altamente apreciados por su valor nutritivo y se utilizan para la elaboración de diferentes platos en la India, Indonesia, Filipinas, Malasia, el Caribe y en varios países africanos (Foidl *et al.,* 2001; Ghazali y Mohammed, 2011).

También es utilizada como forraje para animales, las hojas de *moringa oleífera* es uno de los alimentos más completos en nutrición animal. Alto contenido en proteína, vitaminas y minerales y de fácil de digerir, es utilizada para todo tipo de animales: rumiantes, cerdos, aves, incluso carpas, tilapias y otros peces herbívoros (Agrodesierto, 2015). Este árbol tiene un alta de productividad de materia verde, en comparación con otros pastos, como por ejemplo la alfalfa, y los valores más elevados se alcanzan con una densidad de siembra de un millón de plantas por hectárea (Makkar y Becker, 1996). (Garavito, 2008) enfatiza la gran importancia a la *moringa oleífera* en la alimentación animal, ya que por los contenidos de proteína y vitaminas puede ser un suplemento de importancia en la ganadería de leche y de ceba, así como en la dieta de aves, peces y cerdos, siempre que haya un balance nutricional

1.4.4 Aspectos benéficos en la salud humana

Algunas investigaciones afirman que el uso de la *moringa oleífera* tiene efectos de mejora en la salud, los efectos benéficos en el control de la hipertensión arterial fueron documentados por Bazán y Santos, (2018)., también se mencionan que es muy efectivo para el asma, puntos negros, impurezas de las sangre, bronquitis, catarro, congestión del pecho y otras enfermedades (Khawaja et al.,2010) también es utilizada para el tratamiento tradicional de la diabetes mellitus (Bhishagratna, 1991; Babu y Chaudhuri, 2005).

Se le atribuyen múltiples propiedades farmacológicas, tales como antiescorbúticas, antiinflamatorias, antimicrobianas, cicatrizantes, diuréticas, purgantes, rubefacientes, estimulantes, expectorantes, febrífugas y abortivas, mantiene los niveles de azúcar en la sangre (Kar *et al*., 2003), al igual medicinalmente se usan las hojas, corteza, raíces y semillas (CEMAT 1988; Morales 1990; Cáceres *et al.* 1991).

En muchas culturas alrededor del mundo, el uso medicinal de la *moringa oleífera* se ha utilizado para el cólera y otras enfermedades (Hamza, 2010; Singh *et al*., 2012).

Siddhuraju y Becker (2003) afirman que la cubierta del tallo puede tener uso vesicante, rubefaciente, es utilizada para tratar infecciones en los ojos, también es utilizada para tratar problemas de pacientes delirantes, tiene capacidad de prevenir el aumento del bazo, es ideal para destruir tumores y muy efectivo en sanar ulceras estomacales. También él te de la corteza es utilizado para tratar problemas de oído, también es utilizado para tratar problemas dentales, ya que funciona como un analgésico. El árbol de moringa también tiene una goma que es utilizada para tratar la caries dental, es utilizado como astringente y rubefaciente; la goma la podemos utilizar en los dolores de cabeza, fiebre, molestias intestinales, disentería, asma y algunas veces es utilizado como abortivo, y para el tratamiento de la sífilis y el reumatismo (Fahey *et al.,* 2001).

También la flor tiene alto valor medicinal como estimulante, afrodisíaco, abortivo, y se utiliza para curar inflamaciones, enfermedades musculares, los tumores, baja el colesterol, fosfolípidos, triglicéridos, colesterol a fosfolípido y el índice aterogénico; disminuye el perfil de lípidos del hígado, el corazón y la aorta en conejos hipercolesterolémicos y el aumento de la excreción fecal de colesterol (Siddhuraju y

Becker, 2003; Bhattacharya *et al.,* 1982; Mehta *et al.,* 2003). En muchos países tropicales es difícil diferenciar entre usos alimenticios y medicinales de *moringa oleífera*, ya que esta es utilizada tanto por sus cualidades nutricionales como por sus atributos médicos, los cuales son conocidos desde mucho tiempo atrás.

González (2009) refiere que, en algunas partes de África, las vainas se utilizan como medicamento para potenciar la virilidad sexual y la disfunción eréctil en los hombres y para prolongar la actividad sexual en las mujeres.

Estos aspectos justifican el presente trabajo de investigación, al concluir la investigación se tendrá una propuesta de un proceso bien estructurado, donde los productos fabricados apoyen a nutrición humana, en la mejora de la salud de los consumidores y la economía de la empresa.

1.5 Situación intrínseca del proyecto

1.5.1 Alcances

Este trabajo se centrará únicamente en el proceso de encapsulado ya que se determina que es el subproceso dentro del sistema que no cuenta con ningún control de operación, en el cual se abordaran posibles soluciones para optimizar su funcionamiento.

1.5.2 Limitaciones

Las propuestas de mejora estarán sujetas a la disponibilidad económica del productor. Las corridas de simulación están limitadas por utilizar el software de simulación Arena para la versión de estudiante por lo que no fue posible realizar un análisis con un mayor número de replicaciones, sin embargo, los análisis estadísticos mostraron suficiente evidencia para la validación del modelo.

1.5.3 Hipótesis

El proceso de encapsulado actual limita la producción de capsulas de hojas de m*oringa oleífera* de la empresa, por lo que la mejora tecnológica en este proceso mejorara los tiempos en todo el proceso de producción.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1. La importancia de los suplementos alimenticios en México.

Hoy en día los estilos de vida modifican los hábitos alimenticios de las personas. En la actualidad en México los temas de salud y de bienestar entre los mexicanos se han vuelto más recurrentes debido a los altos índices de sobrepeso y obesidad, ya que, hoy en día, 72.5% de la población tiene esos problemas**.** (OCDE, 2017). Lo anterior provoca que en la actualidad las personas consuman más vitaminas y suplementos alimenticios, y a pesar de la amplia oferta de alimentos disponibles, la sociedad se aleja de las dietas equilibradas y opta por los suplementos alimenticios, los cuales son fuentes concentradas de nutrientes que se usan con la finalidad de complementar su dieta, ya que aportan proteínas, grasas, carbohidratos y vitaminas minerales.

Los suplementos alimenticios facilitan el consumo de nutrimentos en cantidades adecuadas; sin embargo, los suplementos alimenticios no sustituyen la variedad de alimentos que son de gran importancia en la dieta diaria saludable. Investigaciones científicas demuestran que los suplementos alimenticios proveen beneficios a la salud; sin embargo, la FDA no determina su eficacia entes de su comercialización (National Institutes of Health, 2017).

2.1.2 Impacto económico y social de los suplementos alimenticios.

El mercado de suplementos alimenticios durante 2012 facturó 6 mil 990 millones de pesos, mientras que en 2017 ascendió a 8 mil 222 millones y se estima que para 2022 la suma llegue a 9 mil 245 millones de pesos. Por lo que podemos mencionar que el mercado de los suplementos alimenticios va al alza y se considera un negocio muy redituable para el país, ya que crece año con año. El sector ha crecido a buen ritmo y las expectativas son alentadoras; como consecuencia del dinamismo de los últimos años, las compañías mexicanas planean invertir 470 millones de pesos para investigación, desarrollo e infraestructura en el periodo 2017-2020. (Ramirez,2017).

Como se observa en la figura 3 el mercado actual de los suplementos alimenticios Herbalife domina el mercado latinoamericano, y en México se encuentra el 24 % de su mercado de suplementos alimenticios. Con ello se entiende que el uso de los suplementos alimenticos es el futuro. Y el impacto que tiene su uso en la población. Por lo que es preciso definir lo que conlleva el concepto de complemento alimenticio.

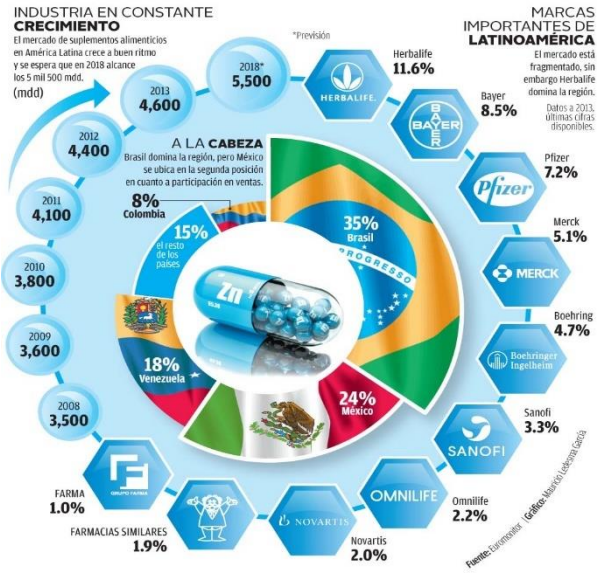


Figura 3. Mercado actual de suplementos alimenticios
Euro monitor: (Mauricio Ledesma, 2017)

2.1.3 Suplementos alimenticios

Los suplementos alimenticios son productos que contienen nutrientes como vitaminas, minerales y aminoácidos que ayudan a completar la dieta diaria, se añaden a un régimen alimenticio, su forma de ingestión es oral, además de tener múltiples nutrientes también pueden utilizarse para corregir o prevenir deficiencias en la dieta, todo con el fin de mejorar el estado general de la salud. (Caldera, 1994, Umhau *et al*., 2012). A los suplementos alimenticios, se definen como aquellos productos a base de hierbas, extractos vegetales, alimentos tradicionales, deshidratados o concentrados de frutas, adicionados o no, de vitaminas o minerales, que se puedan presentar en forma farmacéutica y cuya finalidad de uso sea incrementar la ingesta dietética total,

complementarla o suplir algún componente, no pudiendo estar compuestos únicamente de vitaminas y minerales. LGS (2009:2).

Los suplementos alimenticios no pasan por pruebas exhaustivas para demostrar la eficacia, calidad y seguridad antes de ser comercializados, es decir no requieren contar con registros sanitarios. Su vigilancia es realizada cuando ya están en el mercado, según la FDA (Food and Drug Administration) solo adopta acciones con los productos no seguros, ya estando a la venta y que se reciben denuncias sobre efectos adversos a la salud, por lo que es de gran importancia que los fabricantes que los realizan actúen con responsabilidad y cumplir con todas las reglas de etiquetado e información establecidas en diferentes Normas Oficiales Mexicanas, como la NOM-051-SCFI/SSA1-2010, en la cual se plantean una series de obligaciones, es por ello que los fabricantes deben de asegurarse de no contengan contaminantes e impurezas, si se produce un problema del suplemento alimenticio, lo fabricantes deben de informar al FDA como algo adverso. Si se pueden sacar productos del mercado si se descubre que los productos son inseguros o si las afirmaciones sobre los productos son falsas y engañosas (FDA, 2017).

No podemos confundir los suplementos alimenticios con productos milagro ya que este tipo de productos carecen de bases científicas, falsean información sobre tramites sanitarios, impiden que enfermedades graves tengan el tratamiento médico efectivo, su publicidad es exagerada y distorsionan el mercado. (Martinez,2015). En este sentido la COFEPRIS durante 2013 al 2018 aseguró más de 4.1 millones de piezas de mercancías que engañan a las personas, pues se les atribuyen características o beneficios que no tienen. (La Jornada, 2018).

Sin embargo, la definición legal suplementos alimenticios resulta insuficiente hablando de las necesidades actuales del mercado, esto derivado del uso de las nuevas tecnologías que se aplican al origen, modalidad y finalidad de los productos. Lo anterior puede incidir, en ciertos casos, en decisiones regulatorias discrecionales o en prácticas industriales y comerciales inadecuadas, perjudicando a los consumidores.

La FDA permite que los fabricantes puedan hacer declaraciones que son:

- De salud
- Estructura-Función
- Contenido nutricional

En donde estas declaraciones incluyen tres aspectos que se deben de considerar:

- Descripción de la relación entre un ingrediente y una condición de salud o enfermedad asociada.
- Los beneficios de usar el producto
- La cantidad de sustancia o nutriente nutrimental.

Estas afirmaciones deben de ir acompañada de “este producto no tiene la intención de diagnosticar, tratar o curar ninguna enfermedad”. Por lo que podemos confirmar que la autoridad considera que los suplementos alimenticios representan riesgos sanitarios menores.

Debe de quedar claro que un suplemento alimenticio no es un medicamento, es decir, no sirve para tratar una enfermedad, dado que son productos hechos de complementos como vitaminas o minerales, lo que significa que no sirven para bajar de peso o tratar enfermedades, sin embargo, estos pueden tener efectos benéficos a la salud humana. (Ramírez,2017; Murillo, 2018).

2.1.4 Características de los Suplementos Alimenticios.

Su objetivo principal es apoyar y optimizar las funciones fisiológicas del organismo (knapik *et al*.,2016). Los suplementos alimenticios pueden usarse en combinación con otros alimentos para mejorar el consumo nutricional, teniendo como resultado un alimento completo (FAO, 200). De acuerdo con García, (2013) los suplementos alimenticios o nutricionales son nutrientes concentrados, ya sean solos o combinados, que se venden en distintas formas:

Cápsulas: podemos encontrar el suplemento alimenticio contenido en un recubrimiento soluble hecho a base de gelatina que se administra por vía oral, y a diferencia de la

tableta estás se desintegran de una forma más rápida, con la presencia de los líquidos gástrico.

Tabletas: el suplemento alimenticio se presenta como comprimido, con una forma sólida y definida. La administración es oral.

Polvos: también lo podemos encontrar en forma de polvo, el cual busca con esta presentación la incorporación diaria a líquidos de consumo diario, formando así una bebida con la incorporación del suplemento alimenticio.

Soluciones: esta presentación es una mezcla homogénea, donde el producto se presenta soluto está presente en una cantidad muy pequeña de la sustancia en la que se disuelve el solvente.

Los suplementos alimenticios se deben de tomar en pequeñas porciones, medidas, no deben de realizar un consumo como los alimentos tradicionales, ya que solo se pretende complementar la dieta y no sustituir ningún alimento. En la actualidad las personas consumen los suplementos alimenticios con la esperanza de obtener múltiples beneficios de la salud como los siguientes:

- Fortalecer el sistema inmune.
- Tratar y Disminuir síntomas de algunas enfermedades.
- Para aumentar el rendimiento deportivo.

Los suplementos alimenticios pueden clasificarse en las siguientes categorías:

I.- Sustancias aceptadas como nutrientes esenciales tales como: vitaminas, minerales, ácidos grasos, aminoácidos esenciales y antioxidantes.

II.-Sustancias que son metabolitos naturales y se presentan de manera natural en la dieta, pero no están consideradas como nutrientes esenciales.

III.- Suplementos de origen vegetal, animal.

2.1.5 Proceso de Encapsulación

En lo que respecta a suplementos en capsulas, la encapsulación es un proceso tecnológico que permite contener una sustancia o agente activo en el interior de otra que constituye el recubrimiento., la encapsulación mejora la incorporación de moléculas bioactivas o nutracéuticos (antioxidantes, minerales, vitaminas, fitosteroles, luteínas, ácidos grasos, licopeno), así como de células vivas probióticos. Existen diversas razones para emplear la tecnología de encapsulación, esta proporciona una barrera física entre los compuestos bioactivos sensibles y el medio ambiente, lo que permite estabilizar los ingredientes de los alimentos durante el procesamiento y en el producto final, al reducir procesos de degradación como la oxidación o la hidrólisis, lo que incrementa la biodisponibilidad de los principios activos, además permite la liberación del contenido a una velocidad controlada a lo largo del tiempo o bajo condiciones específicas en el sitio deseado (Nedovic *et al*., 2011).

Se describe que a pesar de estas medidas no hay una norma oficial aprobada que defina cuál es la clasificación para una partícula con base a su tamaño, de allí las diferentes clasificaciones usadas por diversos autores. En el proceso de encapsulación se emplean diversas técnicas. Dado que los compuestos que se encapsulan se encuentran a menudo en forma líquida, la mayoría de las tecnologías se basan en procesos de secado. De hecho, la técnica de encapsulación más utilizada en la industria de los alimentos es el secado por aspersión (spray drying) la cual representa del 80 al 90 %. En los últimos años, las tendencias mundiales indican un interés acentuado de los consumidores por los alimentos funcionales. Así se busca remplazar el uso de saborizantes artificiales por saborizantes naturales que además de ser atractivos para los consumidores aporten beneficios a las funciones biológicas del organismo humano y sean estables en el tiempo (Escalona, 2004).

La selección del material de recubrimiento es el paso más importante para obtener un producto encapsulado porque dependiendo de sus propiedades, se puede cumplir con

los requerimientos de protección. El método de encapsulación se elige de acuerdo con la aplicación requerida, el tamaño de cápsula deseado, el material a encapsular, el costo y las propiedades físicas y químicas del recubrimiento. Las investigaciones en torno a este tema se centran en la búsqueda y aplicación de nuevos materiales de recubrimiento y técnicas novedosas de encapsulación. (Aldana 2011).

Para preparar capsulas hay numerosas técnicas, y se ha sugerido que podrían identificarse más de 200 métodos de literatura de patentes (Pedroza, 2002). Y es previsible que ese número siga creciendo en la medida en que vaya apareciendo nuevos materiales de encapsulación y surjan nuevos principios activos que requieren procesamientos específicos para su encapsulación (Cuatzo, 2010).

2.2. La *Moringa oleífera* Lam

La *moringa oleífera* es originaria de la india, Bangladesh, Afganistán y Pakistán, se cultiva principalmente en zonas tropicales, se le conoce de diferentes nombres regionales tales como benzolive, árbol palillo, ben, kelor, marango, mlonge, mulangay, saijihan y sajna (Fahey, 2005; Pérez *et al*. 2010; Foidl *et al*. 2016).

Un árbol de *moringa oleifera* puede llegar a medir entre 7 a 12 metros de altura y de 20 a 40 cm de diámetro, sus hojas son alternas, compuestas y dispuestas en grupos de foliolos con cinco pares estos acomodados sobre el peciolo principal y un foliolo en la parte terminal con una longitud entre 30 a 70 cm (Pérez *et al.*, 2010). La planta de moringa en condiciones óptimas de humedad y nutrientes puede llegar a crecer hasta tres metros en un periodo de nueve meses. (COOPI, 2011).

Las condiciones óptimas de temperatura para el cultivo de *moringa oleifera* son 25- 35 °C. Se considera como uno de los árboles más útiles del mundo, ya que casi todas las partes del árbol de *moringa oleífera* se puede utilizar para la alimentación, la medicación y con fines industriales (Khalafalla *et al*., 2010). El sabor de la *moringa oleífera* es agradable, las hojas, flores, se pueden comer crudas o cosidas de varias formas. Las personas las usan frescas como verduras, mientras que otros lo utilizan como alimento para el ganado (Anjorin *et al.,* 2010). La *moringa oleífera* puede proporcionar 7 veces más vitamina C que las naranjas, 10 veces más que la vitamina A

que las zanahorias, 17 veces más calcio que la leche, 9 veces más que la proteína del yogurt, 15 veces más potasio que el plátano y 25 veces más hierro que la espinaca (Mathur 2005). Este árbol es utilizado como forraje, para limpieza de encías, como aceite de girasol, néctar de miel, semillas en polvo y para purificación del agua, también es una fuente alternativa para combatir la desnutrición, especialmente en niños y mujeres lactantes (Anwar *et al.*, 2007).

Como todo cultivo la planta de *moringa oleífera* también es susceptible a adquirir plagas entre las más predominantes está el gusano desfoliador, picudo abultado y zompopo. Para tener un adecuado control de estas plagas se realizan de forma manual de eliminación. Ya que las poblaciones regularmente son de baja densidad, también se puede mencionar que el exceso de agua produce pudrición en la raíz. (Pérez *et al.*, 2010).

Con datos de Mathur, (2005) las características de la moringa se muestran a continuación en la tabla 2.

Tabla 1. Características principales de la *moringa oleifera*. Elaboración propia con datos de (Mathur, 2005)

Especie	Especies adicionales	Familia	Rango	Características
Moringa oleífera	*M. arborea* *M. borziana* *M.concanensis* *M. drouhardii* *M.hildebrandtii* *M. longituba* *M. ovalifolia* *M. peregrina* *M. pygmaea* *M. rivae* *M. ruspoliana* *M. stenopetala*	*Moringacea*	Indígena del subcontinente de india y naturalizada en áreas tropicales y subtropicales en todas las partes del mundo.	Árbol o arbusto caduco, crecimiento rápido, resistente a la sequía, altura promedio de 12 metros a su madurez.

Se cree que llego América por el intercambio de plantas realizado por los españoles de Filipinas, habiéndose encontrado referencias a esta especie en envíos de 1782, 1793, 1797 y 1872 (Pacheco, 2006).

Una de las causas por la que se cree que la *moringa oleífera* fue introducida en América Central en los años 20, fue porque el médico paraguayo Moisés Bertoni, le atribuyo propiedades curativas a la planta (Maíz, 2011).

2.2.1 Usos de la Moringa oleífera

Todas las partes del árbol de *moringa oleífera* tiene uso tanto medicinal como industrial (Makkar y Becker 2001, Castro 2013), como se muestra en la figura 4.

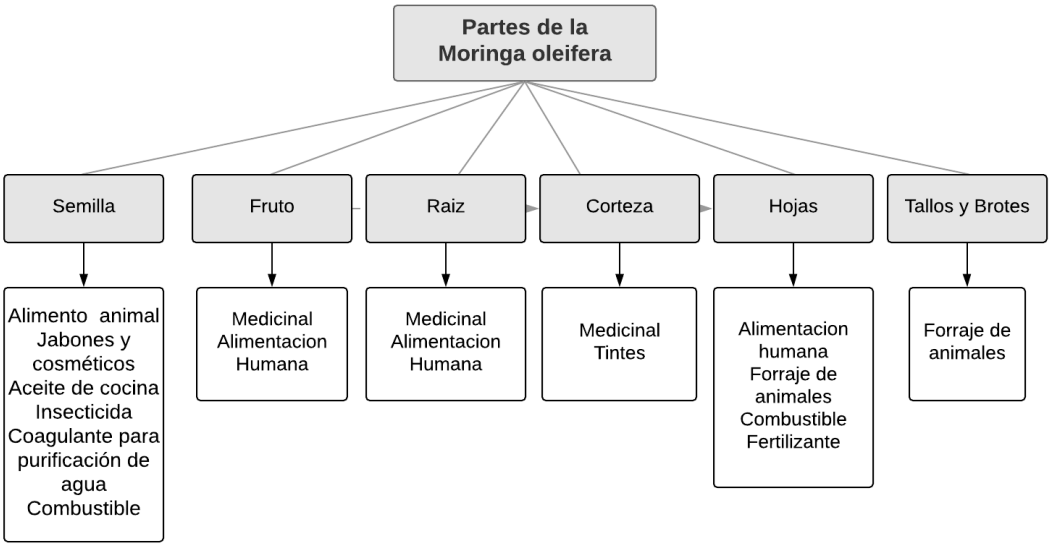


Figura 4. Partes de *moringa oleifera* y sus usos.
Elaboración propia con datos de (Makkar y Beckaer 2001, Castro 2013)

2.2.2 La *moringa oleífera* como suplemento alimenticio.

Todos los productos de origen natural tanto en la actualidad como en décadas anteriores era la única fuente de sustento alimenticio, así como para prevenir enfermedades y preservar la salud. En la actualidad estudios científicos han

evolucionado atendiendo paralelamente la eficiencia de las diferentes técnicas de producción alimentaria y la eficacia del diagnóstico clínico y el tratamiento de enfermedades. Lamentablemente en la actualidad la cultura alimenticia se ha visto afectada por las grandes cantidades de comida chatarra, embutidos, productos enlatados, procesados y congelados y en el momento de consumirlos ya su estado de nutrición es mínimo, por lo que se considera en la población el desperdicio de alimentos alcanza los 1,300 millones de toneladas al año, siendo una época en la que casi mil millones de personas pasan hambre, representando una pérdida de mano de obra de agua, energía eléctrica y otros insumos necesarios para la producción de alimentos (FAO, 2017).

La *moringa oleífera* es una de las alternativas más viables como complemento en la alimentación de las personas , ya que la *moringa oleífera* en la actualidad ha tenido mucha relevancia por su alto contenido de nutrientes, de acuerdo con recientes investigaciones tiene un alto contenido en vitaminas, minerales y otros fitoquímicos como: vainillina, ácidos grasos omega, carotenoides, ascorbatos, tocoferoles, ácido octacosanoico, moringina, moringinina, y fitoestrogenos son sustancias importantes en los efectos terapéuticos de la *moringa oleifera* (Martin *et al.*, 2013).

Las diferentes partes de la *moringa oleífera* contiene más de 40 compuestos con actividad antioxidante. Entre los compuestos con este potencial, ya sea por la actividad de captación de radicales libre o por capacidad de formación de quelatos de iones metálicos identificados en las semillas de moringa, se encuentran compuestos fenólicos como el kaempferol y los ácidos galico y eleagico (Sing *et al.,* 2009).

2.2.3 Usos provenientes de estudios experimentales

(Posmontier, 2011) menciona que después de una revisión de varios estudios experimentales, realizados en animales, encontró que la *moringa oleífera* tiene efectos beneficiosos en el sistema nervioso central, potencia el sueño y reduce la incidencia de enfermedad cerebrovascular; refiere, además, que aumenta la vitalidad en adultos mayores y que reduce los calambres nocturnos.

La india es uno se los lugares donde es más conocida y utilizada la *moringa oleífera,* la cual es utilizada en la medicina ayurvedica que es una técnica utilizada para tratar enfermedades, la cual contempla el uso de la *moringa oleífera* para prevenir o curar más de 300 enfermedades. Se dice que las hojas, frutos, raíces y semillas son útiles para combatir, anemia, ansiedad, asma, ataques de parálisis, bronquitis, catarro, cólera, congestión del pecho, conjuntivitis, deficiencia de esperma, déficit de leche en madres lactantes, diabetes, diarrea, disfunción eréctil, dolor en las articulaciones, dolores de cabeza, dolor de garganta, escorbuto, esguince, espinillas, falta de deseo sexual femenino, fiebre, gonorrea, hinchazón glandular, hipertensión arterial, histeria, impurezas en la sangre, infecciones cutáneas, llagas, malaria, otitis, parasitismo intestinal, picaduras venenosas, problemas de la vejiga y la próstata, soriasis, trastornos respiratorios, tos, tuberculosis, tumores abdominales, úlceras (Fuglie, 2001). Sus usos terapéuticos son practicados en varios países como Bangladesh, Egipto, Filipinas, Guatemala, India, Malasia, Myanmar, Nicaragua, Puerto Rico, Senegal, Sri Lanka, Tailandia y Venezuela, entre otros (Martin *et al.,* 2013).

2.3. Productividad

(Combeller, 1993:20) definió a la productividad "como *una medida de la eficiencia económica que resulta de la capacidad para utilizar inteligentemente los recursos disponibles"*, mientras que (Medianero, 2016:56) afirma que la productividad es *definida "como el valor real de la producción obtenida con una dotación dada de factores de producción"*. Por lo que podemos afirmar que la productividad es hacer más con menos. Desde una perspectiva amplia, la productividad ha ocupado un lugar prominente para apreciar el avance económico, tanto de las organizaciones como de las naciones. Para (Parra, 2001) la relación que existe entre calidad, productividad y costos, la podemos resumir en las siguientes posibilidades, que parecieran ser la más obvias:

- A mayor cantidad, mayor productividad y menos costos.
- A mayor productividad, menos costo y menor calidad. Si es que las estrategias para incrementar la productividad no consideran su impacto en calidad.
- A menor productividad, mayores costos y muy probablemente, menor calidad.

- Si a pesar de existir baja productividad, se intenta elevar la calidad, es muy probable que los costos se incrementen notoriamente para compensar la baja productividad.
- Aunque parezca redundante, es indispensable insistir en que los incrementos en la productividad conducirán, por definición, a la reducción de los costos.

(Medianero 2016) comenta que el estudio de la productividad, incluyendo su medición, puede hacerse por otra parte a varios niveles. Puede medirse y ser analizada la productividad de una empresa, así como también la productividad de un país o, también, de un trabajador individual o un proceso.

Por su parte (Arzube y Huacon ,2019) nos dice que la medición de la productividad puede ser bastante directa. Tal es el caso si la productividad puede medirse en horas-trabajo por tonelada de algún tipo específico de acero, o bien, como la energía necesaria para generar un kilowatt de electricidad.

Un ejemplo puede resumirse en una ecuación:

Productividad = Unidades Producidas/ Insumos Empleados

A veces la productividad se considera como un uso más intensivo de recursos, como la mano de obra y las máquinas, que debería indicar de manera fidedigna el rendimiento o la eficiencia, si se mide con precisión. Sin embargo, conviene separar la productividad de la intensidad de trabajo porque, si bien la productividad de la mano de obra refleja los resultados beneficiosos del trabajo, su intensidad significa un exceso de esfuerzo y no es sino un incremento de trabajo.

2.4. Costos de producción.

Los costos de producción, es decir, el valor de los recursos que se emplean para la producción de un bien o servicio representa una pieza de información básica y fundamental para la firma, o para el diseñador de política en cualquier sector de economía. (Bernard,1975).

Los costos de producción requieren de un monitoreo especial para lograr mantener la empresa en el mercado; éstos deben ser monitoreados constantemente para garantizar la rentabilidad y la ganancia neta de las empresas, que de esta manera pueden ofrecer productos con precios competitivos en el mercado. De acuerdo con Gayle (1999), la contabilidad de costos es un elemento fundamental en el proceso productivo; ésta identifica, mide, define, reporta y analiza los diversos elementos de costos. Su principal objeto es comunicar información financiera y no financiera a la administración a efecto de ejercer la planeación, el control y la evaluación, para la toma de decisiones. Según el Diccionario de la Contaduría General de la Nación (1998) los costos son erogaciones o causaciones de obligaciones ciertas, relacionadas directamente con los procesos de producción de bienes o prestación de servicios que se recuperan en el desarrollo de la actividad de enajenación.

En su acepción más simple y contablemente hablando, Hongren *et al.,* (1996) y Polimeni *et al.,* (1994), definen un costo como un recurso al que se sacrifica o al que se renuncia para alcanzar un objetivo específico. Los costos se miden en unidades monetarias y constituyen el valor que se paga para adquirir bienes y servicios. En tal sentido, al definir los costos de producción (también llamados costos de fabricación o manufactura) se agregan nuevos elementos; los desembolsos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento.

En tal sentido, Pedersen (1958) citado por Mallo *et al.,* (1998), define costos como el consumo valorado en dinero de bienes y servicios para la producción que constituye el objetivo de la empresa, mientras que para Schneider (1962), citado por Mallo, *et al.,* (1998), costos es “el equivalente monetario de los bienes aplicados o consumidos en el proceso de producción”.

Los costos de producción presentan varias clasificaciones que se deben analizar; ellas atienden a diversidad de criterios y cada una aplica a condiciones específicas. Autores contemporáneos como Polimeni, *et al.,* (1994), Horngren, *et al.,* (1996), Gayle (1999) y Hansen y Mowen (1996), establecen que los costos de producción están integrados por: Costos de materiales, costos de mano de obra y costos indirectos de fabricación.

2.4.1 Procesos Productivos

Para definir el proceso productivo es importante conceptualizar el término producir, que según el diccionario pequeño Larousse (1997: 825) significa fabricar, *transformar materias primas en manufacturadas*. Por su parte Davis, *et al.,* (2001: 7), definen el proceso de fabricación o como lo denominan Fernández, *et al.,* (2003:9) *proceso productivo; como el conjunto de actividades mediante las cuales uno o varios factores productivos (tierra, capital, tecnología y fuerza de trabajo) se transforman en productos; dicha transformación crea riqueza y añade valor a los insumos o componentes de la empresa; a medida que avance el producto a lo largo del sistema de producción mayor será el valor del adquirido*. Para Chase, *et al.,* (2000:6) *un sistema de producción es simplemente aquel que utiliza recursos operacionales (máquinas, personas, herramientas o un complejo sistema de producción) para transformar las entradas o insumos en algún tipo de resultado deseado: bienes y servicios*, mientras que Sipper y Bulfin (1998:7), agregan que dichas salidas deben tener un valor inherente, definiéndolo en su acepción más simple como cualquier actividad que produzca algo. Al respecto, Rodríguez, *et al.,* (2002: 137), establecen que el proceso productivo *está referido a la utilización de recursos operacionales que permiten transformar la materia prima en un resultado deseado, que bien pudiera ser un producto terminado*.

Un Sistema de producción atraviesa por varias etapas que van desde su nacimiento hasta su madurez. Chase, et al (2000:11) *dividen estas etapas de la manera siguiente: Nacimiento del sistema, diseño del producto y selección del proceso, diseño del sistema, administración de la cadena de suministros y revisión del sistema.*

Por último, Medianero (2016) comenta que un factor de producción es cualquier bien o servicio utilizado por la empresa para producir. Entre estos se encuentra el trabajo, la maquinaria, los materiales como el acero y el caucho e, incluso los útiles de oficina y energía. En términos generales se utiliza un sentido muy amplio y designa a cualquier cosa que intervenga en el proceso de producción desde los altos directivos hasta los lapiceros y los escritorios.

El concepto de procesos productivos en la práctica da lugar y se asimila al de técnica de producción, que es un determinado proceso de producción en el cual se especifica de manera inequívoca los factores de producción, su lugar y rol exactos en el proceso productivo. Según (Ballestero,1978) para que un proceso quede bien definido y constituya como tal una técnica, no basta con enumerar los factores que intervienen en ella. Hay que añadir de qué forma se utiliza el trabajo, así como la cantidad y calidad de factores.

2.5 Maquinaria para encapsulado.

Figura 5. Encapsuladores manuales con capacidad de 200 capsulas

Las encapsuladoras son máquinas utilizadas en la producción industrial de cápsulas y las hay de distintos tipos. Esta maquinaria llena, acomoda, estampa y tapa con mayor rapidez las cápsulas todas juntas sin necesidad de haber contacto con las manos. Las encapsuladoras pueden ser usadas en plantas farmacéuticas, hospitales, clínicas y hogares en pequeña y gran escala. (Pedroza, 2002).

Existen diferentes tipos de maquinaria para encapsular como son las encapsuladoras manuales, semiautomáticas o automáticas, estas nos permiten el proceso de llenado y cierre de las cápsulas, figura 5. Sin embargo, cualquiera de ellas sigue el mismo principio de funcionamiento:

1.-Se colocan las cápsulas en placas con espacios diseñados a la medida de las cápsulas para evitar que se muevan, se deslicen o se caigan.

2.-Se destapan las cápsulas colocadas en las placas. El orden de este paso es variable, ya que se pueden destapar las cápsulas antes de colocarlas en la placa.
3.-La placa se eleva ligeramente hasta quedar al ras de las cápsulas.
4.-Se esparce el polvo con el o los ingredientes sobre la placa y es repartido entre las cápsulas con la ayuda de una espátula.
5.-Si el polvo sobresale de la cápsula puede usarse un compactador múltiple que corrija esta situación.
6.-Una vez que el polvo se verte dentro de las cápsulas se colocan las tapas para cerrar las cápsulas y se repite la operación tantas veces como sea necesario.

Después de seguir todo este proceso, las cápsulas pasan al proceso de envasado en blíster, en cajas o en la presentación elegida para su comercialización. Si la encapsuladora utilizada es manual, todo el proceso se realiza a mano, se destapan las cápsulas una a una, se esparce el polvo tomando directamente el recipiente que lo contenga y se tapan las cápsulas a mano, una a una. En el caso de las encapsuladoras semiautomáticas tanto el proceso de tapar como el de destapar las cápsulas se lleva a cabo con la ayuda de dispositivos de manipulación múltiple, aunque se mantiene la necesidad de verter el polvo a mano. Las encapsuladoras automáticas, como su nombre indica, realizan todo este proceso automáticamente, sin necesidad de la intervención humana.

2.6 Historia de la Simulación

El origen de todos los métodos modernos de simulación proviene de los que se conocen como método de Monte Carlo, el cual recurre el uso del muestreo aleatorio para estimar el resultado de los experimentos. Este método fue utilizado en 1940 por J.Von Newmann y otros investigadores, junto con equipos militares de investigación durante la segunda guerra mundial. (Ulam: 1951; Meyer: 1956).

A finales de los años cincuenta, Jay W. Forrester también comenzó a proponer la consideración del estudio de la dinámica de sistemas y el desarrollo de lenguajes especializados para simular sistemas continuos en computadoras digitales; así, a partir

del desarrollo del lenguaje DYNAMO (Dynamic Models), se han abordado la simulación dinámica industrial, la urbana y la mundial, entre muchas otras (Forrester: 1961, 1969, 1971).

Conforme las computadoras llegaron a ser más rápidas y baratas, el valor de la simulación comenzó a crecer en el ámbito industrial. Se podría afirmar que la simulación permite experimentar con un modelo del sistema para comprender mejor los procesos, con el fin de mejorar la actividad de las empresas (Harrington, y Tumay, 1999)

En 1980 la simulación contaba con otra herramienta de apoyo, la animación. En este tiempo muchas de las grandes firmas requerían de un estudio de simulación antes de la aprobación de grandes proyectos de inversión.

Actualmente la animación, los programas amigables, la velocidad de las computadoras y el surgimiento de los simuladores han permitido que la simulación sea una herramienta accesible para la mayoría de las compañías. La simulación también ha invadido la industria de los servicios donde se está aplicando en muchas áreas no tradicionales. Existen sólidas bases para creer que la simulación continuara creciendo y siendo aceptada. Ejemplo de ello es la integración de la simulación con otros paquetes computacionales que se utilizan para recolectar, almacenar y analizar los datos del sistema, como lo son hojas de cálculo, bases de datos, procesadores de textos. (Aracil, ,1986)

En la actualidad se busca que los analistas construyan modelos diseñados especialmente para su industria y compañía, empleando terminología que este directamente relacionada con su medio ambiente. Se espera también que las simulaciones ya no sean usadas solamente una vez, si no que lleguen a ser una parte critica de la operación del sistema continuo. Por lo tanto el mayor impedimento para realizar la simulación exitosa está en la habilidad de modelación.

2.6.1 Definiciones de la Simulación

La definición de la simulación no es única si no que depende del área en que se aplique. Según el diccionario de la Real Academia Española, simular es "*representar algo, fingiendo o imitando lo que no es"*. Dentro del campo científico, la definición de simulación ha evolucionado a lo largo de la historia de una forma paralela a la Investigación de operaciones. Esta evolución también se ha dado por el cambio de ordenadores personales que existen en la actualidad y son los soportes para realizar una simulación.

La evolución que ha tenido el término de simulación se puede analizar de acuerdo con diferentes autores:

(Naylor,1971:7) "*La simulación es una técnica numérica para realizar experimentos con cierto tipo de modelos matemáticos que describen el comportamiento de sistemas complejos a lo largo de grandes periodos de tiempo*".

Por otra parte (Shannon,1975:5) la define como "*La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento de este*".

Y por último (Prawda,1980:4) "*La simulación es un proceso numérico diseñado para experimentar el comportamiento de cualquier sistema en una computadora digital a lo largo de la dimensión tiempo*".

En estas definiciones intervienen una serie de términos como modelo, sistema, proceso y experimentación cuyo significado conviene aclarar a partir de (Aguarón *et al.,* 1993).

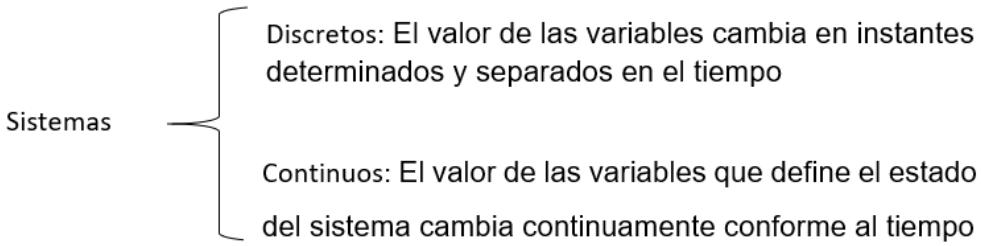
Simular en sistemas de computadoras ofrece un método para analizar el comportamiento de un sistema (Fishman, 1978). Los sistemas varían en sus características y las complejidades que se presenten, la síntesis de información del modelo es la ciencia de la computación y las técnicas estadísticas que representan un

tipo de simulación. La simulación, es el conjunto de actividades que permiten imitar el comportamiento del sistema real y sacar conclusiones de este, mediante la experimentación del modelo apropiado al sistema considerado.

Podemos afirmar que una simulación permite experimentar con un modelo del sistema para comprender mejor los procesos, con el fin de mejorar la actividad en las empresas (Harrington y Tumay, 1999).

2.7 Sistemas y Modelos en Simulación

En la simulación, como la mayoría de los métodos de análisis, implica el uso de sistemas y modelos. Un sistema se trata de un conjunto de elementos que se interrelacionan para funcionar como un todo; desde el punto de vista de la simulación, tales elementos deben de tener una frontera clara. Cada entidad o componente tiene sus características propias, definidas por un conjunto de variables. El entorno o medio ambiente define el resto de las componentes que no forman parte del sistema pero que pueden influir en el mismo. El estado del sistema se define como la condición que guarda el sistema bajo estudio en un sistema determinado. García, *et al.,* (2006). Existen dos tipos de sistemas, discretos y continuos según sea el valor de dichas variables:



Como se puede observar, un sistema casi nunca es completamente discreto o continuo. En los procesos de simulación de cualquier sistema se deben definir los parámetros mostrados que se enlistan en la tabla 3.

Tabla 2. Parámetros del Sistema

Componente:	Parte importante del sistema
Atributo:	Se refiere a las propiedades de cualquier componente del sistema
Actividad:	Cualquier proceso que causa cambios en el sistema
Estado del sistema	Descripción de los componentes, sus tributos y actividades de un sistema, en un determinado periodo de tiempo. Por lo que podemos decir que los cambios que sufran estos atributos determinaran el comportamiento del sistema.

Sistema:

Fishman, (1978) considera a los elementos de un sistema, como se muestra en la figura cinco, la entrada que son los estímulos externos que afectan un sistema, la salida es la medida del cambio del sistema o la respuesta que tienen a factores externos y la retroalimentación, que es la capacidad del sistema para reaccionar a los cambios que ocurren dentro de su propio estado.

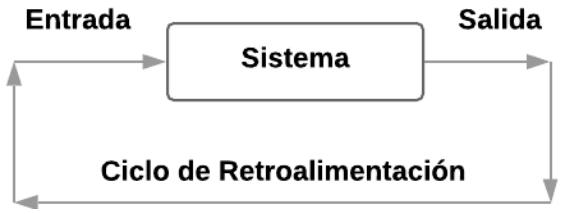


Figura 6. Elementos del sistema (Fishman, 1978)

Estudiar los sistemas tiene la finalidad de encontrar soluciones para optimizar su funcionamiento. El estudio de los sistemas debe de tener en cuenta las restricciones que rigen su comportamiento, y de esta forma, tener presente la optimización del sistema está limitada.

Modelo: Conjunto de información relativa a un sistema que permite su estudio. Un modelo también puede definirse como la representación de una teoría u observación empírica con la que se puede manejar un problema y encontrar, mediante técnicas

diferentes, la mejor solución a dicho problema. La cantidad que influya en el modelo repercutirá en la representación exacta del sistema real (Fisher, 1978). Una clasificación de modelos se muestra en la figura 7 de la siguiente forma:

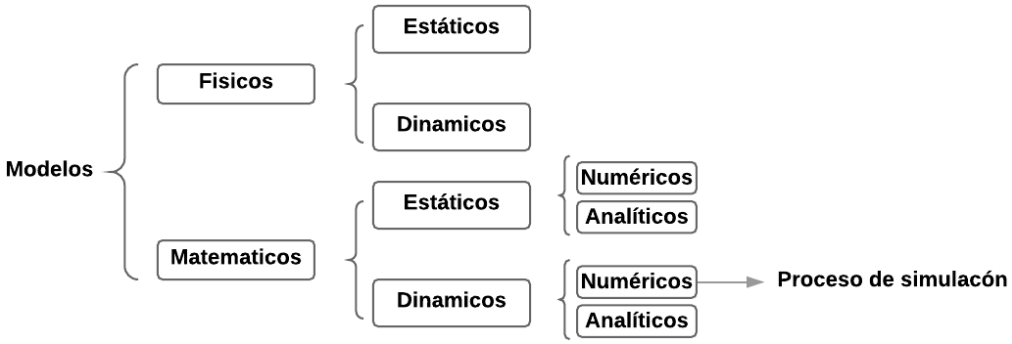


Figura 7 Clasificación de modelos.

García *et al.,* (2006) explican que los modelos matemáticos estáticos representan un resultado bajo un conjunto de situaciones o condiciones determinado, por ejemplo, seria lanzar un dado los valores que se pueden obtener es 1,2,3,4,5 de manera que el resultado de la simulación será uno de los valores posibles encuentran, este tipo de simulación es conocida como la simulación de Monte Carlo. Los modelos matemáticos pueden ser determinísticos y modelos probabilísticos también conocidos como Estocásticos. Los primeros refieren a las relaciones constantes entre los cambios de las variables de los modelos, por ejemplo, si las cajas empleadas en un proceso contienen 5 productos, cada vez que se añade una caja al inventario este se incrementa en 5 unidades. García *et al.,* (2006).

2.7.1 Criterios para realizar un buen modelo de simulación.

Perez-Gallardo (2009) afirma que la simulación como el proceso del diseño de un modelo de un sistema real y la realización de experimentos con el mismo, con el propósito de atender ya sea el comportamiento del sistema o la evaluación de varias estrategias que se consideran para la operación del sistema. Esto implica el establecer ciertos criterios que debe incluir todo modelo de simulación:

- Fácil de entender por parte del usuario.
- Dirigido a metas u objetivos.

- ❖ No dé respuestas absurdas.
- ❖ Fácil de controlar y manipular por parte del usuario.
- ❖ Completo, en lo referente a asuntos importantes.
- ❖ Evolutivo, es decir, que debe ser sencillo al principio y volverse más complejo, de acuerdo con el usuario.

2.7.2 Tipos de simulación.

Según Law (2000), la técnica de simulación está clasificada en tres tipos que actualmente se utilizan en las industrias:

1. Modelo analógico: Este remplaza el modelo original o físico por análogo de mayor facilidad en su manejo, por ejemplo, la representación de un sistema mecánico con un sistema eléctrico equivalente, donde el ultimo es el más simple de modificar.
2. Modelo continuo: Representa al sistema que experimenta cambios uniformes en sus características de tiempo, por ejemplo, en un sistema de inventarios, la producción podría incluir cambios de nivel de inventario, venta, demanda no surtida y pedidos pendientes.
3. Modelos discretos. Se estimula observándolo únicamente en puntos seleccionados en el tiempo.

Por su parte García *et al.,* (2006) afirman que las simulaciones continuas y discretas son herramientas importantes en la práctica, el tipo discreto es el que por lo general se presenta juntamente con los temas de la investigación de operaciones. La razón es que la simulación discreta está relacionada de forma más cercana con los modelos de colas.

Beneficios de la simulación

Entre los beneficios que con lleva una simulación, es importante mencionar que es imposible garantizar que un modelo tendrá éxito. Existen diferentes situaciones claves que si no se les pone atención al momento de utilizar la simulación para la toma de

decisiones. (García *et al.,* 2006).

- Amplia visión del efecto producido por cambios en el sistema de manufactura ya sea que exista o no.
- Gran capacidad de crear modelos realistas.
- Beneficios potenciales.
- Incrementar producción, reducir inventarios.
- Incrementar utilización de máquinas y trabajadores, reducir requerimientos de capital.

Áreas de aplicación de la simulación

La simulación puede ser vista como una herramienta útil para desempeñar en diferentes áreas específicas. Como sugiere Banks *et al.,* 2001), la simulación puede ser aplicada para los siguientes propósitos:

1.- La simulación permite el estudio de y la experimentación con las interacciones internas de un sistema complejo, o de un subsistema con un sistema complejo.
2.-Se pueden observar y simular los cambios informacionales, organizacionales y del entorno, así como el efecto de estas alteraciones en los comportamientos del modelo.
3.- El conocimiento obtenido en el diseño de un modelo de simulación puede ser de gran valor para la propuesta de mejoras en el sistema que se está investigando.
4.- Mediante el ajuste de las entradas en la simulación y sus resultados, es posible detectar valiosas percepciones respecto a las variables clave de un proceso y sus interacciones.
5.-La simulación puede usarse como un dispositivo pedagógico para reforzar las metodologías de las soluciones analíticas.
6.- La simulación puede usarse para experimentar con los nuevos diseños o normas antes de su implementación, así como para prepararse para lo que pueda suceder.
7.- La simulación puede usarse para verificar las soluciones analíticas.

Ventajas y desventajas de la simulación

La técnica de simulación generalmente se ve como un método de último recurso, recientemente avances en las metodologías de simulación y la gran disponibilidad de software que actualmente existe en el mercado han hecho que la técnica de simulación sea una de las herramientas más ampliamente usadas en el análisis de sistemas.

Dunna, *et al.,* (2006) citan las siguientes ventajas y desventajas que se presentan en una simulación:

1.-Es muy buena herramienta para conocer el impacto de los cambios en los procesos sin necesidad de llevarlos a cabo en la realidad.
2.-Mejora el conocimiento del proceso actual al permitir que el analista vea cómo se comporta el modelo generado bajo diferentes escenarios.
3.-Puede utilizarse como medio de capacitación para la toma de decisiones.
4.-Es más económico realizar un estudio de simulación que hacer muchos cambios en los procesos reales.
5.-Permite probar varios escenarios en busca de mejores condiciones de trabajo de los procesos que se simulan.
6.- En problemas de gran complejidad, la simulación permite generar una buena solución.
7.- En la actualidad los paquetes de software para simulación permiten generar una buena solución, gracias a las herramientas de animación que forman parte de muchos de esos paquetes.

Dentro de las desventajas de la simulación se encuentran principalmente las siguientes:

1.-Aunque muchos paquetes de software permiten obtener mejor escenario a partir de una combinación de variaciones posibles, la simulación no es una herramienta de optimización.
2.-La simulación puede ser costosa cuando se quiere emplear en problemas relativamente sencillos de resolver, en lugar de utilizar soluciones analíticas que se desarrollan de manera específica para este tipo de casos.

3.-Se requiere bastante tiempo, generalmente meses para realizar un buen estudio de simulación.

2.7.3 Pasos para un estudio de simulación

Law, (2014) enumera que para un estudio de simulación se requieren la ejecución de una serie de actividades y análisis. A continuación, se mencionan los pasos básicos para realizar un estudio de simulación:

Formulación del problema: En esta etapa se identifican las condiciones necesarias para que el problema exista. Tras esto se analiza y clasifica el problema, indicando las partes de este en las que es necesaria la simulación.

Recolección de la información requerida y definición del modelo: En este paso se capturan lo datos disponibles que se requieren para la definición del comportamiento del sistema. Existen tres posibles fuentes para generar información: datos históricos o series de tiempo, opiniones de expertos y estudios de campo. La definición del modelo implica describir el sistema en forma modular y por bloques. El conjunto de estos módulos es el sistema bajo estudio. En cada módulo se identifican los componentes, atributos, parámetros de entrada y las relaciones de estos. Cada bloque debe de contener únicamente la información relevante.

Validación del modelo: Validar el modelo consiste en analizarlo junto con personas familiarizadas con la operación del sistema.

Construcción del programa de computadora y validación: Los pasos a seguir para formular un programa de computadora son:

1. Elaborar un diagrama de flujo que muestre el efecto de las diferentes actividades sobre los componentes importantes de un sistema.
2. Diseñar la programación en algún lenguaje en especial.
3. Verificar errores.
4. Probar el programa de computadora hasta eliminar todos los errores lógicos y no lógicos.
5. Generar resultados.

Realización de corridas piloto: Los formatos de los resultados de las diferentes corridas de computadora de un proceso de simulación, se deberán diseñar en función a la comunicación inteligente que se tendrá con los usuarios.

Validación del programa de computadora: Definición del modelo: en esta etapa es necesario conocer el sistema a modelar. Para ello se origina el estudio de simulación y establecer los supuestos del modelo: definir con claridad las variables de decisión del modelo.

Diseño de experimentos de simulación: cuando se ha validado el programa de computadora, se entra en la fase de diseño de experimentos que se quieren simular. Deben definirse las variables endógenas y exógenas y las estructuras formales funcionales que las relacionan, así como el número de simulaciones independientes para cada alternativa a experimentar.

Corridas del programa: Se corre el programa el número de veces indicado en el diseño de experimentos.

Análisis de resultados: El análisis de resultados consiste en recolectar sistemáticamente los datos producidos por la simulación, calcular ciertas estadísticas, y por último interpretarlas.

Documentación e interpretación de resultados: La validación externa de la simulación se lleva a cabo comparando tanto la similitud entre los resultados y las posibles series históricas que se poseen, como el uso que los decisores le den a esta herramienta.

2.8 Software Arena.

Arena es un sistema que provee un entorno de trabajo integrado para construir modelos de simulación en una amplia variedad de campos; integra, en un ambiente fácilmente comprensible, todas las funciones necesarias para el desarrollo de una simulación exitosa (animaciones, análisis de entrada y salida de datos y verificación del modelo). (Fabregas, Wadnipar, y Mancilla, 2007).

Arena es una aplicación desarrollada por *Rockwell Software* que permite la realización de modelos de simulación más o menos complejos, orientados a eventos discretos en el mundo de la industria que, al igual que el resto de los simuladores, permite definir

estrategias antes de su implementación en vivo sin tener que perder tiempo y dinero en errores. Con este simulador, el modelo a experimentar se construye con módulos en bloques conectados entre sí, que representan procesos y funciones, ejecutados según un flujo definido por estas conexiones y que recorren las entidades del sistema. Mientras que los módulos tienen acciones específicas relativas a las entidades, flujo y temporización, la representación exacta de cada módulo y de la entidad en relación con los objetos de la vida real está sujeto al modelador.

Se realiza una descripción de los principales módulos de flujo, de datos del software según la guía de (Bradley, 2007).

Menús.

En el software de simulación Arena están disponibles los menús File, View, Tools y Help. Una vez se abre un modelo, se añaden los menús Edit, Arrange, Object, Run y Windows. Muchos de los elementos que cuelgan de estos menús son funciones estándar de Windows, por lo tanto, sólo se entrará a comentar aquellos que sean específicos de Arena. En Arena se manejan varias barras de herramientas, cada una tiene varios grupos de botones, con menús desplegables para acceder rápidamente a actividades comunes.

Arena posee varias barras de herramientas con grupos de botones y menús desplegables para poder facilitar el acceso directo a las funciones con mayor uso. Las barras de herramientas disponibles en Arena son: La barra de herramientas Standar, la barra de herramientas View, la barra Run Interaction y la barra Arrange cada se corresponde con la barra del menú del mismo nombre. La barra de Draw no tienen correspondencia con opciones de menú, por tanto, los dibujos únicamente se pueden realizar accediendo a la barra de herramientas. Así es como se pueden dibujar líneas, poli líneas, arcos, etc., para vestir el modelo. (Altiok, y Melamed, 2010).

En la figura 8. se puede ver la ventana principal del Arena, es ahí donde se diseñará el modelo de simulación.

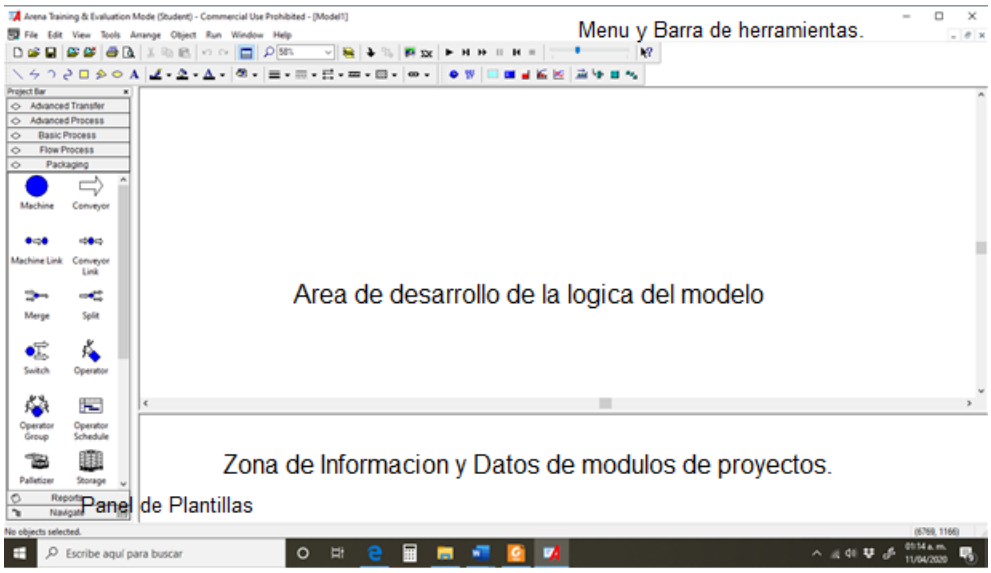


Figura 8. Ventana principal de Arena

Sobre la derecha de la ventana encontramos las vistas generales del modelo. En esta área de trabajo se genera el modelo y la simulación, en la sección superior de la misma esta la parte grafica donde el diagrama de flujo del modelo y la animación pueden ver y trabajar, en la inferior encontramos un área de datos que nos permite editar las propiedades de cualquier modulo seleccionado, en el lado izquierdo encontramos la barra de proyecto, en ella encontramos distintas pestañas que controlan todos los aspectos de una simulación.

Los módulos que representan los distintos procesos en un modelo se encuentran ordenados por por clase dentro de paneles representados en las pestañas, en esa parte son agregados a un modelo en desarrollo. También hay dos pestañas que nos permiten ver otros aspectos de la simulación, la primera, llamada Reports la cual nos muestra en forma de árbol la estructura de los reportes con los resultados de los experimentos y la segunda, Navigate nos permite hacer paneos por áreas de trabajo grandes en modelos complejos. En esta parte podemos generar vistas personalizadas que nos llevan directamente a áreas predefinidas del modelo lógico o la animación.

Arena funciona construido con el lenguaje de programación para simulaciones SIMAN. Esto proporciona una combinación de facilidad de uso por interfaz y su versatilidad de un lenguaje de programación, aunque esta combinación se explota de una manera muy

interesante para el usuario gracias a la estructura jerárquica con la que cuenta, la cual permite construir, armar de nivel bajo y combinarlas para formar una complejidad y mayor funcionalidad mayor que se inserta en una estructura de un nivel superior en la jerarquía.

A continuación, se muestran los paneles de procesos de procesos de acuerdo con el manual de (Bradley, 2007).

Panel de procesos básicos de Arena.

En este apartado se describirán los módulos de los que consta el Panel de Procesos Básicos, que se puede contemplar en la figura 9. el cual se ha utilizado en su mayoría para la realización del proyecto.

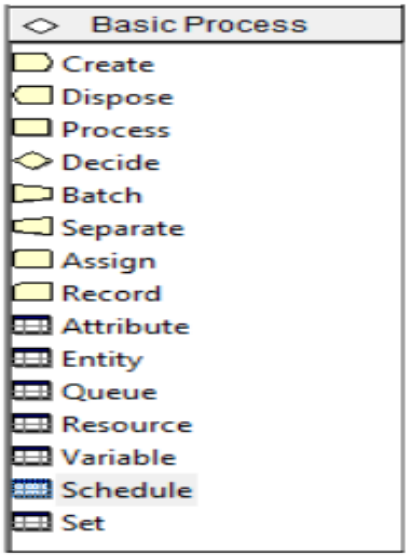


Figura 9. Panel de Procesos básicos de Arena

Otros paneles

En el proyecto además del panel principal se han usado módulo de otros paneles más avanzados que se explican a continuación. Del panel procesos avanzados de Arena que se puede ver en la figura 10. se han utilizado los siguientes módulos:

Figura 10. Panel de procesos avanzados de Arena

2.8.1 Conceptos básicos de la simulación Arena

En arena podemos identificar distintas partes de un modelo de simulación, así como la importancia de cada una de ellas a la hora de modelar y ejecutar:

(Piera, 2004) Describe que los elementos más importantes son:

Entidades: Es el término utilizado para representar personas, objetos, o cualquier otra cosa, reales o imaginarias, que se mueven a través del modelo, pudiendo causar cambios en el estado del sistema o afectar a otras entidades. Son los objetos dinámicos en la simulación, son creadas, pasan a través de una sucesión de procesos y luego desaparecen, en el caso de los modelos de ciclo abierto ya que, no obstante, es posible tener entidades que nunca dejen el sistema, sino que permanezcan circulando por él. Sin embargo, todas las entidades han de ser creadas, bien por uno mismo o automáticamente por el software.

Atributos: Para individualizar entidades, se les asignan atributos, un atributo es una característica común de todas las entidades, pero con un valor específico que permite diferenciar una de otra. Lo más importante con respecto a los atributos es que sus valores están unidos a entidades específicas, el mismo atributo tendrá normalmente valores diferentes para entidades distintas. Así, los atributos son variables locales (local para cada entidad). Arena puede asignar estos atributos automáticamente o ser definidos por uno mismo si es necesario.

Variables: Una variable es una parte de información que refleja algunas características del sistema, sin importar cuántas o qué tipos de entidades pueda haber.

Sistemas con logística de retorno: Aplicación al caso de contenedores retornables única. Hay dos tipos de variables: variables fabricadas por Arena (número de entidades en la cola, número de recursos ocupados, tiempo de simulación, etc.) y variables definidas por el usuario (número de entidades en el sistema, etc.). Al contrario que los atributos, las variables no están unidas a una entidad específica, sino que más bien pertenecen al sistema en general. Son accesibles por todas las entidades y muchas pueden ser cambiadas por alguna entidad.

Recursos: Para que sobre una entidad se realice un proceso determinado será necesaria la presencia de uno o varios recursos que presten ese servicio, los recursos representan todo aquello necesario para realizar un proceso: personas, máquinas, herramientas, etc. Son elementos estáticos del modelo y en ellos son alojadas las entidades, presentando posibles estados distintos definidos por el usuario: ocupados, libres, en fallo.

Colas: Son espacios de espera para las entidades en su movimiento por el sistema, cuando estas han sido detenidas por causas del fallo del sistema, por ejemplo, si un determinado recurso está ocupado y la entidad quiere acceder a él, ha de esperar hasta que esté disponible, son elementos pasivos del modelo, no se pueden crear durante la ejecución del programa.

Estaciones: Arena representa los sistemas dividiéndolos en subsistemas, estos subsistemas son llamados estaciones, de esta forma, el modelo se hace más manejable y se proporciona una forma fácil de definición del movimiento de entidades entre partes del sistema.

Conveyors y transporters*:* Una entidad puede ser transferida de una estación a otra de diferentes formas:

Una conexión directa: La entidad no ha de esperar a que esté disponible ningún medio de transporte, en el camino se invierte un tiempo fijado por el usuario, pudiendo especificarse como cero.

Conveyors: Funcionan como cintas transportadoras, una vez que la entidad pide el acceso desde una estación para dirigirse a otra, ha de esperar a que exista sitio en la

cinta para comenzar el transporte, se detallarán más características de este transporte en puntos posteriores del proyecto.

Acumuladores Estadísticos: Para conseguir medidas de los resultados o salidas llevados a cabo, hay que hacer uso de varias variables que actúan como acumuladores estadísticos conforme la simulación progresa, como pueden ser: el número de partes producidas, el total de tiempo esperando en una cola, número de entidades que han pasado a través de una cola, el mayor tiempo que se ha permanecido en la cola, el total de tiempo que pasa en el sistema para todas las entidades que van desapareciendo, el área ocupada debajo de la curva de algunas funciones.

Eventos: A la hora de ejecutar el modelo, básicamente todo se centra en los eventos. Un evento es algo que ocurre en un instante de tiempo (simulado) que puede hacer cambiar, atributos, variables o acumuladores estadísticos, como pueden ser: la llegada o la salida del sistema de una entidad, el final de la simulación, etc. Para poder ejecutar, una simulación debe seguir los eventos que se supone que ocurrirán en el futuro (simulado).

(Piera, 2004) Describe que en Arena, esta información es guardada en un calendario de eventos denominado:

Reloj de Simulación: El tiempo actual en la simulación es guardado en una variable llamada reloj de simulación, el transcurso de este tiempo no tiene por qué coincidir con el real, se puede acelerar o retardar, este reloj marca el transcurso de los eventos del calendario y es una parte muy importante de la simulación dinámica (el reloj es una variable llamada TNOW).

Comienzo y Parada: Una cuestión muy importante en la simulación es cómo empezar y parar, Arena hace muchas cosas automáticamente, pero no es capaz de decidir cuestiones del modelado como el comienzo y la parada, el usuario es quien debe determinar las condiciones apropiadas de comienzo, cuánto debería durar la ejecución y si se debería parar en un instante particular de tiempo o cuando ocurra algún suceso específico. Estas decisiones pueden tener un gran efecto tanto en los resultados como en las cosas más obvias como pueden ser los valores de los parámetros de entrada.

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del estudio

Ingeniería del Agropecuaria del Papaloapan está ubicada en el Rancho Tierra Adentro, perteneciente a la Congregación de Joachín, municipio de Tierra Blanca, Veracruz.

Entre las coordenadas 18°39'26" de latitud norte y 96°17'58" de longitud oeste, a una altitud de 63 metros, teniendo un área de influencia aproximada de 1,000 hectáreas dentro de los paralelos 18°38'53"N y 18°39'51"N y meridianos 96°18'18.54"O 96°16'43.34"O dentro de la zona UTM 14 a una altitud de 63 metros. Se sitúa sobre la zona climática tipo Aw" 2 (w) (e) g, cálido subhúmedo, con una temperatura promedio de 27.4 °C. Se presentan lluvias en verano, extensa época de canícula, la precipitación pluvial en la zona alcanza un volumen promedio anual de 1,573 milímetros, concentrándose el mayor registro en la segunda mitad del año (SMN, 2016). La Unidad de Producción Acuícola fue legalmente constituida como Ingeniería Agropecuaria del Papaloapan bajo la denominación Sociedad de Producción Rural de Responsabilidad Limitada el 23 de enero de 2006. Cuenta con un con un sistema de producción que se caracteriza por ser de baja tecnología y a un nivel artesanal, actualmente cuenta con una superficie establecida de una hectárea y media con un total de 1,150 árboles en producción de dos años.

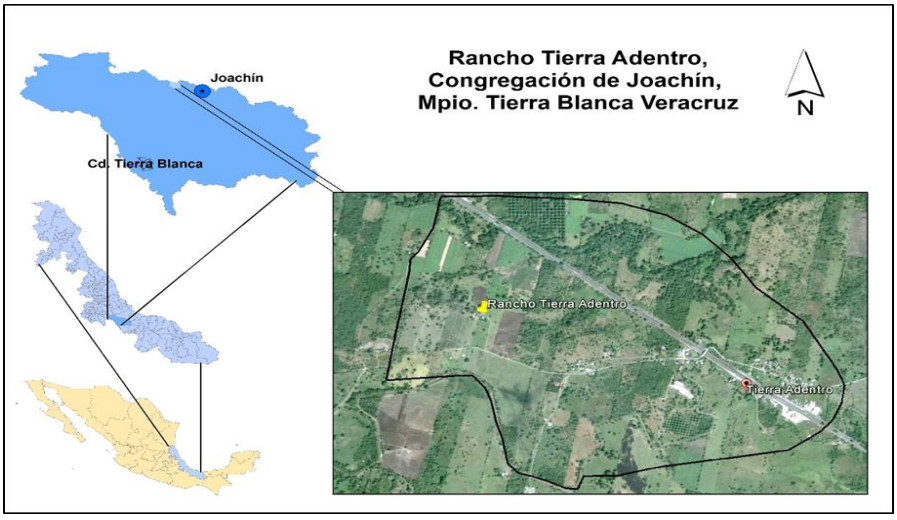


Figura 11. Ubicación del sitio de estudio

Las instalaciones de procesamiento de su sistema de producción están divididas en estaciones de trabajo lejanas una de otra, la cual hace que existan muchos tiempos muertos durante el proceso de producción, se cuenta con un encapsulador manual con capacidad de 200 capsulas.

La distribución de la planta se muestra en la figura 12.

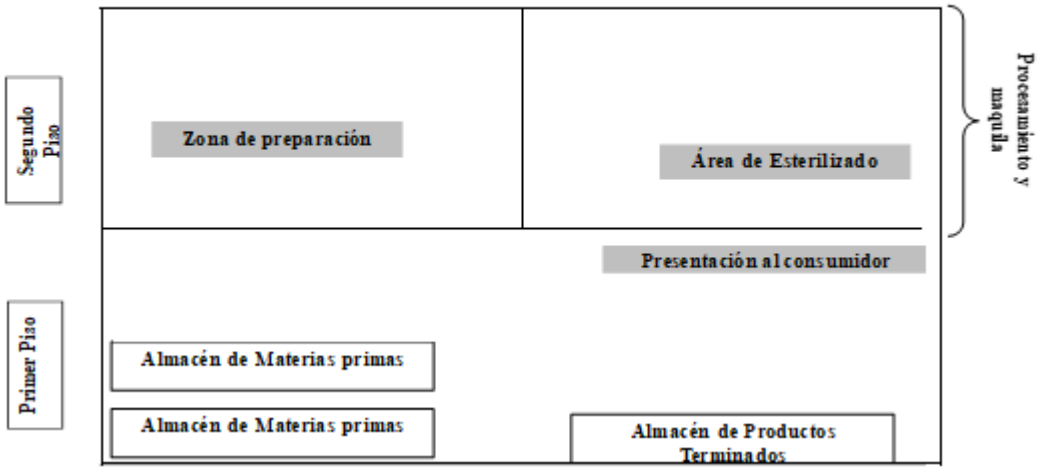


Figura 12. Distribución de la planta y Diagrama de recorrido para el proceso de encapsulado

La metodología general seguida para el desarrollo del trabajo fue la siguiente**:**

Etapa 1. Análisis de la situación actual del área objeto de estudio.

- Caracterización del proceso
- Identificación de Variables de estudio.

Etapa 2. Análisis del proceso de encapsulado.

- Análisis de tecnología utilizada en el proceso
- Simulación del proceso.

Etapa 3. Análisis de resultados

- Alternativas de mejora para implementar.
- Evaluación económica.

Para el caso específico para el desarrollo de la simulación, se siguió los pasos sugeridos por (Law,2014) que se muestran en la figura 12.

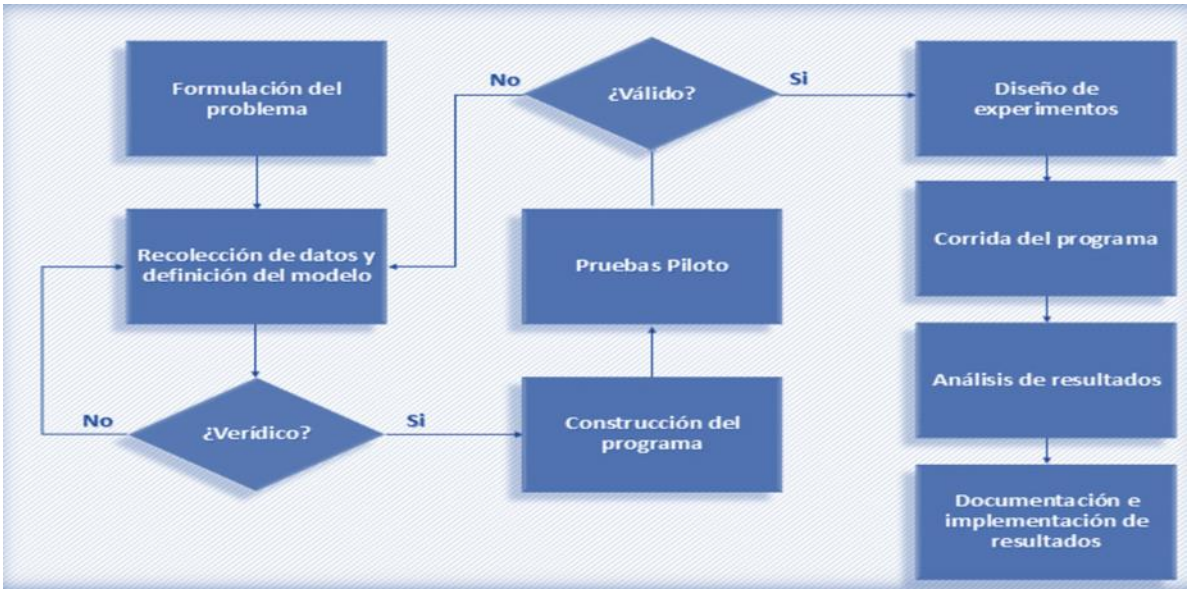


Figura 13. Pasos para el desarrollo de modelos de simulación (Law, 2014)

3.2 Formulación del problema

El sistema de producción fue mapeado con las herramientas diagrama de flujo de proceso, Value Stream Mapping (VSM) y se realizó la distribución de la planta y los diagramas de recorrido. Se identificaron 10 actividades para el desarrollo del producto final, observando que la actividad de encapsulado es el de mayor importancia debido a que este limita la capacidad de procesamiento de hoja de *moringa oleífera*. El objetivo del estudio de simulación consistió en modelar el sistema de producción de capsulas de *moringa oleífera* actual para posteriormente evaluar la viabilidad de adición de mayor equipamiento para la encapsulación.

3.3 Recolección de datos y obtención del modelo

Para la obtención de datos en campo se realizó una visita preliminar para la identificación de los procesos con sus variables de estudio, se entrevistó al gerente de producción para obtener la descripción de cada actividad, posteriormente se realizó una estancia para tomar tiempos de cada actividad.

Se identificó la maquinaria y equipo disponibles para analizar su capacidad instalada. Con la información generada se identificó que el área de encapsulado es un proceso critico que limita la capacidad de producción.

3.4 Muestreo de datos para el modelo de simulación

Los datos fueron recabados en sesiones de tres jornadas de trabajo durante el mes de noviembre del 2019, donde se obtuvo una muestra aleatoria de 50 datos por cada actividad del proceso de producción.

3.5 Instrumento de campo

Se diseño una base de datos en Excel para capturar los datos de entrada de las variables por cada actividad. (Anexo 1). Basada en las tablas de control de Shewart Zhou (2017).

3.6 Tipo de muestreo y tamaño de la muestra

El marco de muestreo estuvo conformado por unidades de muestreo equivalentes a los minutos y segundos de un día de producción. La unidad de observación de las características de calidad correspondió al tiempo de cada estación de trabajo conforme al diagrama de flujo del proceso de producción.

Se decidió en conjunto con el personal de la industria, tomar los tiempos de manera sistemática en cada etapa de la línea de producción, a intervalos de 30 minutos, conformando una muestra piloto de 50 registros que corresponden al 20 % del tiempo del turno de trabajo.

Iniciando con el primer punto muestral de manera aleatoria durante un turno de trabajo siguiendo el siguiente procedimiento:

1.Dividimos el marco muestral en *n* fragmentos, donde *n* es el tamaño de muestra que deseamos. El tamaño de estos fragmentos será: K=N/n, donde *K* recibe el nombre de

intervalo o coeficiente de elevación.

2.Número de inicio: obtenemos un número aleatorio entero r, menor o igual al intervalo, este número corresponderá al primer sujeto que seleccionaremos para la muestra dentro del primer fragmento en que hemos dividido la población.

3. Selección de los n-1 individuos restantes: Seleccionamos los siguientes individuos a partir del individuo seleccionado aleatoriamente, mediante una sucesión aritmética, seleccionando a los individuos del resto de fragmentos en que hemos dividido la muestra que ocupan la misma posición que el sujeto inicial. Esto equivale a decir que seleccionaremos los individuos:

$$r, r + K, r + 2K, r + 3K, \ldots., r + (n-1)K$$

Se determino este método debido a que normalmente se usa en la inspección y el control de calidad debido a la alta rapidez y la baja varianza (Guillen *et al*., 2011).

El tamaño de la muestra optimo se determinó que fueran 50 datos tomados durante una jornada completa de trabajo. Dada la naturaleza del proceso algunas de las mediciones de tiempo, no era factible seleccionar muestras grandes durante el proceso (Villamarin, 2015). Además, la línea de producción es continua, es decir, una vez que inicia el proceso, se generan los productos de manera ininterrumpida. Es por eso por lo que las unidades de muestreo se consideran ordenadas de manera secuencial, aunado a los que propone Besterfield (2009:190) Para la elección del tamaño de la muestra “se requiere cierta cantidad de juicio empírico”.

Por otra parte, Woodall y Montgomery (2014); Saleh *et al.,* (2015); Goedhart, Schoonhoven y Does (2017), sugieren la aplicación de monitoreo, en la cual el experto selecciona una muestra de observaciones del proceso ordenadas en el tiempo, datos históricos, para la estimación de parámetros.

3.7 Determinación del tipo de distribución de datos de entrada del modelo

Para determinar el tipo de distribución probabilística que mejor representa los datos de entrada del modelo de simulación, se realizaron a los datos obtenidos la prueba de

bondad de ajuste (Robinson, 2014), donde las pruebas estadísticas efectuadas fueron la de Kolmogorov Smirnov y Anderson Darling, con ello se verifico el comportamiento estadístico de cada variable y trabajar de esta manera con datos confiables, este procedimiento fue efectuado con el apoyo del software Stat:fit.

3.8 Verificación del modelo

El diagrama de flujo fue presentado y explicado al gerente de la empresa, quien avaló el proceso, sosteniendo la congruencia del modelo con el sistema real.

3.9 Construcción del modelo de simulación

Una vez verificado el modelo el siguiente paso fue la traducción de éste a lenguaje de simulación de Arena, con los elementos principales para programar el modelo de simulación.

3.10 Pruebas piloto

Se realizaron 15 pruebas piloto en el software de simulación para garantizar la programación correcta de cada elemento y, con ello obtener información para realizar la validación del modelo.

3.11 Validación de resultados

La validación del modelo es un procedimiento matemático cuya importancia radica en asegurar que los datos que arroja la simulación son estadísticamente iguales a los del sistema real, dotando así de un modelo capaz de emular al sistema real y ser una herramienta eficaz en la toma de decisiones. Para la validación se utiliza la prueba t-apareada, con la cual se prueba la hipótesis nula siguiente:

H_0: No hay diferencia significativa entre los datos del simulador y los del sistema real.

H_1: Existe diferencia significativa entre los datos del simulador y los del sistema real.

Para esto, se establece la suposición que $x_1, x_2...x_k$ son observaciones de un sistema del mundo real y que $y_1, y_2, \ldots y_l$ son datos que son producidos por un modelo de simulación. Es necesario comparar los datos en conjuntos de datos para determinar si el modelo es una representación valida del sistema.

A continuación, se presenta el procedimiento que se utilizó para realizarlo:

Se recolectan *m* conjuntos de datos independientes del sistema y n conjuntos de datos del modelo. Sea x_j el promedio de las observaciones en *J-ésimo* conjunto del sistema, y y_j el promedio de las observaciones en el *j-ésimo* conjunto de datos del modelo.

Las x_j´*s* son variables aleatorias IID (Independientes e idénticamente distribuidas) con media $\mu_x = E(x_j)$, y las y_j´s son variables aleatorias IDD (asumiendo que los n conjuntos de datos se obtuvieron de replicaciones diferentes) con media $\mu_y = E(y_j)$, por lo que se trata de comparar el modelo con el sistema construyendo un intervalo de confianza para:

$$Z=\mu x-\mu y$$

Fórmulas para la prueba t-apareada.

$$Z_i = X_I - Y_i$$

La diferencia observada entre μ

$$\frac{Z_{(n)} = \sum_{i=1}^{n} Z_i}{n}$$

$$\hat{V}\text{ar}[Z(n)] = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left[Z_i - \bar{Z}_{(n)}\right]^2}{n(n-1)}$$

El intervalo de confianza es de 100 (1-α):

$$\bar{Z}_{(n)} \pm t_{n-1,1-\alpha/2}\sqrt{\hat{V}\text{ar}\left(\bar{Z}_{(n)}\right)}$$

Sea l(α) y μ(α) el límite de confianza inferior y superior respectivamente. Si $\text{ø}\emptyset \notin \left[l_{(\alpha)}, \mu_{(\alpha)}\right]$ entonces la diferencia observada entre μ_x y μ_y:

$$\bar{X}_{(m)} - \bar{Y}_{(n)}$$

Se dice que es estadísticamente significante al nivel α. Esto es equivalente a rechazar la hipótesis nula:

$$H_0: \mu_x = \mu_y$$

A favor de la alternativa:

$$H_1: \mu_x \neq \mu_y A = \pi r^2$$

$$\text{Si } ø\emptyset \notin \left[l_{(\alpha)}, \mu_{(\alpha)} \right],$$

cualquier diferencia observada entre la μ_x y μ_y no es estadísticamente significante al nivel α y puede ser explicada por fluctuaciones aleatorias, aceptando así que el modelo es válido.

3.12 Diseño de experimentos

Para asegurar que los datos de salida del modelo de simulación sean lo más exacto posibles, se debe considerar, el sesgo de inicialización en las corridas y garantizar que el número de datos obtenidos son suficientes (Robinson, 2014). Al contar con una simulación de tipo terminal, no se considerará, el sesgo de inicialización, en lo que respecta al número de corridas (réplicas), en los modelos con datos de salida muy variados, para obtener resultados satisfactorios, se necesitan más de cinco replicas y por ello para tomar decisiones, una vez validado la simulación, es necesario conocer el número de replicaciones (simulaciones independientes), para tal propósito se utilizó el procedimiento de estimación de la media $\mu = E(x)$ con un error específico, una vez que el modelo ha sido validado.

Si el estimador $\bar{X}$ es tal $|\bar{x} - \mu| = \beta$, entonces se dice que $\bar{X}$ tiene un error absoluto β. Si se hacen replicaciones de una misma simulación, hasta que la mitad del intervalo de confianza dado por:

$$\bar{X}_n \pm t_{n-1,1-\alpha/2} \sqrt{\frac{s^2(n)}{n}}$$

Es menor o igual que β (donde β>0, y β es el error absoluto) entonces:

$$1-\alpha \approx p(\bar{X} - mitad \leq \mu \leq \bar{X} + mitad)$$
$$= p(|\bar{x} - \mu| \leq mita)$$
$$\leq p(\bar{X} - \mu \leq \beta)$$

Por lo que $\bar{X}$ tiene un error absoluto de β con una probabilidad aproximadamente *1-α.*

En otras palabras, si se construyen 100 intervalos de confianza independientes al 90%, es de esperarse que $\bar{X}$ tenga un error absoluto de β en 90 de los casos; alrededor de 10 intervalos de el error absoluto seria mayor a β.

Supóngase que se ha construido un intervalo de confianza para μ basado en un número fijo de replicaciones n. si se asume que el estimador de la varianza poblacional no cambia apreciablemente a medida que el número de replicaciones se incrementa, una expresión aproximada para el número total de replicaciones $n^*(\beta)$ requerido para obtener un error absoluto de β es dado por:

$$n*(\beta)\{i \geq n: t_{i-1,1-\alpha/2}\sqrt{\frac{s^2(n)}{i}} \leq \beta$$

Es posible determinar $n^*(\beta)$ incrementando i en uno hasta que un valor de i se obtiene para el cual:

$$\{t_{i-1,1-\alpha/2}\sqrt{\frac{s^2(n)}{i}} \leq \beta$$

3.13 Corrida del programa y criterios de simulación

Para tomar una decisión, que permita mejorar la situación del proceso, se diseñaron tres escenarios sugeridos por el gerente de la empresa que fueron los siguientes:

1.-Se mantienen las condiciones naturales del modelo, un encapsulador manual de 200 capsulas con un operario.

2.-El incremento a una encapsuladora más de la ya existente, con las mismas características, la cual va a requerir dos operarios.

3.-Un encapsulador manual con capacidad de 800 capsulas, con un operario.

CAPITULO IV. MARCO OPERATIVO

4.1 Muestreo de datos para el modelo de simulación

Para el muestreo de datos se realizó un registro de tiempos del proceso de encapsulado en diferentes horarios durante una jornada laboral, en el cual se realizaron 50 muestras, las cuales fueron tomadas en minutos.

Para realizar este registro de tiempos se realizaron diferentes visitas durante 180 días, en donde se tomaron diferentes muestras por cada actividad necesaria para el proceso de encapsulado, se puede observar en la tabla 4, las 50 muestras tomadas de acuerdo con las diferentes actividades que son necesarias para la realización del proceso de producción del encapsulado se observan los diferentes tiempos en el proceso de producción por cada actividad.

4.2 Instrumento de campo

El instrumento de campo utilizado para el registro de los tiempos de cada operación se muestra en la figura 14.

Formato de hoja de Instrumento de campo												
Tarea: Toma de tiempo						Empresa:		BD Moringa				
Fecha:						Proceso:		Encapsulado				
Analista: Elizabeth Delfín Portela						Área:		Empaquetado				
Operario: Nayeli												
Descripción de la operación		Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Recepción de materia Prima	Tiempos										
2	Limpieza Básica	Tiempos										
3	Selección de Hoja	Tiempos										
4	Esterilización primaria	Tiempos										
5	Triturado	Tiempos										
6	Pulverizado	Tiempos										
7	Esterilización secundaria	Tiempos										
8	Encapsulado	Tiempos										
9	Llenado	Tiempos										
10	Etiquetado Empresarial	Tiempos										
11	Etiquetado de caducidad	Tiempos										

Figura 14. Formato de instrumento de campo

Numero de Muestra Actividades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Recepción de materia prima	38.7	45.9	35.2	30	33.84	32.15	36.25	40.57	43.27	39.87	41.98	39.78
Limpieza básica	3.8	4.2	3.6	3.9	4.05	4.01	3.78	3.45	3.85	4.62	4.18	3.49
Selección de Hoja	58.58	58.20	58.92	58.97	58.64	58.23	59.39	58.69	58.58	58.07	58.53	58.80
Esterilización primaria	4.87	4.95	4.74	4.69	4.68	4.81	4.67	4.72	4.60	4.70	4.69	4.49
Triturado	33.85	37.02	40.97	37.87	34.98	36.87	34.87	38.98	35.12	39.84	40.89	37.81
Pulverizado	30.58	48.87	36.87	35.71	41.87	30	38	37.89	37.48	39.77	42.87	44.58
Esterilización secundaria	119.97	120.25	120.15	120.29	120.08	120.28	120.02	120.08	119.99	120.01	119.99	120.18
Encapsulado	23.5	22.87	26.01	23.15	28.17	19.49	22.45	20.12	21.16	24.37	19.87	20.64
Llenado	17.12	14.87	18.01	15.87	14.97	17.82	12.66	13	18.15	14.87	13.54	16.87
Etiquetado empresarial	5.2	4.89	4.15	4.02	3.87	4.02	4.78	4.87	4.97	4.39	5.25	4.68
Etiquetado de Caducidad	3.25	3.74	3.98	3.81	3.15	3.48	3.67	3.47	3.28	2.8	2.47	3.05
Tiempo total de proceso	339.42	365.76	352.6	338.28	348.3	331.16	340.54	345.84	350.45	353.31	354.26	354.37

Tabla 3. Tiempos en minutos observados del proceso de producción de *moringa oleífera*

Muestras **Actividades**	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Recepción de materia prima	44.78	38.29	44.25	40.72	39.78	44.27	41.28	37.25	39.48	41.87	43.58	35.78
Limpieza básica	3.78	3.71	3.97	3.99	3.45	4.01	4.09	3.87	3.96	3.45	3.71	4.08
Selección de Hoja	59.24	59.64	58.81	59.64	58.20	59.91	58.92	58.13	58.40	59.60	59.16	58.28
Esterilización primaria	4.94	4.82	4.98	5.00	4.69	4.68	4.70	4.66	4.68	4.81	4.67	4.68
Triturado	39.64	38.97	34.29	35.49	37.7	40.87	39.87	37.87	39.87	42.85	40.89	37.49
Pulverizado	39.87	37.84	33.69	41.87	38.64	41.85	44.89	39.87	38.77	41.79	39.06	45.57
Esterilización secundaria	119.96	119.99	119.87	120.36	120.14	120.33	120.17	120.32	119.87	119.99	120.12	119.92
Encapsulado	21.84	22.48	23.98	21.19	22.48	20.78	22.47	20.09	20.48	20.34	21.79	20.64
Llenado	14.87	13.98	15.68	16.98	16.28	15.89	12.99	17.02	13.85	14.87	16.98	16.87
Etiquetado empresarial	4.78	4.78	4.46	4.57	4.14	5.12	5.47	4.87	5	4.87	4.25	4.87
Etiquetado de Caducidad	3.01	3.58	3.14	2.18	2	3.41	2.89	3.12	3.12	3.68	2.08	2.89
Tiempo total de proceso	356.71	348.08	347.12	351.99	347.5	361.12	357.74	347.07	347.48	358.12	356.29	351.07

Muestras Actividades	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
Recepción de materia prima	33.24	37.48	38.47	37.88	40.35	42	45.01	38.21	39.74	43.58	39.64	37.99	42.78
Limpieza básica	4.12	3.97	3.78	3.07	3.46	3.98	3.87	4.08	3.98	3.52	3.47	3.67	3.64
Selección de Hoja	58.71	58.12	59.47	58.36	58.70	59.90	58.14	58.79	59.52	59.89	58.15	58.02	59.18
Esterilización primaria	4.69	4.70	4.87	4.79	4.88	4.78	4.89	4.99	4.87	4.95	4.92	4.76	4.85
Triturado	35.89	34.18	39.87	39.99	40.87	37.54	39.8	37.4	39.4	40.51	45.87	44.89	39.87
Pulverizado	47.84	39.87	48.78	37.84	46.89	39.87	36.76	39.64	43.68	39.81	40.86	38.79	41.87
Esterilización secundaria	120.37	120.2	120.36	120.19	120.11	120.04	120.18	119.97	120.03	120.26	120.02	119.91	120.33
Encapsulado	22.65	20.84	20.37	21.69	20.74	20.81	23.47	21.09	22.67	21.59	21.48	22.64	22.48
Llenado	15.87	16.78	14.78	15.29	14.87	16.87	15.48	16.82	16.79	15.88	16.99	15.98	16.82
Etiquetado empresarial	4.28	4.78	3.98	3.91	3.85	3.47	3.87	3.45	3.61	3.87	4.25	4.57	4.27
Etiquetado de Caducidad	2.64	3.02	2.8	2.48	2.01	2.67	2.15	2.67	2.05	1.98	2.14	2.09	2.99
Tiempo total de proceso	350.3	343.94	357.53	345.49	356.73	351.93	353.62	347.11	356.34	355.84	357.79	353.31	359.07

Muestras Actividades	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Recepción de materia prima	39.87	41.25	38.79	41.27	44.89	39.82	37.25	40.15	39.16	40.58	45.09	48.81	37.48
Limpieza básica	3.49	3.67	4.01	3.57	3.47	3.89	4.09	3.43	3.27	3.49	3.98	4.06	3..83
Selección de Hoja	58.66	58.99	59.98	59.76	58.62	58.25	58.47	59.15	59.30	58.16	59.15	59.42	59.57
Esterilización primaria	4.93	4.83	4.78	4.95	4.98	4.88	4.79	4.79	4.81	4.93	4.76	4.70	4.82
Triturado	41.89	40.87	37.89	36.98	42.85	37.51	40.98	38.78	37.89	42.88	40.87	39.87	40.99
Pulverizado	39.87	41.89	45.78	39.85	37.88	39.87	38.02	37.49	39	36.89	35.98	37.48	39.48
Esterilización secundaria	120.18	120.14	120.17	119.94	120.17	120.23	120.19	120.1	120.15	119.95	120.14	120.11	119.81
Encapsulado	21.72	21.93	21.68	21.58	21.47	21.01	22.38	22.38	21.87	20.6	20.97	21.9	19.87
Llenado	16.85	14.87	15.89	16.99	17.03	16.04	16.87	15.48	14.89	15.37	17.06	15.87	16.99
Etiquetado empresarial	4.87	4.67	5.18	4.77	5.08	5.17	4.08	5.11	5.18	3.87	3.47	5.81	4.02
Etiquetado de Caducidad	3.87	2.97	3.48	4.08	3.78	4.07	3.48	2.47	3.25	2.47	3.45	4.03	3.99
Tiempo total de proceso	356.2	356.08	357.63	353.74	360.22	350.74	350.6	349.33	348.77	349.19	354.92	362.06	347.02

4.3 Tipo de muestreo y tamaño de la muestra

Para para aplicar la técnica de muestreo se siguieron los siguientes pasos:

1.-Determinar el objetivo de la investigación: La investigación tiene como objetivo determinar el tiempo de producción de cada proceso de encapsulado.
2.-Establecer la población objetivo: La población objetivo de esta investigación es el total lotes de 200 capsulas producidas durante una jornada laboral.
3.-Unidad de medida: La unidad de medida será la cantidad de lotes de 200 capsulas producidas en el proceso.
4.-Forma de medición: La forma en que se tomaran las medidas fue con cronometro digital, en cada estación de trabajo.
5.-Marco de referencia muestral**:** Sera un periodo de 24 horas en la jornada laboral del proceso de producción.
6.-Elegir la técnica de muestreo**:** La técnica elegida para muestrear esta población es la de muestreo sistemático, la técnica de muestreo sistemático se aplicó de la siguiente manera:

a). -Elegir valor de k, la constante con la que se elegirán los números de la muestra.
El valor de k que se considera apropiado para la elección de la muestra será de 30 minutos durante 24 horas del día, se tomaran las muestras los días 2 de la semana. Usando la tabla de dígitos aleatorios, se determinó que día, enumerado de 1 al 5 obtenemos usando un digito el número 2 que corresponde al martes (con los criterios usados en el muestreo aleatorio simple).

b). -Obtener número entre 1 y k el cuál será el punto de arranque y primer elemento de la muestra. Para determinar el número de pivote o de arranque se considera iniciar a las 10:30 am (dato obtenido aleatoriamente usando la tabla de dígitos aleatorios) para la toma de muestras.

c). -Elegir el resto de los elementos

Por lo tanto, tenemos que tomar las muestras de la siguiente manera:

r,r+k,r + 2k, r + 3k, r + 4k, r + 5k, r +6k, r +7k, r + 8k, r + 9k, r + 10k, r + 11k, r + 12k, r +13k, r +14k, r + 15k, r +16k, r +17k, r + 18k, r + 19k, r + 20k, r + 21k, r + 22k, r + 23k, r +24k, r + 25k, r + 26k, r + 27k, r + 28k, r + 29k, r + 30k, r + 31k, r + 32k, r + 33k, r +34k, r + 35k, r + 36k, r + 37k, r + 38k, r + 39k, r + 40k, r + 41k, r + 42k, r + 43k, r +44k, r + 45k, r + 46k, r + 47k, r +48k, r + 49k, r + 50k.

Y obtenemos para día 1 iniciando r= 10:30 (Inicio aleatorio) k= 30min (Intervalos)

Numero de muestra	Hora de muestro
1	10:30
2	11:00
3	11:30
4	12:00
5	12:30
6	13:00
7	13:30
8	14:00
9	14:30
10	16:10
11	16:40
12	17:10
13	17:40
14	18:10
15	18:40

Tabla 4. Muestreo 1.

Para el día 2 iniciando r= 9:30 k= 30min

Numero de muestra	Hora de muestro
16	10:30
17	11:00
18	11:30
19	12:00
20	12:30
21	13:00
22	13:30
23	14:00
24	14:30

Tabla 5. Muestreo 2

Para el día 3 iniciando r= 9:10 (Inicio aleatorio) k= 30min (Intervalos)

Numero de muestra	Hora de muestro
25	9:10
26	9:40
27	10:10
28	10:40
29	11:10
30	11:40
31	12:10
32	12:40
33	13:10
34	13:40
35	14:10
36	14:30
37	15:10

Tabla 6. Muestreo 3

Para el día 4 iniciando r= 9:00 (Inicio aleatorio) k= 30min (Intervalos)

Numero de muestra	Hora de muestro
38	9:00
39	9:30
40	10:00
41	10:30
42	11:00
43	11:30
44	12:00
45	12:30
46	13:30
47	14:00
48	14:30
49	15:00
50	15:30

Tabla 7. Muestreo 4

De esta forma se tomaron las muestras sistemáticamente en las horas especificadas.

4.4 Determinación del tipo de distribución a la que se ajustan los datos.

Romero-Saldaña, (2016), afirma que las pruebas de bondad de ajuste se utilizan para verificar que los datos obtenidos de la muestra se ajustan a una determinada distribución de probabilidad conocida. Para ello se utilizó el paquete de software stat:fit para determinar el tipo de distribución, que se ajustan los datos, y determinar la distribución de probabilidad especifica que mejor se ajuste a cada operación.

Los resultados se muestran en la tabla 9, se observa de manera general que los datos se ajustaron a la distribución log normal y uniforme, fue necesario obtener la media y la desviación estándar por cada etapa del proceso, y de esta manera obtener los estadísticos de prueba, las pruebas realizadas fueron Kolmogorov-Smirnov y Anderson Darling, por lo anterior con la resultados obtenidos, se cuenta con suficiente evidencia estadística para afirmar que los datos se ajustan a dichas distribuciones de probabilidad, que será la base para programar en cada una de la etapas del modelo de simulación.

Tabla 8. Datos obtenidos de las pruebas de bondad de ajuste de los datos observados del proceso de producción

Etapa de proceso	Medidas de tendencia central (minutos)		Estadístico de Prueba						Distribución a la que se ajustan los datos	Estadísticos de la distribución teórica.		
			Kolmogorov-Smirnov			Anderson-Darling						
	$\bar{X}$	s	Estadístico KS	Alfa	P	Estadístico AD	1-α	P		Valor mínimo	μ	σ
Recepción de materia prima	*39.99*	*3.663*	.116	.005	.477	1.3	.005	.232	Log normal	30	2.25	.395
Limpieza Básica	3.78	.310	.137	.005	.275	1.99	.005	.934	Log normal	3	-.320	.496
Selección de Hoja	58.87	.583	.131	.005	.329	1.51	.005	.174	Uniforme	58.02		
Esterilización primaria	4.79	.116	.125	.005	.382	.73	.005	.534	Log normal	4.49	-2.23	0.14
Triturado	39.02	2.66	.158	.005	0.145	2.18	.005	.073	Log normal	33.895	1.66	.582
Pulverizado	40.00	3.94	.175	.005	.008	2.25	.005	.004	Log normal	30	2.23	0.51
Esterilizado Secundario	120.12	.142	.102	.005	.635	.427	.005	.821	Log normal	119.81	.0097	.129
Encapsulado	21.84	1.55	.00973	.005	.694	.418	.005	.831	Log normal	19.49	.907	.540
Etiquetado empresarial	4.51	.570	.168	.005	.106	1.44	.005	.192	Log normal	3.45	.329	.441

4.5 Verificación del modelo

De manera preliminar se realizó un Value Stream Mapping (VSM), el cual permite conocer a profundidad el proceso de producción, permitiendo detallar y entender de una forma más clara el flujo de la información que tenemos durante el proceso de producción del encapsulado de *moringa oleífera*. Con el VSM podemos de identificar las actividades que se encuentran funcionando de una manera correcta, también identificar las actividades que no agregan valor al proceso de producción y posteriormente puedan ser eliminadas y con ello poder mejorar el proceso. El VSM de la empresa se muestra en la figura 15, en donde podemos analizar el proceso de producción, se observó que durante un periodo de 8 horas, se inicia con un inventario de 5,000 gramos de materia prima, lo cual permite el procesamiento de 62 unidades de 200 capsulas en una jornada laboral, por lo tanto es necesario trabajar 10 horas de trabajo, y con ello lograr 6.2 unidades por hora y cada unidad terminada se logra en 9.67 minutos. Para tener la situación actual de la empresa es necesario complementar el VSM con tres conceptos importantes: capacidad efectiva, el tiempo de ciclo y el tiempo TAKT TIME (tiempo que se debe tardar en completar una unidad para cumplir con la demanda) (Ortiz, 2006). Podemos observar que la capacidad efectiva de la empresa es de 63% por lo que la empresa es capaz de cumplir satisfactoriamente en tiempo y forma por cada 100 unidades requeridas por el mercado, la eficiencia de su proceso es del 43%, por lo que es muy común que se requiera de tiempo extra, en los días de aumento de producción y contratación de personal temporal para poder cumplir con las necesidades del mercado. El tiempo de ciclo actual de la empresa para producir dos unidades se puede observar es de 25,820 segundos minutos. El tiempo TAKT es de 222 segundos, lo que indica que este tiempo es lo que un cliente puede adquirir un producto o servicio de la empresa, es decir que debemos de ajustar el ritmo de producción lo más cerca posible al tiempo TAKT.

De manera general el VSM describe el comportamiento del sistema desde el proveedor hasta el área de empaque de la compañía, y se representa de manera simbólica el envío a los clientes que son los que emiten los pedidos a la compañía.

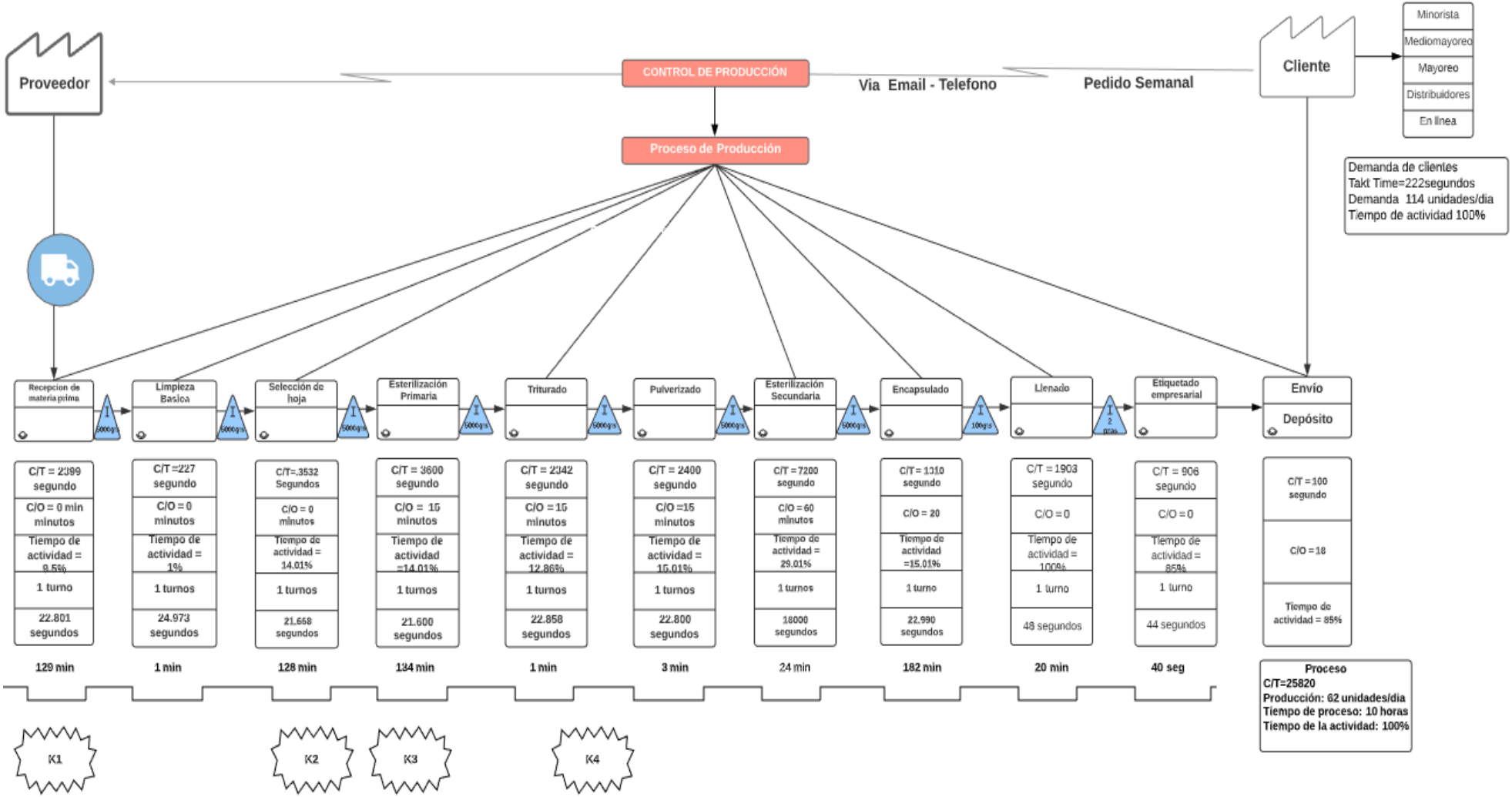


Figura 15. Valuem Steam mapping de la empresa

Fuente: Elaboración Propia

4.6 Descripción del modelo real a simular

Haciendo uso de la información descrita anteriormente se inició el modelado del sistema en el Software de simulación Arena.

Se ha realizado una simulación para el proceso de encapsulado de polvo de hoja de *moringa oleífera* con datos tomados en la empresa, en el cual se consideraron 15 replicaciones durante un periodo de 10 días (dos semanas). Con estos datos se realizó una simulación, del sistema actual y otra con dos alternativas diferente a la que ya existe.

El proceso consiste en la realización de capsulas de polvo de hoja de *moringa oleífera*, la cual para su realización se necesitan las hojas de *moringa oleífera* deshidratadas, molino para pulverizar y una encapsuladora la cual es con capacidad de 200 capsulas.

Se eligió el software de simulación Arena por los siguientes factores:

Funcionalidad y Capacidades: Arena es fácil de usar, ya que utiliza un diseño orientado por objetos para un desarrollo gráfico del modelo y de más fácil entendimiento. No es necesario conocer el lenguaje de simulación ya que una vez que está creado el modelo gráficamente, Arena automáticamente genera el modelo para poder realizar las corridas de simulación. Además, Arena puede soportar modelos complejos con capacidad de analizar y procesar una gran cantidad de variables y parámetros. Si bien, esta es una característica que la mayoría de los softwares de simulación cumplen, es una condición necesaria para este proyecto.

Input/Output: En el Software de simulación Arena, el Input Analyzer es útil para determinar una distribución apropiada para alguna variable de entrada al modelo. Permite que el usuario tome datos relevados en el campo, en el caso de este proyecto se pudo analizar los tres escenarios creados por cada proceso y ver las ventajas y desventajas de cada uno.

Para realizar la simulación del modelo real se utilizaron módulos con los que cuenta el simulador con el fin de crear entidades, y otorgarle los atributos correspondientes.

En la figura 16. Se observa el inicio de la programación, primeramente, con un *créate,* nombrado ***suministro de materia prima*** con el objetivo de saber la llegada de materia prima, cada 14 días.

Por otra parte, en la figura 16 se observa la ventana *create*. que es una expresión constante, con un valor de 14 días y con un máximo de 120 entidades creadas.

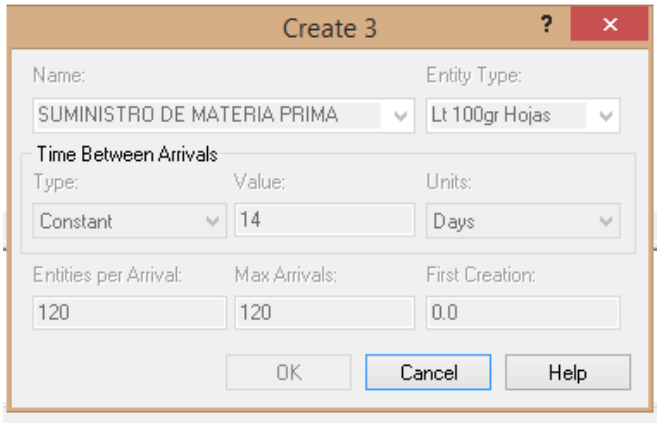


Figura 16. Creación del módulo Create

El segundo modulo es un batch, que tiene por nombre ***lote de 6 kilogramos***, que funciona como un mecanismo de agrupación dentro del modelo de simulación. Los lotes pueden estar agrupados permanente o temporalmente, en esta ocasión se agrupan en lotes de 6 kilogramos permanentemente.

El tercer modulo lleva por nombre ***recepción de materia prima*** y este se realiza con un *process* el cual se utiliza para ocupar y liberar un recurso en este caso se reciben lotes de 6kg y se libran al siguiente modulo.

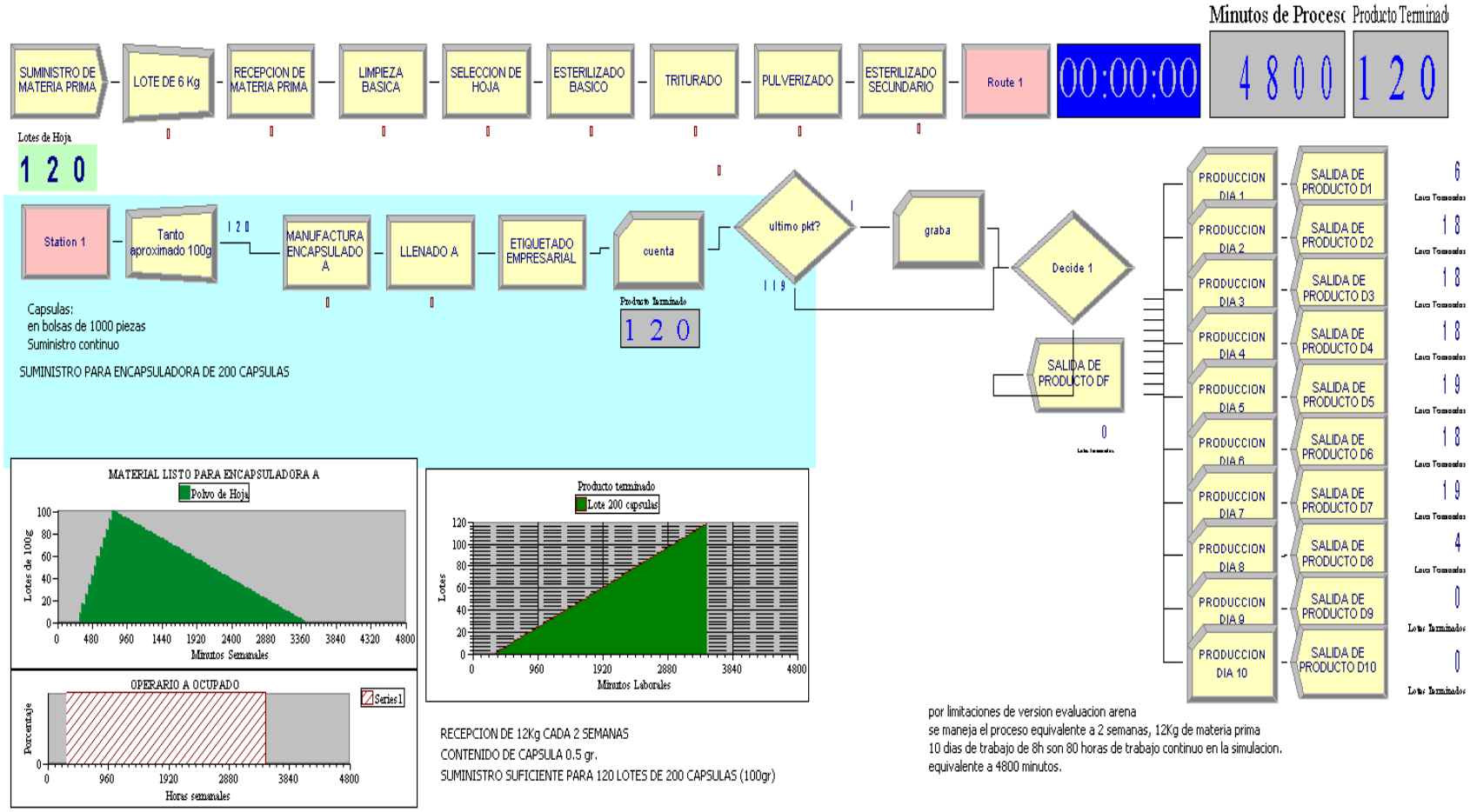


Figura 15. Modelo de simulación del proceso real de la empresa

Los módulos siguientes son *process* que tienen por nombre ***limpieza básica, selección de hoja, esterilizado, triturado, pulverizado y esterilizado secundario***, el tiempo de cada proceso se le añade a la entidad correspondiente de cada módulo, una vez cumpliendo con el tiempo asignado, lo libera al módulo que sigue, se puede apreciar en el módulo *process* de la figura 16, el cual tiene el nombre de **selección de hoja,** donde se le asigna un nombre al módulo, un tiempo medio en minutos (58.7) su desviación estándar (.583) y por último se determina que es un proceso de tipo estándar.

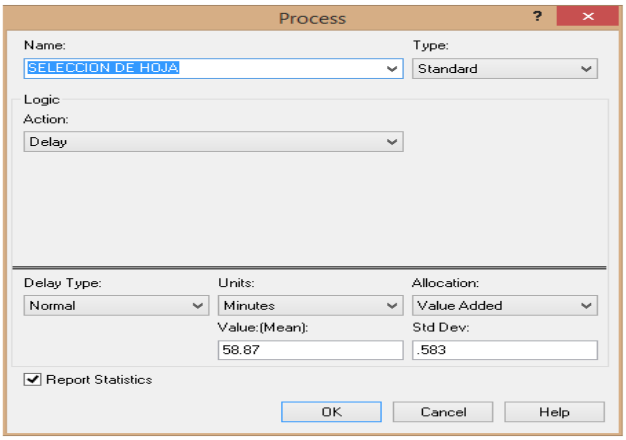


Figura 16. Modulo Process

Una vez terminando los módulos de procesos podemos ver en el modelo que tenemos un ***route1*** el cual es utilizado para hacer una traslación directa de una estación a otra, en el cual no es necesario poner una estación de salida, ya que automáticamente se conecta a la otra estación. Podemos observar un reloj en la barra de animación el cual es importante agregar y configurar pues nos va a ayudar a identificar los momentos exactos donde podrían existir anomalías en el sistema.

El módulo siguiente es una **station1,** el cual en conjunto con **route1** es utilizado para trasladar una estación a otra, seguido de este módulo se cuenta con un elemento llamado ***separate,*** el cual, fue llamado **tanto aproximado de 100 gramos**, es utilizado para replicar la entidad entrante en múltiples entidades o para dividir una entidad previamente agrupada, se utilizó para agrupar 100 gramos de materia prima.

En los tres módulos siguientes tenemos ***process,*** los cuales son agrupados para recibir y liberar el recurso, los cuales reciben la cantidad indicada en el tiempo programado y se libera al siguiente modulo. Terminando los tres módulos, se tiene un módulo ***record*** que se le asigno el nombre de ***cuenta,*** el cual se utilizó para llevar un conteo de cuantas ordenes se realizan en un tiempo programado.

El módulo siguiente, es ***decide****,* que tiene por nombre el ***ultimo pkt***, el cual es utilizado para decidir, si se sigue al siguiente modulo o se regresa al módulo anterior del recorrido de modelo, este módulo tiene dos salidas de entidades, una verdadera y una falsa. Cuando se analiza el modelo y la salida que utilizamos es la verdadera, es porque los paquetes señalados están terminados y se da una salida de producto, en el caso de que la simulación tome la decisión negativa, lo que hace es grabar los paquetes terminados y regresar al módulo anterior hasta que llegue nuevos paquetes y así se realiza hasta cumplir con los paquetes establecidos en la programación.

El segundo modulo ***decide 1****,* se necesitó para hacer un reporte de cuanto se produce al día, haciendo con esto un reporte de salida múltiple. Es decir, si pasan 8 horas es el primer día del proceso, si esta entre 8 y 16 horas, es el segundo día o si se encuentra entre 16 y 24 horas, son productos correspondientes al cuarto día, y así sucesivamente, todos estos tiempos están tomados en minutos.

4.7 Validación de resultados

Para la realizacion de la validacion se aplico la ***prueba t-apareada*** al modelo. Esto para comprobar los resultados obtenidos de la simulación con datos reales, utilizando el tiempo que tarda en producirse 120 lotes, 24,000 capsulas. Para ello se planteó la siguiente hipótesis de trabajo:

X=El tiempo en minutos que tarda en producirse 120 lotes (24,000 capsulas) en el proceso real.

Y= El tiempo en minutos que tarda en producirse 120 lotes (24,000 capsulas) en el modelo de simulación creados.

Los resultados de las corridas de 2 semanas 10 días que se muestran en la tabla 10. Se considero un intervalo de confianza del 95% para Z donde $Z_J = X_J - Y_J$. Aplicando las fórmulas descritas en la sección anterior para la prueba t-apareada se tiene

$$\bar{Z}_{15} = \frac{\sum_{i=1}^{15} Z_i}{15} = \frac{81.13}{15} = 5.40$$

Tabla 9.Corridas de la simulación (2 semanas)

	Reales	Simulados		
Corridas	X_j	Y_j	$Z_j = X_j - Y_j$	$(Z_J - \bar{Z}_{15})^2$
1	3,465.66	3,469	-3.34	76.38
2	3,490	3,467.97	22.03	276.55
3	3,485.22	3,439.94	45.28	1,590.41
4	3,460.81	3,448.79	12.02	43.82
5	3,440.12	3,434.99	5.13	0.07
6	3,450.23	3,450.19	0.04	28.72
7	3,445.30	3,476.31	-31.01	1,325.68
8	3,463.12	3,470.78	-7.66	170.56
9	3,459.15	3,461.51	-2.36	60.21
10	3,449.51	3,448.08	1.43	15.76
11	3,455.28	3,456.14	-0.86	39.18
12	3,482.27	3,444.58	37.69	1,042.64
13	3,443.08	3,444.25	-1.17	43.16
14	3,462	3,465.90	-3.9	86.49
15	3,463.23	3,455.42	7.81	5.8
		Total	81.13	4,805.43
		Promedio	5.4	

$$\hat{V}ar[Z(n)] = \frac{\sum_{i=1}^{15} [z_i - \bar{z}_{(15)}]^2}{15(15-1)} = \frac{4805.43}{(15)(14)} = 22.88$$

$$\bar{Z}_{(n)} \pm t_{n-1,1-\alpha/2} \sqrt{\hat{V}ar(\bar{Z}_{(n)})}$$

$$-5.40 \pm t_{14,0.975} \sqrt{22.88}$$

$$-5.40 \pm 2.145 \sqrt{22.88}$$

$$-5.40 \pm 10.26$$

(-15.66, +4.86)

Se observa, que el intervalo resultante incluye al cero, no es posible el rechazo de la hipótesis nula, por lo que se concluye que con un nivel de confianza del 95% se tiene un modelo valido representativo del sistema real, y que cualquier diferencia observada entre μ_x y μ_y es estadísticamente muy pequeña y puede ser explicada por fluctuaciones aleatorias.

4.8 Diseño de experimentos

Para tomar decisiones, una vez validado el modelo de simulación, es necesario conocer el número de replicaciones (simulaciones independientes), para tal propósito se utilizó el procedimiento de estimación de la media con un error específico, se muestra en la tabla 11. Las replicaciones iniciales.

Tabla 10. Replicaciones efectuadas

Replicaciones o corridas	Tiempo promedio de fabricación (min)
1	3,469
2	3,467.97
3	3,439.94
4	3,448.79
5	3,434.99
6	3,450.19
7	3,476.31
8	3,470.78
9	3,461.51
10	3,448.08
11	3,456.14
12	3,444.58
13	3,444.25
14	3,465.9
15	3,455.42
Promedio	3,455.59
Desv. estándar	12.4949

Para el cálculo del número de replicaciones se utilizó una muestra de 15 datos de la variable tiempo promedio entre cada proceso de producción, con un error absoluto de 5.4 segundos y un nivel de confianza de 90%.

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación, los datos de entrada quedan de la siguiente manera:

$$\bar{X} = 3455.59$$

$$S = 156$$

$$\beta = 5.4$$

$$\alpha = 0.1$$

$$min\{i \geq 15 : t_{0.95}\sqrt{\frac{156}{i}} \leq 5.4\}$$

Para 10 replicaciones, la ecuación queda de la siguiente forma:

$i=10$

$$1.660\sqrt{\frac{156}{10}} = 6.5 \leq 5.4 \therefore \text{no se cumple}$$

$i=11$

$$1.660\sqrt{\frac{156}{11}} = 6.25 \leq 5.4 \therefore \text{no se cumple}$$

$i=12$

$$1.660\sqrt{\frac{156}{12}} = 5.9 \leq 5.4 \therefore \text{no se cumple}$$

i=13

$$1.660\sqrt{\frac{156}{13}} = 5.7 \leq 5.4 \therefore \text{no se cumple}$$

i=14

$$1.660\sqrt{\frac{156}{14}} = 5.5 \leq 5.4 \therefore \text{no se cumple}$$

i=15

$$1.660\sqrt{\frac{156}{15}} = \mathbf{5.3 \leq 5.4 \text{ se cumple la condición}}$$

Por lo anterior se determina que el modelo de simulación es estadísticamente valido con un numero **óptimo de replicaciones es de 15 corridas**.

4.9 Resultados de escenario I. Simulación de una encapsuladora de 200 capsulas (1E200C)

Este primer escenario en con el que actualmente la empresa está trabajando, este modelo se programó mediante el *run setup* que se muestra en la figura 17. Se realizaron las corridas del modelo de simulación durante 10 días en jornadas laborales de 8 horas. La portada del informe de las replicaciones, correspondiente al modelo de una encapsuladora, el número entidades que han sido simuladas desde su creación hasta su final, y como se puede apreciar han sido simuladas 120 entidades.

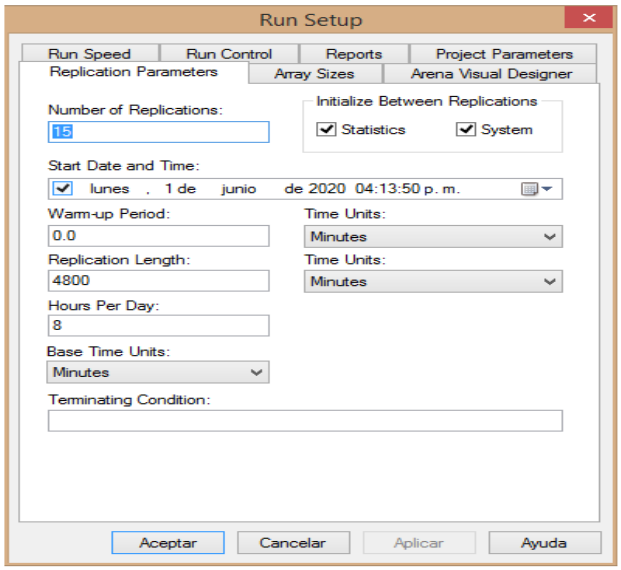


Figura 17. Replicaciones del modelo de simulación

Los resultados que se observan en la figura 18, es el tiempo que el operario requiere para que el polvo esté listo para la realización de las capsulas durante la simulación, 3,455 minutos (57 horas) son requeridas del operario para preparar unos 120 lotes de 200 capsulas (24,000 capsulas de 500 miligramos).

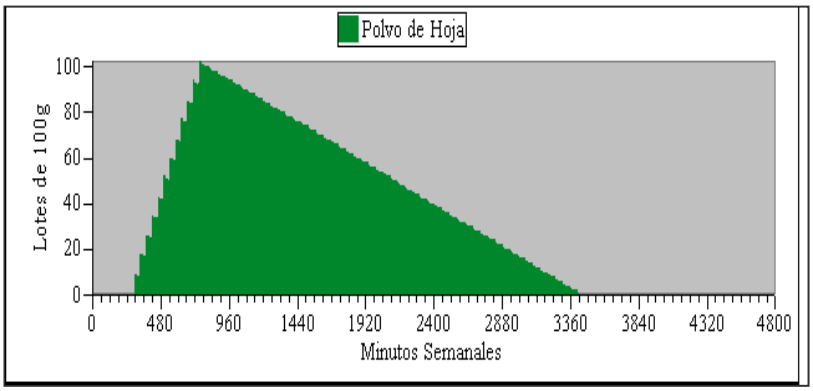


Figura 18. Tiempo de realización de transformación de materia prima

En la figura 19 se observa tiempo promedio en minutos de las colas generadas en actividades del proceso, donde se aprecia que el tiempo de la cola en la actividad manufactura de encapsulado es relevante, 1,341 minutos (22 horas) lo que indica que es la actividad que más tiempo me genera cola en el proceso de producción.

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
ETIQUETADO EMPRESARIAL.Queue	2.2405	0.02	2.1875	2.3021	0.00	6.4414
LLENADO A.Queue	10.8999	0.04	10.7967	11.0469	0.00	27.1467
LOTE DE 6 Kg.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MANUFACTURA ENCAPSULADO A.Queue	1341.99	3.51	1329.04	1349.94	0.00	2704.77
PULVERIZADO.Queue	8.6526	3.79	1.3788	25.0045	0.00	49.4661
TRITURADO.Queue	208.19	2.70	197.19	214.72	0.00	435.39

Figura 19. Tiempo que generan en cola las actividades del proceso de encapsulado

La figura 20 muestra el tiempo que el operario requiere para cumplir con la demanda de 120 lotes teminados, se observa que el tiempo necesario fue de 3,455 minutos (57 horas) para terminar toda la produccion.

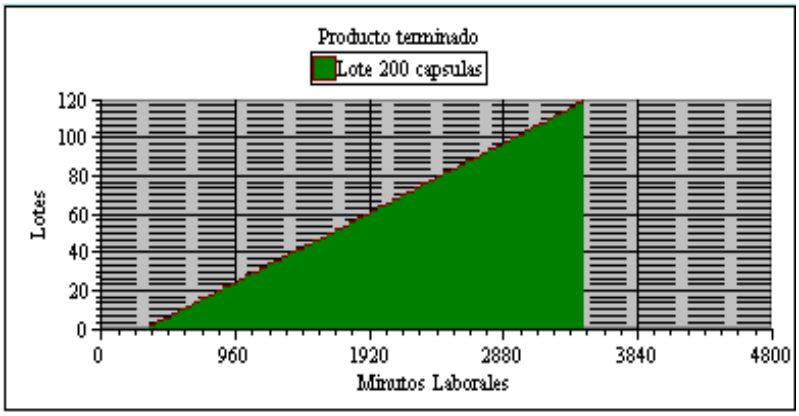


Figura 20. Tiempo requerido para tener producto terminado

En la figura 21 se observa la produccion diaria para realizar la demanda contemplada, teniendo como un tope de 120 lotes, lo cual se alcalza en un periodo de 7 dias, con un tiempo total de 3,455 minutos (7 jornadas laborales) alcanzando los 120 lotes de 200 capsulas, con un total de 24,000 capsulas realizadas.

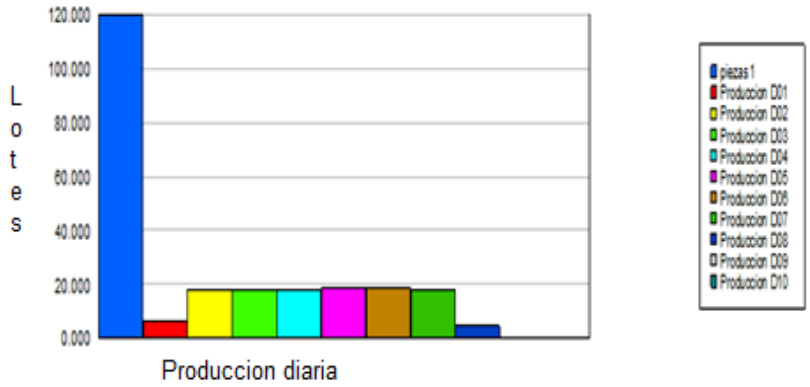


Figura 21. Número total de lotes diarios durante 10 días

Los resultados de la simulación arrojan que en el día uno, solo se completan 5 lotes, durante los días siguientes se logra estabilizar la producción en 19 lotes diarios, en el día ocho, la materia prima se termina y solo se completan 5 lotes.

Los días nueve y diez ya no se cuenta con materia prima para continuar trabajando. Lo que indica que con este modelo solo se tiene capacidad de trabajar durante una semana (7 días).

4.10 Resultados de escenario II. Simulación de dos encapsuladoras de 200 capsulas(2E200C)

Una de las propuestas que se presenta para mejorar el proceso de encapsulado es el de agregar un encapsuladora más al proceso con un operario adicional, similar con la que se cuenta con el proceso de encapsulado real, por lo tanto, en el modelo de simulación se agregó una encapsuladora adicional de 200 capsulas, de igual manera de analizaron los resultados de las 15 replicaciones.

En la figura 22 se visualiza el tiempo que el operario requiere para que el polvo esté listo para la realización de las capsulas durante la simulación, para la encapsuladora A son necesarias 1,920 minutos (32 horas) y para la encapsuladora B se necesitan 1,440 (24 horas) para preparar 120 lotes de 200 capsulas (24,000), lo que indica que se requiere un tiempo menor que el de una encapsuladora.

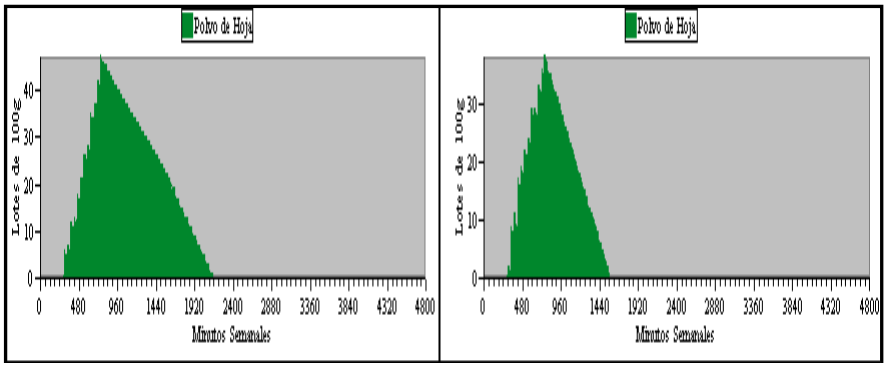


Figura 22. Tiempo de realización de transformación de materia prima para cada una de las encapsuladoras

Se observa, en la figura 23, el tiempo en promedio en minutos de las colas generadas de las actividades, donde ***manufactura de encapsulado*** está dividido en dos partes, ya que para esta simulación se utilizaron dos encapsuladoras, se aprecian los tiempos generados por las dos manufacturas de encapsuladora, generan un tiempo en minutos de 1,144.1 minutos, lo cual está por debajo del tiempo de espera de una encapsuladora, ya que una sola encapsuladora está generando más tiempo en el proceso. Al existir una disminución de tiempo en colas de las actividades del proceso, también me genera una reducción de todos los tiempos, así como un aumento de la producción diaria de productos.

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
ETIQUETADO EMPRESARIAL.Queue	6.6725	1.03	5.1694	10.7160	0.00	26.5232
LLENADO A.Queue	4.6529	0.58	3.4131	6.1837	0.00	25.3095
LLENADO B.Queue	9.7152	0.38	8.5610	11.0852	0.00551671	25.0967
LOTE DE 6 Kg.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MANUFACTURA ENCAPSULADO A.Queue	722.59	35.37	603.19	846.75	0.00	1578.29
MANUFACTURA ENCAPSULADO B.Queue	421.51	25.28	309.57	504.44	0.00	1037.51
PULVERIZADO.Queue	9.3223	2.74	0.5837	18.7808	0.00	37.6634
TRITURADO.Queue	207.54	2.90	197.67	215.98	0.00	428.75

Figura 23. Tiempo que generan cola las actividades del proceso de dos encapsuladoras

La figura 24 se observa el tiempo que el operario requiere para cumplir con la demanda de 120 lotes teminados, se observa que el tiempo necesario fue de 2,263 minutos (37 horas) para terminar toda la produccion. Se puede concluir que el tiempo para terminar esta produccion es menor al de una encapsuladora.

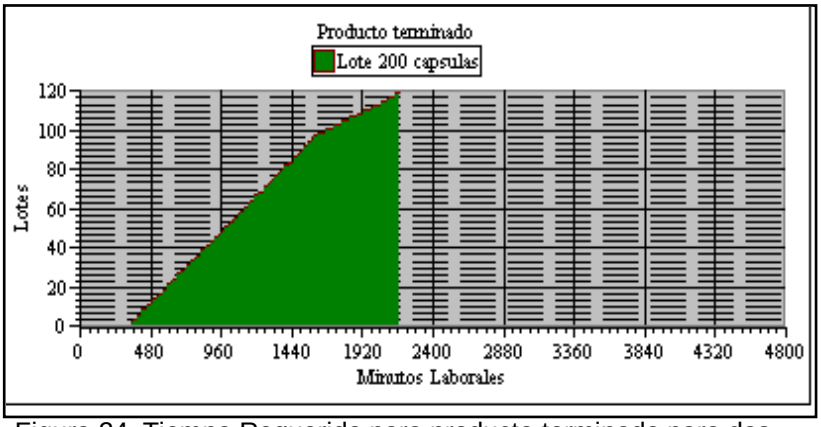


Figura 24. Tiempo Requerido para producto terminado para dos encapsuladoras

En la figura 25 se observa los días trabajados para cumplir con la demanda contemplada, de 120 lotes de 200 capsulas, en la que se visualiza que con las dos encapsuladoras solo se trabajaron 5 días, para terminar a materia prima, arrojo un tiempo de 2,263 minutos (5 jornadas laborales).

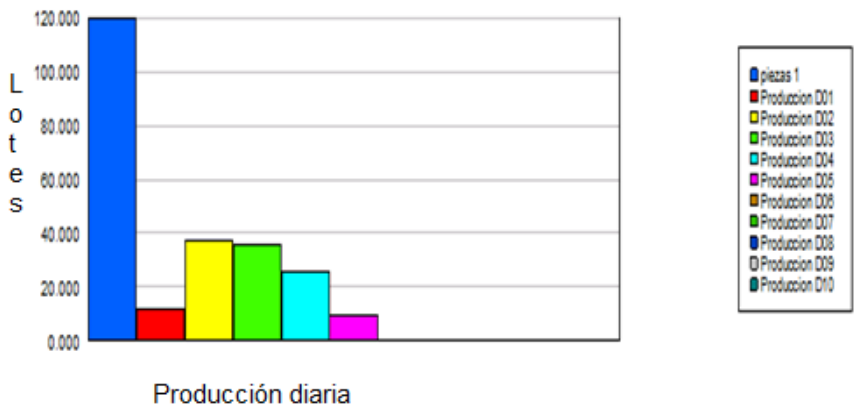


Figura 25. Número total de lotes diarios para dos encapsuladoras durante 10 días

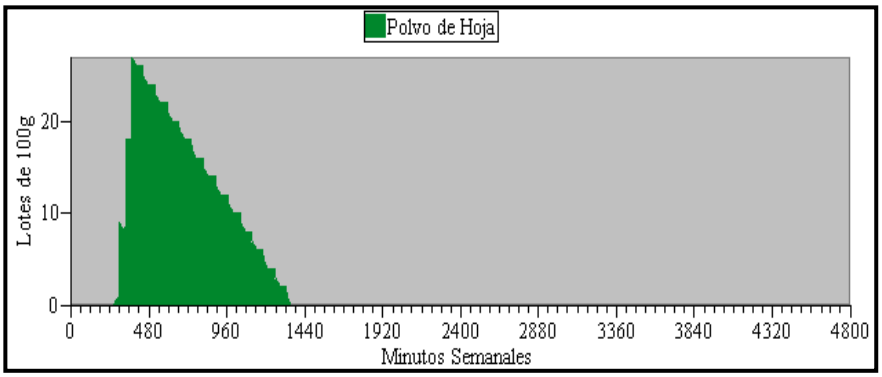
Se visualizan los días que se requieren para la realización de 120 lotes de 200 capsulas, los resultados de la simulación arrojan que en el día uno, solo se completan aproximadamente 15 lotes, durante el siguiente día se estabiliza aproximadamente en 39, el siguiente día empieza bajar la producción alrededor de 37, para el día siguiente, una baja de producción alcanzando 29 lotes y el día 5 se termina la materia prima alcanzando solamente 12 lotes.

Se destaca de este escenario que durante los próximos cinco días ya no se cuenta con materia prima para continuar trabajando. Lo que indica que con este modelo solo se tiene capacidad de trabajar durante 5 días, sin olvidar que solo estamos considerando para el modelo de simulación una producción de 120 lotes. Por lo que se infiere que solo se trabajaría de lunes a viernes, aunque con una baja o productividad esto debido a la falta de materia prima y a la mayor capacidad de proceso.

4.11 Resultados de escenario III. Simulación con encapsuladora de 800 capsulas(1E800C)

Por último, se propone agregar un encapsuladora con mayor capacidad que las anteriores, una encapsuladora con una capacidad para realizar 800 capsulas en el proceso con un operario, de igual forma en el modelo de simulación se realizaron 15 replicaciones durante 10 días.

Se muestra en la figura 26, el tiempo que el operario requiere para que el polvo esté listo para la realización de las capsulas durante la simulación, para la encapsuladora son necesarias 16 horas, las cuales son requeridas por el operario para preparar 120 lotes de 200 capsulas (24,000 capsulas).



..

Figura 26. Tiempo de realización de transformación de materia prima para encapsuladora de 8000 capsulas

En figura 27, se muestran los resultados del tiempo promedio en minutos, de las colas generadas en las actividades, la manufactura de encapsulado, arrojo un tiempo en minutos de 492.62 minutos (8 horas), tiempo de espera muy por debajo de las encapsuladoras anteriores. Al existir una disminución de tiempo en colas de las actividades del proceso de manufactura de encapsulado, también genera una reducción de todos los tiempos de espera, así como un aumento de la producción diaria.

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
ETIQUETADO EMPRESARIAL.Queue	2.2532	0.03	2.1569	2.3390	0.00	6.4615
LLENADO A.Queue	16.2915	0.08	16.0006	16.5757	0.00	34.9868
LOTE DE 6 Kg.Queue	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MANUFACTURA ENCAPSULADO A.Queue	492.62	2.79	485.84	500.27	0.00	996.59
PULVERIZADO.Queue	3.5204	2.02	0.00	11.6190	0.00	20.3634
TRITURADO.Queue	35.5620	1.61	31.4365	41.4519	0.00	80.9843

Figura 27. Tiempo que generan cola las actividades del proceso de encapsuladora con capacidad de 800 capsulas

.

En la figura 28, se muestra el tiempo que el operario requiere para cumplir con la demanda de 120 lotes teminados, se observa que el tiempo necesario fue de 1,415.09 minutos (23.5 horas) para terminar toda la produccion.

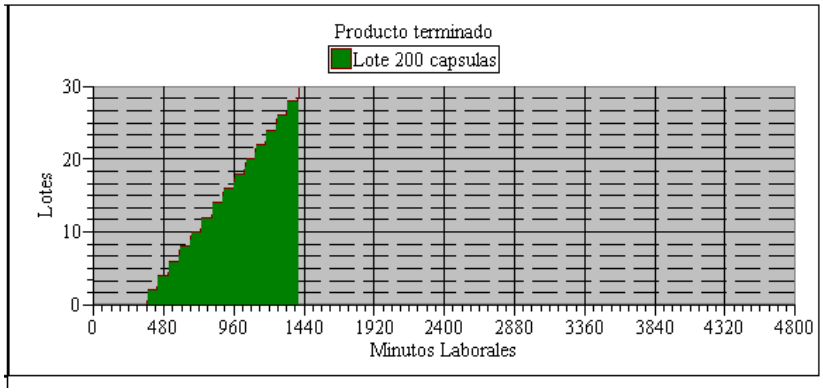


Figura 28. Tiempo requerido para producto terminado

Se visualiza en la figura 29, los días trabajados para cumplir con la demanda contemplada, de 120 lotes de 200 capsulas, los resultados indican que con una encapsuladora de capacidad de 800 capsulas, solo se necesitaron 3 días para terminar con la materia prima existente, la cual requirió un tiempo de 1,415.09 minutos (23.5 horas) que equivale a 3 jornadas laborales. Esto confirma la limitada capacidad de producción de materia prima, con este modelo la empresa tendría muchos tiempos muertos con su personal fijo, que ocasionaría un incremento en sus costos de producción.

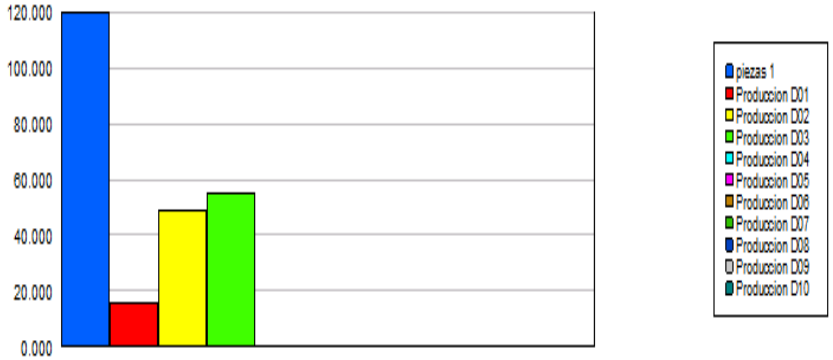


Figura 29. Número total de lotes diarios producidos (10 días)

Se visualizan los días que se requieren para la realización de 120 lotes de 200 capsulas, para este modelo de simulación solamente se requirieron 3 días para terminar con el tope de la materia prima asignada a los modelos de simulación, los resultados de la simulación arrojan que en el día uno, solo se realizan aproximadamente 19 lotes, durante el siguiente día se estabiliza aproximadamente en 45-48 lotes , para el ultimo día hay un aumento de producción el cual alcanza los 58 lotes por día y para los siguientes días ya no se cuenta con materia prima para seguir trabajando.

4.12 Comparación de los tres escenarios de simulación

En la figura 30 se comparan los tiempos simulados considerando tres escenarios de simulación que incluyeron: una encapsuladora de 200 capsulas (1E200C), dos encapsuladora de 200 capsulas (2E200C) y una encapsuladora de 800 capsulas (1E800C), donde se observa claramente que la encapsuladora (1E200C) , es la que requiere el mayor tiempo de para completar el lote, el escenario con 1E200 el tiempo de procesamiento en horas fue de 57.5, con la 2E200C de 37.7 y con la 1E800C de 23.5, la capacidad de producción de producción se estableció en 24,000 capsulas por limitaciones de materia prima. En la tabla 12 se muestra la reducción de tiempo se destaca que el modelo 1E800C (35%), la 2E200C (24%) y 1E800C (60%), por otra parte los días trabajados con el modelo 1E800C solo se requieren 2 jornadas (16 horas), la E200C requiere 4 jornadas (32 horas) y con la 1E200C se requieren las 7 jornadas (56 horas).

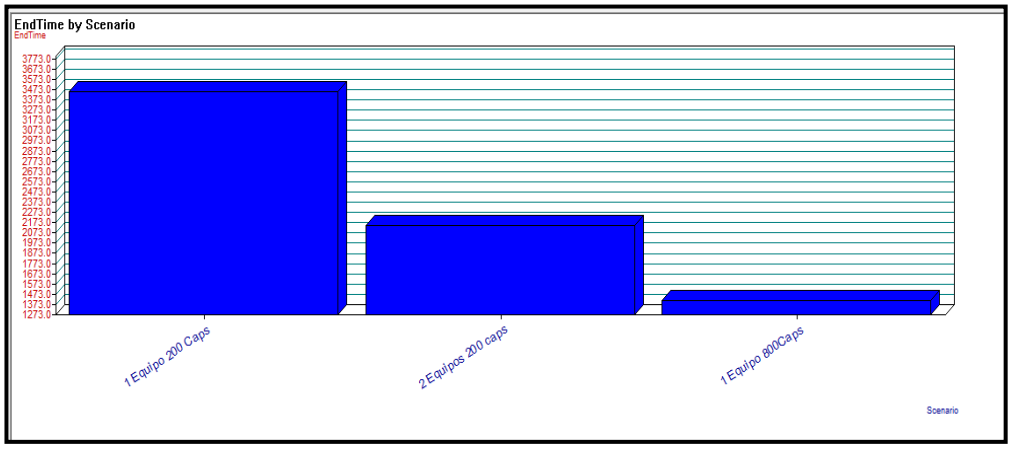


Figura 30. Escenarios de la simulación

Tabla 11. Comparativa de los 3 escenarios de simulación de la etapa de encapsulado

Escenario de simulación	Tiempo total			Encapsulado			Personal ocupado	Horas trabajadas	Días ocupados	Reducción de tiempo (%)	Tiempos muertos (Horas)
	Minutos	Horas	Jornadas	Capsulas	Lotes	Kilos					
1E200C	3,455	57.5	7	24,000	120	12	1	56	7	-	0
2E200C	2,263	37.7	4	24,000	120	12	2	32	4	35%	24
1E800C	1,415	23.5	2	24,000	120	12	1	16	2	60%	35

Tabla 12. Comparativa de costos de los tres escenarios de la simulación de todo el proceso de producción

Escenario de simulación	Tiempo total de proceso			Producción límite del modelo de simulación por limitación de materia prima por semana				Personal	Costo de mano de obra	Días ocupados por semana	Costo de producción por frasco
	Minutos	Horas	Jornadas	Capsulas	Lotes	Kilos					
1E200C	3,455	57.5	7	24,000	120	12	Encapsulado	1	14,000	7	66.21
2E200C	2,263	37.7	4	24,000	120	12	encapsulado	2	8,000	4	61.37
1E800C	1.415	23.5	2	24,000	120	12	Encapsulado	1	4,000	2	58.11

Los resultados tambien indicaron que las jornadas de trabajo de los diferentes escenarios muestran la reducción de jornadas laborales en función del modelo, de esta manera es evidente que con la 1E800C solo se requieren de 23.5 horas (2 jornadas), la 2E200C 37.7 (4 jornadas) 1E200C (7 jornadas). Esto indica que con este modelo el costo de mano de obra es alto ya que es requerido el personal durante toda la semana. Sin embargo, con los modelos 1E800C y 2E200C es notorio que el personal solo se ocupa parcialmente, por lo que se tendrían que aumentar la materia prima y no tener tiempos muertos de 24 y 35 horas a la semana respectivamente si se implementan estos modelos (Tabla 12).

En la tabla 13, se indica que con las 1E800C el costo de producción por frasco es de 58.11, esto es debido a que requieren menos horas de personal para cumplir con la cuota de 24,000 capsulas (266 unidades de 90 capsulas) a la semana. Actualmente con el modelo de 1E200C el costo de producción asciende a $66.21, ya que para cumplir con la cuota son requeridas las 7 jornadas por semana. Por último, con la 2E200C el costo fue de 61.37 con 4 jornadas requeridas para completar la cuota.

Estos resultados confirman que con el incremento en la capacidad de producción se disminuyen los costos de producción, pero se tendrá que buscar la alternativa de producir más materia prima para evitar los tiempos muertos o contratar al personal únicamente por día laborado y de esta manera no tener perdidas.

En cuanto a la lineas de espera se confirma que el proceso de encapsulado es el critico en el proceso de producion, ya que los tiempos promedio de espera en la cola en el sistema de los 120 lotes para ser procesados fueron de 22 horas en la 1E200C, 19 horas para la 2E200C y por último 8 horas para la 1E800C, lo que indica que con este último modelo el tiempo promedio de espera se reducen en un 63%.

4.13 Costos de producción del procesamiento

Una vez efectuada la simulación del caso base y obtener así resultados de los principales indicadores técnico-económicos de los escenarios del proceso en cuestión, características técnicas de los equipos empleados, así como el precio de venta establecido en frascos de 90 capsulas de *moringa oleifera* en 180 pesos. Se llevó a

cabo el estudio económico calculando los indicadores VAN, TIR y B/C, entre otros indicadores que se muestran en el estado de resultados.

Tabla 13.Estado de Resultados de proceso de producción para modelo (1E200C)

Costos	Unidad de Medida	Costo Unitario	Cantidad	Año 1
Recepción de materia prima				
Desinfección	Mes	$ 2,500.00	12.00	30,000.00
II. Procesamiento				
Mano de obra	Mes	$3.00	12,000.00	144,000.00
III. Indirectos				
Energía	Mes	$5,600.00	12.00	67,200.00
Agua	Mes	$410.00	12.00	4,920.00
telefonía	Mes	$1,200.00	12.00	14,400.00
IV. Insumos				
Materia prima x mes	Kgs	$24.00	1,200.00	345,600.00
Material para empaque	Lote	$10.90	12,800.00	139,520.00
Publicidad				
Medios Digitales	Mes	$12,000.00	1.00	12,000.00
Transporte y Acarreo	Fletes	$1.00	12,000.00	12,000.00
Distribuibles	Kgs	$0.45	12,000.00	5,340.00
Costos totales				774,980.00
Costo de producción por Frasco de 90 capsulas				60.55
Utilidad bruta				3,833,020.00
Gastos de Administración				10,000.00
Honorarios	1,500	Mes		18,000.00
Papelería y art. Escritorio	500	mes		500.00
Depreciación y amortización				62,500.00
Total de costos y gastos				847,480.00
Utilidad de operación neta				3,760,520.00
Costo de producción final por frasco de 90 capsulas				66.21
Costo de producción final por capsula				.73

La Evaluación financiera muestra el desempeño financiero del proyecto y es de especial interés para tomar decisiones acertadas por los interesados en la presente propuesta; La evaluación se basará en los estados financieros proforma. El análisis financiero tiene como objetivo estudiar el rendimiento y la rentabilidad sobre la inversión del proyecto,

Entre los aspectos a evaluar se encontrarán: El valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio – costo (B/C). a continuación, se muestran los resultados de los principales indicadores del proceso.

Tabla 14. Indicadores financieros del proceso de producción para modelo (1E200C)

Indicadores financieros		
Relación b/c		5.03
VAN		15,548,553.58
TIR		42.09%

Relación beneficio/costo (B/C): Este indicador mide la relación que existe entre los ingresos del proyecto y los costos incurridos a lo largo de su vida útil incluyendo la inversión total. Toma los ingresos y egresos presentes netos del estado de resultado para determinar cuáles son los beneficios por cada peso que se invierte en el proyecto. Los posibles resultados de la relación beneficio- costo, se describen a continuación: (a) Si la relación B/C es mayor que la unidad, el proyecto es aceptable, porque el beneficio es superior al costo. 65 (b). Si la relación B/C es menor que la unidad, el modelo debe rechazarse porque no existe beneficio. (c) . Si la relación B/C es igual a la unidad, es indiferente llevar adelante el proyecto, porque no hay beneficio ni perdidas. La idea de negocio evidencia que por cada peso que se invierte, este genera $ 5,03 adicionales al peso que se invierte. El presente modelo refleja que el valor presente neto (VPN) es positivo, lo cual muestra que el proyecto es rentable (es factible desde el punto de vista financiero) y por tal razón la decisión que se debe tomar es ejecutar la iniciativa, ya que un VPN positivo significa que el proyecto es capaz de generar suficiente dinero para que se recupere lo que se invirtió en él y además obtener una ganancia.

Por otra parte, la TIR representa aquella tasa porcentual que reduce a cero el valor actual neto del proyecto. Muestra a los inversionistas la tasa de interés máxima a la que debe contraer préstamos, sin que incurra en futuros fracasos financieros. Para lograr esto se busca aquella tasa que aplicada al flujo neto de efectivo genere un VPN igual a cero. El modelo muestra una tasa Interna de rentabilidad (TIR) anual promedio de 42,09%.; lo cual indica que a pesar de las limitaciones la empresa es viable, ya que cumple con las expectativas de rentabilidad mínimas. Esto debido principalmente a los bajos costo de producción.

CONCLUSIONES

Después de realizar un macro análisis del proceso de producción de capsulas de *moringa oleífera*, se cumplen con los objetivos, general y específicos planteados, por lo anterior es posible afirmar lo siguiente: Este trabajo ratifica la importancia de la aplicación del modelado con el software arena en pequeñas empresas y la vinculación con el sector productivo de las instituciones de enseñanza.

Retomando la hipótesis planteada, *el proceso de encapsulado actual limita la producción de capsulas de hojas de moringa oleífera de la empresa, por lo que la mejora tecnológica en este proceso mejorara los tiempos en todo el proceso de producción*, con la evidencia presentada es posibles aceptar esta hipótesis. ya que se determinó que los tiempos de espera en las colas del modelo de simulación mostraron los tiempos más altos en la etapa de encapsulado, determinando ahí, un cuello de botella. Por otra parte, llegamos a una serie de conclusiones generales: En cuanto al objetivo, *describir el proceso de encapsulado actual de la empresa para obtener los indicadores de producción del proceso para su futuro seguimiento y gestión*, se desarrolló el VSM que fue la base para el desarrollo del modelo de simulación con Arena, mismo que fue validado por el responsable de la planta.

En lo que respecta al objetivo dos, *Simular el proceso de producción de encapsulado de polvo de moringa oleífera, mediante el software Arena con el propósito de cuantificar los tiempos de proceso y analizar alternativas que mejoren su desempeño*, se diseñó y valido estadísticamente el modelo obteniendo, información que permitió tener evidencia para la toma de decisiones, de esta forma se encontró que la empresa tiene una limitación de materia prima que le permite producir 12,800 unidades al año de 90 capsulas, se recomienda establecer la encapsuladora 1E800C, debido a con ella se reducen los tiempos de proceso en un 60% , aunado a que esta le permitirá bajar los costos de producción globales en un 12.23%, que representan $8.1 pesos por unidad producida, económicamente le permitirán obtener una ganancia adicional de $103,680.00.

Por último el objetivo tres fue *analizar el beneficio costo del proceso de producción para determinar las bases de posibles mejoras en la empresa procesadora de capsulas de*

Moringa oleífera, donde con cálculos de ingeniería económica, se determina que a pesar de las deficiencias en el proceso la empresa es económicamente rentable, como lo indicaron los indicadores financieros, donde todos los resultados fueron positivos, por lo que se recomienda a otros productores a emprender en este tipo de negocio debido a su buena rentabilidad.

RECOMENDACIONES

Se evidencio la rentabilidad de este tipo de agronegocios, sin embargo, se deberá de trabajar en el desarrollo de un plan de negocio que permita la comercialización del producto a través de varios canales de distribución para garantizar la venta adecuada del producto y con un mayor volumen.

En cuanto al sistema de producción, la selección de maquinaria y equipo es crucial esto debido al uso de la energía, por lo que la vigilancia de ellos es importante.

El modelo de simulación aún puede mejorarse incorporando elementos para la fabricación de hojas para te, polvo enriquecedor de alimentos y producción de aceite con las semillas.

La sanidad e inocuidad son vitales por ser productos para el consumo humano, por la que las certificaciones de SENASICA, COFEPRIS y SAGARPA ORGANICO son importantes para los futuros emprendedores.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

1.-Evaluar sistemas de secado de la hoja de moringa oleífera para garantizar la permanencia de nutrientes e incorporar un sistema de control de calidad y trazabilidad en el sistema que involucre el campo y la fábrica.

2.-Determinar el tamaño óptimo de las parcelas sembradas con árboles de *moringa oleífera* para diseñar tamaño de planta óptimos.

3.-Determinar la capacidad de producción de materia verde de hojas de *moringa oleífera* y definir la cantidad de kilogramos que es posible producir en diferentes condiciones de suelo bajo condiciones de temporal y riego para ser procesadas.

BIBLIOGRAFÍA

Aldana, A. S., Sandoval, E. R., & Aponte, A. A. (2011). Encapsulación de Aditivos para la Industria de Alimentos. *Ingeniería y Competitividad*, *5*(2), 73-83.

Alhakmani, F., Kumar, S., & Khan, S. A. (2013). Estimation of total phenolic content, in–vitro antioxidant and anti–inflammatory activity of flowers of Moringa oleifera. *Asian Pacific journal of tropical biomedicine*, *3*(8), 623-627.

Ali, E.N. (2010); Application of Moringa Seeds Extract in Water Treatment; PhD Thesis; Department of Biotechnology Engineering, International Islamic University, Kuala Lumpur, Malaysia.

Anjorin TS, Ikokoh P, Okolo S (2010). Composición mineral de Moringa Oleifera hojas, vainas y semillas de las dos regiones en Abuja, Nigeria. En t. J. Agric Biol., 12: 431-434.

Anwar, F., Latif, S., Ashraf, M., & Gilani, A. H. (2007). Moringa oleifera: a food plant with multiple medicinal uses. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, *21*(1), 17-25.

Anwar, F .; Ashraf, M. y Bhanger, MI. (2005). Variación de la intervención en la composición de las semillas oleaginosas de *Moringa oleifera* de Pakistán. *Mermelada. Químicos del petróleo Soc* . 82:45.

Babu, R., & Chaudhuri, M. (2005). Home water treatment by direct filtration with natural coagulant. *Journal of water and health*, *3*(1), 27-30.

Bazán Cucalón, J. C., & Reyes Santos, V. A. (2018). Efectos de la moringa en adultos hipertensos. Centro de salud San Pedro 2018 (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2018.).

Ben Salema, H. & Makkar. (2009). Harina de semilla de *Moringa oleifera* desgrasada con HPS como aditivo alimenticio para ovejas. *Ciencia y tecnología de la alimentación animal*.150: 27.

Besterfield, D.H. (2009). Control de calidad. México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.

Bradley, A. (2007). OptQuest for Arena User's Guide.*RS Inc., Ed., Ed*.

Broin, M., & de Saint Sauveur, A. (2010). Growing and processing Moringa leaves. Recuperado a partir de https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/63651En texto 2013.

Cáceres, A., Freire, B., Girón, L., Avilés, O., y Pacheco, G. (1991). Estudio etnobotánico en Guatemala de *Moringa oleifera* Lam. (C. M. CEMAT, Ed.) *Economic Botany*, 522-523.

Caldera C.A., Shipe W.F. (1994). Effect of storage conditions and chemical treatments on firmness, in vitro protein digestibility, condensed tannins, phytic acid and divalent cations of cooked black beans (Phaseolus vulgaris L.). Journal Food Science, 51, 982-987.

Castro, M. A. (2013). El árbol moringa (*Moringa oleifera* Lam.): una alternativa renovable para el desarrollo de los sectores económicos y ambientales de Colombia. Recuperado el 05 de 11 de 2015, de http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/10956/1/Plantaciones%20de%20moringa%20en%20Colombia.pdf

Centro Mesoamericano de estudios sobre Tecnología Apropiada. (1988). Paraíso Blanco. Ficha Informativa No. 1. *Proyecto: Investigación de la aplicabilidad de Moringa para depuración de agua y fines farmacológicos y agronómicos en Guatemala*, 4.

Cofepris proteccion y salud. (2018). Recuperado 7 de febrero de 2018, de Cofepris website: http://revistacofepris.salud.gob.mx/n/no1/inspector.html

Combeller, C. R. (1993). El Nuevo Escenario: La Cultura de Calidad y Productividad en las Empresas. Jalisco, México. ITESO.

Coppin, J. (2008). A study of the nutritional and medicinal values of Moringa oleifera leaves from sub-Saharan Africa: Ghana, Rwanda Senegal and Zambia. Rutgers, The State University of New Jersey.

Cuatzo, Lozano, M.I. (2010). Efecto de las condiciones de proceso en la conservación de alimentos encapsulados por el método de gelificación iónica (Maestra en ciencias en alimentos). Instituto politécnico nacional, México

Dennis, P. (2002). Lean production simplifield: A plain language guía de to the world´s most powerful production system. New York: Productivity Press.

Dewettinck, K., Messens, W., Deroo, L., & Huyghebaert, A. (1999). Agglomeration tendency during top-spray fluidized bed coating with gelatin and starch hydrolysate. *LWT-Food Science and Technology*, *32*(2), 102-106.

Dunna, E. G., Reyes, H. G., & Barrón, L. E. C. (2006).*Simulación y análisis de sistemas con ProModel*. Pearson Educación.

Escalona, S. 2004. Encapsulado de luteína-enocianina y su aplicación en alimentos. Facultad de ciencias químicas y farmacéuticas. Depto. De ciencia de los alimentos y tecnología química. Universidad de chile.

Fahey JW (2005). Moringa oleifera: Una revisión de la evidencia médica por sus propiedades nutricionales, terapéuticas y profilácticas. Parte 1. 153.

Fishman, J. y Crutzen, PJ (1978). El origen del ozono en la troposfera. *Nature*, *274*(5674), 855-858.

Foidl, N .;Makkar, HPS & Becker, K. (2001).El potencial de la *Moringa oleifera* para usos agrícolas e industriales. En: El árbol milagroso: Los múltiples atributos de la Moringa. (Ed. J. Lowell Fuglie). Publicación de la CTA. Wageningen, Países Bajos. pag. 45.

Forrester, JW y Brink, HM (1961). Dinámica industrial, Edición para estudiantes.

Forrester, J.W.,(1969). Principles of Systems, Wright-Allan Press, Cambridge, MA,

Forrester, J.W.,(1971) World Dynamics, Productivity Press, Oregón.

Francis, JA;Jayaprakasam, B ;Olson, LK y Nair, M. Secretagogos de insulina de *Moringa oleifera* con enzima ciclooxigenasa y actividades inhibidoras de la peroxidación lipídica. *Helvitica Chimica Acta*. 87:317.2004.

Fuglie, LJ (2001) Combatiendo la desnutrición con moringa. En: El árbol milagroso: los múltiples atributos de la moringa.(Ed. LJ Fuglie). Publicación de la CTA. Wageningen, Países Bajos. pag. 117.

Garavito, U. (2008). Moringa oleífera, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel. Recuperado el 20 de octubre de 2015.

García, E., García, H., y Cárdenas, L.E.(2006). *Simulación y análisis de sistemas con ProModel*. Prentice Hall, México.

Ghazali, HM & Mohammed, AS (2011) Aceite de semilla de Moringa (Moringa *oleifera*): composición, aspectos nutricionales y atributos de salud. En: Nueces & Semillas en Salud y Prevención de Enfermedades.(Eds. VR Preedy, R. Ross y VB Patel). Elsevier Inc. Amsterdam, Países Bajos. pág. 787.

Goedhart, R.; Schoonhoven, M., Does, R.J. (2017). Guaranteed In Control Performance for the Shewhart X and X Control Charts. *Journal of Quality Technology*, 49 (2), 155-171. https:// doi.org/10.1080/00224065.2017.11917986.

González, G. N. (2009). Datos generales sobre las propiedades nutricionales y medicinales de la planta Moringa oleífera. *La Habana: Instituto Findlay*.

Gupta, P., & Sri, A. (2016). *Seis Sigma sin Estadística: Enfoque en la búsqueda de las mejoras inmediatas*. eBooks2go, Inc.

Harrington, H. J.; Tumay, K. (1999). *Simulation modeling models.* McGraw Hill New York. USA.

Hernández Triana, M. (2004). Recomendaciones nutricionales para el ser humano: actualización. Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas, 23(4), 266-292.

Hernández, F. Baptista (2014) Metodología de la Investigación (6ta edición) México. *Editorial McGraw-Hill*.

Justillo, A., Coello, H., y Cecilia, G. (2019). La evolución de la productividad y calidad en las empresas de bienes y servicios. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, (enero).

Khawaja T., Mugal, T., Mahmood & Haq, I. U. (2010). Moringa oleifera: a natural gift-A review. Journal of Pharmaceutical Sciences and Research, 2(11), 775.

Khalafalla, M. M., Abdellatef, E., Dafalla, H. M., Nassrallah, A. A., Aboul-Enein, K. M., Lightfoot, D. A., & El-Shemy, H. A. (2010). Active principle from Moringa oleifera Lam leaves effective against two leukemias and a hepatocarcinoma. *African Journal of Biotechnology*, *9*(49), 8467-8471.

Law, A. (2014). Simulation Modeling and Analysis. Fifth Edition. Estados Unidos de América: McGraw-Hill.

Mathur, B. (2005). *Trees for life.* Recuperado el 4 de mayo de 2012, de Trees for life: tp://www.treesforlife.org/sites/default/files/documents/Moringa_Book_Sp.pdf.

Makkar, H. P., y Becker, K. (1996). Nutrional value and whole and ethanol antinutritional components of extracted *Moringa oleifera* leaves. *Animal Feed Science and Technology, 63*, 211.

Martín, C.; López, Y.; Plasencia, Y. & Hernández, E. (2006) Characterisation of agricultural and agroindustrial residues as raw materials for ethanol production. *Chem. Biochem. Eng. Q*. 20:443.

Martin c., Martin G., García A., Fernandez T., Hernandez E. Y pudl J. (2013). Potenciales aplicaciones de la moringa oleifera. Una revisión crítica. Revista pastos y forrajes, 36 (2). Recuperado desde: http://scielo.sld.cu/scielo.php?scrip=sci arttext&pid=S0864-0394201300020000

Medianero D. (2016), Productividad total. Teoría y métodos de medición, Lima, Peru: Empresa editora Macro EIRL.

Mercado de Suplementos alimenticios crece en México (El semanario, 2017) Consultado 10-10-2018 https://elsemanario.com/negocios/212050/mercado-suplementos-alimenticios-crece-mexico/.

Meyer, H. A. (1956). Monte Carlo Methods. In *Proceedings of a Symposium), John Wiley & Sons, New York*.

Möller, D. P. (2014). *Introduction to Transportation Analysis, Modeling and Simulation. Computational Foundations and Multimodal Applications.* London : Springer-Verlag.

Montgomery, D. (2004). *Control estadístico de la calidad*. México: Limusa S.A. De C.V.

Morales, B. G.(1990). *Contribución al estudio fitoquímico y farmacológico de Moringa oleifera Lam. (Paraíso Blanco) como antiinflamatorio. Tesis de grado de licenciado Químico Farmacéutico.* Guatemala: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad De San Carlos de Guatemala.

Moyo, B., Masika, P. J., Hugo, A., & Muchenje, V. (2011). Nutritional characterization of Moringa (Moringa oleifera Lam.) leaves. *African Journal of Biotechnology*, *10*(60), 12925-12933.

Muhammad A. A., Karthivashan G., Arulselvan P. & Fakurazi S. (2015). In vitro antioxidant properties of bioactive fraction of Moringa oleifera. Journal of Natural Products and Biomedical Research.Volume 1; Issue 2.

National Instituttes of Health. (2017). U.S. Department of Health & Human Services. [En linea] Disponible en: https://ods.od.nih.gov/Healthinformation/DSWhatYouNeedToKnow.aspx [Ultimo acceso: diciembre 2018]

Naylor, T. H., Balintfy, J. L., Murdock, D. S., & Chu, K. (1966). *Computer Simulation Techniques.* New York: John Wiley & Sons, Inc.

Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., y Bugarski, B. (2011). Una visión general de las tecnologías de encapsulación para aplicaciones alimentarias. *Procedia Food Science* , *1* , 1806-1815.

Organización de las naciones unidas para la educación la ciencia y la cultura. (2019). Recuperado 20 de mayo de 2019, de Unesco website: https://es.unesco.org/courier/septiembre-2009

Organización Mundial de la Salud. (2018). Recuperado 27 de agosto de 2018, de sitio web mundial website: https://www.who.int/gho/publications/es/

Pérez T., Sánchez N., Armengol y Reyes F. (2010). Características y potencialidades de Moringa oleifera, Lamark. Una alternativa para la alimentación animal. Una Alternativa para la alimentación animal. Revista Pastos y Forraje 33 (4). Recuperado desde: http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v33n4/pyf01410.pdf

Posmontier, B. (2011). The medicinal qualities of Moringa oleifera. *Holistic nursing practice*, *25*(2), 80-87.

Prawda, J. (1980). Métodos y modelos de Investigación de operaciones Vol. 2. *Ciudad de México: Editora Limusa*.

Ríos Atehortúa, G. P., & Gómez Osorio, L. M. (2008). Análisis de costeo para un sistema de producción de lechería especializada “un acercamiento al análisis económico en ganadería de leche”: estudio de caso. *Dyna; Vol. 75, núm. 155 (2008); 37-46 DYNA; Vol. 75, núm. 155 (2008); 37-46 2346-2183 0012-7353*.

Romero-Martínez, M., Shamah-Levy, T., Cuevas-Nasu, L., Gómez-Humarán, I. M., Gaona-Pineda, E. B., Gómez-Acosta, L. M., & Hernández-Ávila, M. (2017). Diseño metodológico de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio Camino 2016. s*alud pública de México*, *59*, 299-305.

Romero-Saldaña, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a distribución normal. Revista de enfermería del trabajo. México.

Robinson, S. S. (2014). Simulation the practice of model develooment and use. Basingstoke: Palgrave Macmillan.

Saleh, N.A., Mahmoud, M.A., Keefe, M.J., Woodall, W.H. (2015). The difficulty in designing shewhart and control charts with estimated parameters. *Journal of Quality Technology*, 47 (2), 127-138. https://doi.org/10.1080/00224065.2015.11918120.

El semanario (2017). Mercado de Suplementos alimenticios crece en México. Consultado 10 de octubre del 2018. https://elsemanario.com/negocios/212050/mercado-suplementos-alimenticios-crece-mexico/.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2018). El poder de la moringa en la salud. Recuperado 3 de julio de 2018, de Gobierno de mexico website: https://www.gob.mx/siap/articulos/el-poder-de-la-moringa-en-la-salud?idiom=es

Singh, Praskash D., Dhakarey R. Y Upadhyay G. (2009). Oxidative DNA damage protective activity, antioxidant and anti-quorum sensing potentials of Moringa oleifera. Foood and Chemical Toxicology 47. Recuperado desde: https://www.reserarchgate.net/publication/223502053_Oxidate DNA Damage protectiveactivity_actioxidant_and_antiquorum_sensing_potentiels_of_Moringa_oleifera [Fecha de consulta: 05/07/17].

Ulam, S., (1951). On the Monte Carlo Method, Proc. Second Symposium on Large Scale Digital Calculating Machinery.

Villarin, A. (2015). Control estadístico en una línea de envases metálicos rectangulares dr 5 galones, trabajo especial de grado (especialización en gerencia en sistemas de calidad y control de procesos estadísticos de procesos). Universidad central de Venezuela, Venezuela. 190.

Woodall, W.H. y Montgomery, D. (2014). Some current directions in the theory and application of statistical process monitoring. *Journal of Quality Technology*, 46 (1), 78-94. https://doi.org/10.10 80/00224065.2014.11917955

Zhou, M. (2017). Variable sample size and variable sampling interval Shewhart control chart with estimated parameters. Oper Res Int J., 17(1), 1-17. https://doi.org/10.1007/s12351-015-0214-9.

Productividad academica

VERACRUZ GOBIERNO DEL ESTADO
SEV Secretaría de Educación
COVEICYDET Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico
DET Dirección de Educación Tecnológica del Estado de Veracruz

IV FONAGE 2019

El Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (COVEICYDET) y la Dirección de Educación Tecnológica del Estado de Veracruz otorga la presente:

CONSTANCIA

a

ELIZABETH DELFÍN PORTELA - LUIS ENRIQUE GARCIA SANTAMARIA
JUAN MANUEL CARRIÓN DELGADO - FABIOLA SÁNCHEZ GALVÁN

Por la presentación del trabajo titulado:

"Caracterización de los sistemas de producción de moringa Oleifera en el Estado de Veracruz."

en el **IV FONAGE 2019** realizado los días 24 y 25 de octubre en la ciudad de Xalapa Veracruz.

" EQUIDAD Y CIENCIA PARA TODOS"

Xalapa-Enríquez, Veracruz, 2019

VERACRUZ | ME LLENA DE ORGULLO

COVEICYDET
CONSEJO VERACRUZANO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Dr. Darwin Mayorga Cruz
Director General
Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico

Scanned with

EDUCACIÓN

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

SEV Secretaría de Educación

DET

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

Otorga el presente

Reconocimiento

A

Luis Enrique García Santamaría

Elizabeth Delfín Portela

Juan Manuél Carrión Delgado

Fabiola Sánchez Galván

Elizabeth Nani González

Por su participación con el **Artículo**

VALUE STREAM MAPPING APLICADO EN EL PROCESAMIENTO DE MORINGA OLEÍFERA: CASO DE ESTUDIO DE UNA EMPRESA VERACRUZANA

en el marco del Congreso Internacional de Ingenierías, Agenda 2030, realizado los días 7, 8 y 9 de Noviembre de 2019.

SEP SEV INSTITUTO TECNOLÓGICO ITSM DIRECCIÓN

Misantla, Ver., a 09 de Noviembre de 2019
"Excelencia Académica para un Futuro de Calidad"

CONGRESO Internacional de INGENIERÍAS 2030

MTRO. JOSÉ ROBERTO ARTEAGA MARTÍNEZ
Director General

Trabajo en extenso enviado al Congreso Internacional de Desarrollo Sustentable y Energías Renovables 2020. Eje temático bioinformática y modelamiento

Simulación de escenarios de un proceso de producción de capsulas de *Moringa oleífera* con el software de simulación Arena.

Elizabeth Delfín Portela [1], Fabiola Sánchez Galván [1], Horacio Bautista Santos [1] y Erick Arturo Betanzo-Torres* [2]

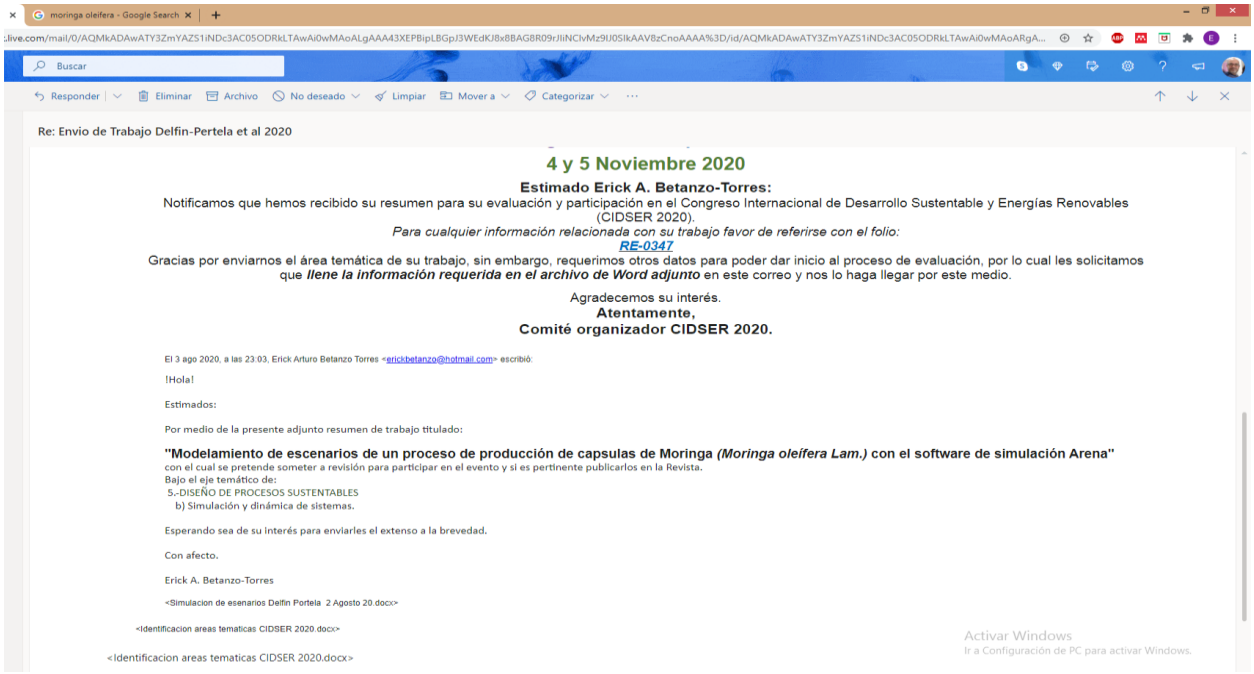
[1]Tecnológico Nacional de México Campus Tantoyuca, Desviación Lindero Tametate S/N, La Morita, 92100 Tantoyuca, Veracruz, México; [2]Ingeniería Agropecuaria del Papaloapan S.P.R de R.L, C.P. 95150, Tierra Blanca, Veracruz. *Autor para correspondencia: erickbetanzo@hotmail.com

Resumen

La producción de capsulas de *Moringa oleífera* es una actividad productiva en desarrollo en el país, debido a que esta planta posee atributos que apoyan a la salud y nutrición de los consumidores, aspectos que ya fueron documentado por muchas investigaciones. Derivado de ello agricultores emprendieron en el desarrollo de este producto como complemento alimenticio, desarrollando capsulas para el consumo humano de manera artesanal, con bajos controles de producción. La simulación de procesos con software de simulación Arena es una forma efectiva de evaluar las implicaciones de los procesos de producción antes de ponerlas en práctica para evaluar posibles alternativas y determinar el mejor enfoque para optimizar el rendimiento del proceso, por ello **el objetivo** de este trabajo fue desarrollar un modelo de simulación del proceso de producción de capsulas de *moringa oleífera* que optimice la utilización de sus recursos, con el propósito de disminuir sus tiempos de proceso con el análisis tres escenarios para determinar la mejor alternativa para la empresa. ***Metodológicamente,*** se abordó como un estudio de caso, la empresa está ubicada en el estado de Veracruz, para el diseño un modelo se siguieron los lineamientos establecidos por el profesor Averill Law, para el diagnóstico inicial se realizó una estancia de investigación durante 180 días, los datos de los tiempos fueron recabados mediante un muestreo sistemático y el modelado utilizando el software de simulación Arena, considerando tres escenarios de simulación que incluyeron: una encapsuladora de 200 capsulas (1E200C), dos encapsuladora de 200 capsulas (2E200C) y una encapsuladora de 800 capsulas (1E800C). **Los resultados revelan** que con el escenario con 1E200C el tiempo de procesamiento en horas fue de 57.5, con la 2E200C de 37.7 y con la 1E800C de 23.5, la capacidad de producción de producción se estableció en 24,000 capsulas por limitaciones de materia prima. En cuanto a la reducción de tiempo se destaca que el modelo 1E800C (60%), la (2E200C) (35%), por otra parte, los días trabajados con el modelo 1E800C solo se requieren 2 jornadas (16 horas), la (2E200C) requiere 4 jornadas (32 horas) y con la (1E200C) se requieren las 7 jornadas (56 horas). En cuanto a los costos de producción por unidad de 90 cápsulas la (1E200C) fue de $66.21, la (2E200C) de $61.37 y por último la (1E800C) de $58.11.***Se concluye*** **que** la empresa tiene una limitación de materia prima que le permite producir 12,800 unidades al año de 90 capsulas, se recomienda establecer la encapsuladora 1E800C, debido a que permitirá bajar los costos de producción globales en un 12.23%, que representan $8.1 pesos por unidad producida, que económicamente le permitirán obtener una ganancia adicional de $103,680.00.

Palabras Clave: Modelamiento; Moringa oleífera; simulación; procesos de producción.

Envío de trabajo resumen y trabajo en extenso



Re: Envio de Trabajo Delfin-Pertela et al 2020

4 y 5 Noviembre 2020

Estimado Erick A. Betanzo-Torres:

Notificamos que hemos recibido su resumen para su evaluación y participación en el Congreso Internacional de Desarrollo Sustentable y Energías Renovables (CIDSER 2020).

Para cualquier información relacionada con su trabajo favor de referirse con el folio:

RE-0347

Gracias por enviarnos el área temática de su trabajo, sin embargo, requerimos otros datos para poder dar inicio al proceso de evaluación, por lo cual les solicitamos que ***llene la información requerida en el archivo de Word adjunto*** en este correo y nos lo haga llegar por este medio.

Agradecemos su interés.

Atentamente,

Comité organizador CIDSER 2020.

El 3 ago 2020, a las 23:03, Erick Arturo Betanzo Torres <erickbetanzo@hotmail.com> escribió:

¡Hola!

Estimados:

Por medio de la presente adjunto resumen de trabajo titulado:

"Modelamiento de escenarios de un proceso de producción de capsulas de Moringa *(Moringa oleífera Lam.)* con el software de simulación Arena"

con el cual se pretende someter a revisión para participar en el evento y si es pertinente publicarlos en la Revista.

Bajo el eje temático de:

5.-DISEÑO DE PROCESOS SUSTENTABLES

b) Simulación y dinámica de sistemas.

Esperando sea de su interés para enviarles el extenso a la brevedad.

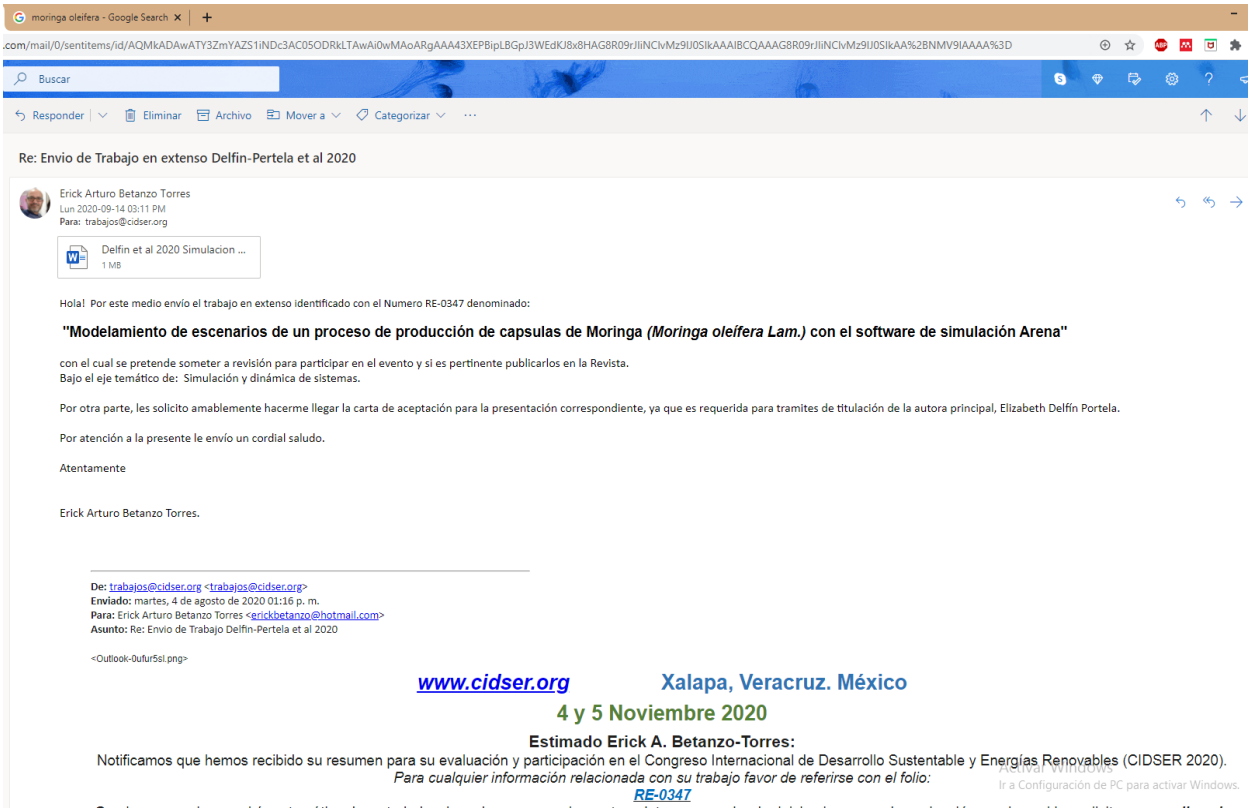
Con afecto.

Erick A. Betanzo-Torres

<Simulacion de esenarios Delfin Portela 2 Agosto 20.docx>

<Identificacion areas tematicas CIDSER 2020.docx>

<Identificacion areas tematicas CIDSER 2020.docx>



Re: Envio de Trabajo en extenso Delfin-Pertela et al 2020

Erick Arturo Betanzo Torres
Lun 2020-09-14 03:11 PM
Para: trabajos@cidser.org

Delfin et al 2020 Simulacion ...
1 MB

Hola! Por este medio envío el trabajo en extenso identificado con el Numero RE-0347 denominado:

"Modelamiento de escenarios de un proceso de producción de capsulas de Moringa *(Moringa oleífera Lam.)* con el software de simulación Arena"

con el cual se pretende someter a revisión para participar en el evento y si es pertinente publicarlos en la Revista.
Bajo el eje temático de: Simulación y dinámica de sistemas.

Por otra parte, les solicito amablemente hacerme llegar la carta de aceptación para la presentación correspondiente, ya que es requerida para tramites de titulación de la autora principal, Elizabeth Delfín Portela.

Por atención a la presente le envío un cordial saludo.

Atentamente

Erick Arturo Betanzo Torres.

De: trabajos@cidser.org <trabajos@cidser.org>
Enviado: martes, 4 de agosto de 2020 01:16 p. m.
Para: Erick Arturo Betanzo Torres <erickbetanzo@hotmail.com>
Asunto: Re: Envio de Trabajo Delfin-Pertela et al 2020

<Outlook-0ufur5sl.png>

www.cidser.org **Xalapa, Veracruz. México**

4 y 5 Noviembre 2020

Estimado Erick A. Betanzo-Torres:

Notificamos que hemos recibido su resumen para su evaluación y participación en el Congreso Internacional de Desarrollo Sustentable y Energías Renovables (CIDSER 2020).

Para cualquier información relacionada con su trabajo favor de referirse con el folio:

RE-0347

Estancias de Investigación

INGENIERÍA
INGENIERIA AGROPECUARIA

INGENIERÍA AGROPECUARIA DEL PAPALOPAN SPR DE RL
AGRICULTURA-GANADERIA-ACUACULTURA

Asunto: Carta de estancia de la empresa

Tierra Blanca, Ver., a 29 de Julio del 2020

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA
Presente

Por medio de la presente el que suscribe, **Erick Arturo Betanzo Torres** representante legal de la empresa denominada Ingeniería Agropecuaria del Papaloapan SPR de RL, con registro federal de contribuyentes IAP 0601 238 N8. con domicilio fiscal en Abasolo 603de la colonia Centro de la ciudad de Tierra Blanca, Veracruz, teléfonos de oficina, 2747434207.

HACE CONSTAR

Que la **Ing. Elizabeth Delfin Portela** realizó una estancia en la empresa en el área de producción para el desarrollo del proyecto: **"Optimización del Proceso de encapsulado mediante técnicas de simulación"**, el cual abarco un periodo del 30 de noviembre del 2018 al 30 de noviembre 2019 bajo la asesoría de la **Dr. Fabiola Sánchez Galván y el Dr. Horacio Bautista Santos.**

Es importante mencionar que la durante a la estancia en la empresa la Ing. Elizabeth Delfin Portela cumplió con el objetivo planteado, y su desempeño fue satisfactorio.

Por lo anterior, se extiende la presente constancia para los fines legales que al interesado considere pertinentes.

Agradeciendo la atención al presente, quedo a sus órdenes.

Atentamente
Dr. Erick Arturo Betanzo Torres
Representante Legal
Ingeniería Agropecuaria del Papaloapan SPR de RL

INGENIERIA AGROPECUARIA DEL PAPALOAPAN S.P.R. DE R.L. R.F.C. IAP060123-8N8 MARIANO ABASOLO No. 603 COL. LOMAS DEL JAZMIN C.P. 95180 TIERRA BLANCA, VER.

INGENIERÍA
INGENIERIA AGROPECUARIA

INGENIERÍA AGROPECUARIA DEL PAPALOPAN SPR DE RL
AGRICULTURA-GANADERIA-ACUACULTURA

Asunto: Carta de Terminación

Tierra blanca, Ver., a 29 de Julio del 2020

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA
Presente

Por medio de la presente el que suscribe, **Erick Arturo Betanzo Torres** representante legal de la empresa denominada Ingenieria Agropecuaria del Papaloapan SPR de RL, con registro federal de contribuyentes IAP 0601 238 N8. con domicilio fiscal en Abasolo 603de la colonia Centro de la ciudad de Tierra Blanca, Veracruz, teléfonos de oficina, 2747434207.

Le informo que la **Ing. Elizabeth Delfin Portela** estudiante del programa de la maestria en Ingenieria Industrial de Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca ha concluido satisfactoriamente el proyecto de tesis titulado:

"OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ENCAPSULADO DE POLVO DE HOJA DE MORINGA OLEIFERA MEDIANTE TÉCNICAS DE SIMULACIÓN"

El proyecto contó con la colaboración en su dirección de **Dra. Fabiola Sánchez Galván y el Dr. Horacio Bautista Santos,** docentes del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca.

Por lo anterior, se extiende la presente constancia para los fines legales que al interesado considere pertinentes.

Agradeciendo la atención al presente, quedo a sus órdenes.

Atentamente
Dr. Erick Arturo Betanzo Torres
Representante Legal
Ingenieria Agropecuaria del Papaloapan SPR de RL

INGENIERIA AGROPECUARIA DEL PAPALOAPAN S.P.R. DE R.L. R.F.C. IAP060123-8N8 MARIANO ABASOLO No. 603 COL. LOMAS DEL JAZMIN C.P. 95450 TIERRA BLANCA, VER.

INGENIERÍA
INGENIERIA AGROPECUARIA

INGENIERÍA AGROPECUARIA DEL PAPALOPAN SPR DE RL
AGRICULTURA-GANADERIA-ACUACULTURA

Asunto: Carta de Intención de Colaboración

Tierra Blanca, Ver., a 23 de Noviembre del 2018

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA
Presente

Por medio de la presente el que suscribe, **Erick Arturo Betanzo Torres** representante legal de la empresa denominada Ingenieria Agropecuaria del Papaloapan SPR de RL, con registro federal de contribuyentes IAP 0601 238 N8. con domicilio fiscal en Abasolo 603de la colonia Centro de la ciudad de Tierra Blanca, Veracruz, teléfonos de oficina, 2747434207.

Le comunico que actualmente la **Ing. Elizabeth Delfin Portela**, estudiante del programa de maestria en Ingenieria Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca, cuenta con la autorización para realizar su trabajo de tesis en la empresa que represento, que ya se encuentra en proceso de desarrollo, con el título:

"Optimización del proceso de encapsulado de polvo de hoja de moringa oleifera mediante técnicas de simulación"

Lo anterior, bajo la dirección de la **Dra. Fabiola Sánchez Galván** y el **Dr. Horacio Bautista Santos.**

De antemano agradezco su atención al presente, quedo a sus órdenes para cualquier comentario.

Atentamente
Dr. Erick Arturo Betanzo Torres
Representante Legal
Ingenieria Agropecuaria del Papaloapan SPR de RL

INGENIERIA AGROPECUARIA
DEL PAPALOAPAN S.P.R. DE R.L.
R.F.C. IAP0601238N8
MARIANO ABASOLO No. 603
COL. LOMAS DEL JAZMIN
C.P. 95150 TIERRA BLANCA, VER.

INGENIERÍA
INGENIERIA AGROPECUARIA

INGENIERÍA AGROPECUARIA DEL PAPALOPAN SPR DE RL
AGRICULTURA-GANADERIA-ACUACULTURA

Asunto: Carta de recepción de Informe Técnico

Tierra blanca, Ver., a 29 de Julio del 2020

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA
Presente

Por medio de la presente el que suscribe, **Erick Arturo Betanzo Torres** representante legal de la empresa denominada Ingeniería Agropecuaria del Papaloapan SPR de RL, con registro federal de contribuyentes IAP 0601 238 N8. con domicilio fiscal en Abasolo 603de la colonia Centro de la ciudad de Tierra Blanca, Veracruz, teléfonos de oficina, 2747434207.

Hago de su conocimiento que la **Ing. Elizabeth Delfín Portela**, estudiante del programa de Maestría de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico Superior de Tantoyuca ha entregado a esta empresa el **Informe Técnico**, el cual contiene todas los estudios, cálculos, conclusiones y recomendaciones efectuadas durante el desarrollo del trabajo titulado:

"Optimización del proceso de encapsulado de polvo de hoja de moringa oleífera mediante técnicas de simulación".

Que serán de mucha utilidad para el desempeño de la empresa y que tomadas en cuenta para su futura implementación.

Lo anterior bajo la dirección de la **Dra. Fabiola Sánchez Galván** y el **Dr. Horacio Bautista Santos.**

De antemano agradezco su atención al presente, quedo a sus órdenes.

Atentamente
Dr. Erick Arturo Betanzo Torres
Representante Legal
Ingeniería Agropecuaria del Papaloapan SPR de RL

INGENIERIA AGROPECUARIA DEL PAPALOAPAN S.P.R. DE R.L.
R.F.C. IAP060123-2N3
MARIANO ABASOLO No. 603
COL. LOMAS DEL JAZMIN
C.P. 90450 TIERRA BLANCA, VER.

INGENIERÍA
INGENIERIA AGROPECUARIA

INGENIERÍA AGROPECUARIA DEL PAPALOPAN SPR DE RL
AGRICULTURA-GANADERIA-ACUACULTURA

INGENIERIA AGROPECUARIA DEL PAPALOAPAN S.P.R. DE R.L.
R.F.C. IAP060123-6N8
MARIANO ABASOLO No. 603
COL. BARRIO DEL JAZMIN
C.P. 95150 TIERRA BLANCA, VER.

Asunto: Desarrollo de estrategias para mejoras del proceso de encapsulado

Tierra Blanca, Ver., a 29 de Julio del 2020

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TANTOYUCA
Presente

Por medio de la presente el que suscribe, **Erick Arturo Betanzo Torres** representante legal de la empresa denominada **Ingenieria Agropecuaria del Papaloapan SPR de RL**, con registro federal de contribuyentes IAP 0601 238 N8 con domicilio fiscal en Abasolo 603de la colonia Centro de la ciudad de Tierra Blanca, Veracruz, telefonos de oficina, 2747434207

Actualmente Ingenieria Agropecuaria del Papaloapan, en su división de agricultura, cuenta con la marca comercial BD **MORINGA**, la cual es utilizado para la venta de productos realizados a base de moringa oleifera, principalmente capsulas, en presentaciones de 90 capsulas, esta empresa se encuentra ubicada en Tierra blanca, Veracruz, México.

En el 2018, se tuvo la oportunidad de poder desarrollar un proyecto que lleva por nombre: **Optimización del proceso de encapsulado de polvo de hoja de moringa oleifera mediante técnicas de simulación**, bajo la dirección de la **Dra. Fabiola Sánchez Galván** en colaboración con el estudiante de la Maestria de Ingenieria Industrial **Elizabeth Delfin Portela.**

El proyecto nace de la necesidad de mejorar el proceso de producción, especialmente en la etapa de encapsulado, ya que este trabajo se realiza de manera manual y no se tienen ningún control de la producción de la empresa.

El objetivo de proyecto fue mejorar el proceso de producción analizando tres escenarios con modelos diferentes de encapsuladoras, esto mediante el software de simulación Arena.

Con ello se pretende aumentar el volumen de distribución en el mercado nacional e internacional y reducir los costos de producción, mantener las condiciones de inocuidad durante el proceso de manufactura en la planta.

Con la participación de la alumna Elizabeth Delfin Portela y miembros de la empresa se realizaron las actividades siguientes:

INGENIERÍA
INGENIERIA AGROPECUARIA

INGENIERÍA AGROPECUARIA DEL PAPALOPAN SPR DE RL
AGRICULTURA-GANADERIA-ACUACULTURA

1. Análisis de la situación actual de la empresa.
2. Análisis del proceso de encapsulado.
3.-Análisis de la tecnología a utilizar.
4.-modelamiento del proceso de producción.
5.-Simulación del proceso y análisis de tiempos.
5.-Analisis de costos de producción.
3. informe final con recomendaciones.

Los logros y beneficios obtenidos con dicho sistema fueron: principalmente la programación de la implementación y puesta en marcha del proyecto que se encuentra en proceso de evaluación final y que se pretende entrara en operación en febrero del 2020.

Cabe mencionar que estos trabajos se realizaron durante noviembre del 2018 a febrero del 2020, lo cue ayuco a proponer mejoras al sistema de producción y reforzar el vinculo con el sector productivo del postgrado de la Maestria en Ingenieria Industria.

Se extiende la presente para lo fines legales que al interesado convengan a los 29 dias del mes de Julio del 2020.

Por la atención a la presente.

Reciba un saludo cordial.

Atentamente
Dr. Erick Arturo Betanzo Torres
Representante Legal
Ingenieria Agropecuaria del Papaloapan SPR de RL