



**UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

TÍTULO DE TESIS:

**DISEÑO Y OPTIMIZACION DE UN
DESPULPADOR DE AGUACATE**

**PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADO EN INGENIERÍA QUÍMICA**

PRESENTA:

ANDRES QUINTERO SANCHEZ

ASESOR:

M.C. JOSÉ DOMINGO ACUÑA PARDO

Julio 2017

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo es el resultado del esfuerzo de muchas personas que ayudaron a llevarlo a cabo y materializarlo, no solo como un requisito para obtener un grado académico, sino como una experiencia de vida al haber podido trabajar en equipo con gente a la que ahora llamo amigos. Que dejaron una huella en mi imborrable al mostrarme su apoyo de manera leal y con gusto por realizar este trabajo.

Quiero dedicar esta tesis primero que nada a mi madre ya que sin su apoyo, sus consejos, sus regaños por mi bien propio, esto hubiera sido más difícil de realizar, por creer en mi cuando empecé la aventura de estudiar una carrera, y apoyarme en la que yo elegí que sin duda alguna es la mejor para mí, por esto te estaré agradecido eternamente madre, te amo.

A mi asesor, maestro, amigo, al M.C José Domingo Acuña Pardo, por haberme dado la oportunidad de trabajar con él, por haberme apoyado hasta el final, dejándole saber mi admiración por el como hombre de ciencia, y como amigo en el plano humano.

Por los recursos económicos aportados para desarrollar esta investigación se agradece a la Junta Local de Sanidad Vegetal de Nuevo Parangaricutiro, a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), a través del Programa de Desarrollo de Capacidades, Innovación Tecnológica y Extensionismo Rural y a la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	5
1.-INTRODUCCION.....	6
1.1.- JUSTIFICACIÓN	6
1.2.- HIPOTESIS	8
1.3.- OBJETIVOS	8
2.- MARCO TEÓRICO.....	9
2.1.- PRODUCCION.....	9
2.2.- BENEFICIOS DEL AGUACATE.....	12
2.3.- EL AGUACATE EN EL MERCADO MUNDIAL.....	13
2.4.- COMERCIO INTERNACIONAL.....	14
2.5.-SITUACIÓN DEL AGUACATE EN EL MERCADO NACIONAL.....	16
2.6.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LAS 3 ETAPAS ANTERIORES AL DESPULPADOR DE AGUACATE, EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE EXTRA VIRGEN DE AGUACATE.....	19
2.6.1.-RECEPCIÓN Y SELECCIÓN DE LA FRUTA.....	19
2.6.2.-LAVADO	21
2.6.3.-PELADO Y RECUPERACIÓN DE LA PULPA VIRGEN.....	26
2.6.4. TRITURADO DE LA PULPA.....	27
3. METODOLOGÍA.....	30
3.1.- DIAGRAMA DE OPTIMIZACIÓN UTILIZANDO LA METODOLOGÍA TAGUCHI.....	30
3.2.-DISEÑO EXPERIMENTAL Y OPTIMIZACION DE LA ETAPA DE DESPULPADO	31
3.3.- SELECCIÓN DE VARIABLES.....	32
3.3.1.-VARIABLES DEPENDIENTES (VARIABLES QUE AFECTAN AL PROCESO).....	32
3.3.2.-VARIABLES INDEPENDIENTES.....	33
3.3.3.-CONDICIONES DE REFERENCIA.....	33
3.3.4.-CONDICIONES AMBIENTALES.....	34
3.3.5.-VARIABLES DE RUIDO.....	34
3.3.6.-VARIABLE BLOQUEADA: ÍNDICE DE MATERIA SECA.....	35
3.5.-DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	37
4.-ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	39
5.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
5.1.-NOMENCLATURA.....	58
5.2.- REFERENCIAS.....	60
5.3.- ANEXO.....	62

RESUMEN

El presente trabajo es una de las etapas de un proceso global para la extracción de aceite extra virgen de aguacate, el cual se pretende introducir al mercado de los cosméticos y al de consumo humano a través de la dieta.

En la etapa de despulpado es necesario diseñar un equipo que permita la separación física de la cascara y el hueso de la pulpa, ya que el aceite se pretende obtener sólo de la pulpa ya que en la cáscara y en el hueso existen compuestos terpénicos que le agregan color y sabor desagradable al aceite.

Por consiguiente se optó por conseguir un despulpador que fuese apto para este proyecto, es importante citar que no existe evidencia de que se haya diseñado y se encuentre operando un equipo con estas características. Nuestro punto de partida será la industria del mango, donde si existen despulpadores que se han diseñado y se encuentran en operación.

Una vez adquirido el equipo, se realizó un análisis de variables, se identificaron las condiciones ambientales, las variables a bloquear, las variables de ruido, las variables independientes y las variables dependientes.

Durante el desarrollo del proceso se diseñó un experimento Señal/Ruido, con la finalidad de robustecer los resultados.

Al hacer el análisis de variables se eligieron como variables independientes la velocidad del despulpador, el tamaño de malla del despulpador y la inclinación del despulpador, se instaló un potenciómetro que opera a una velocidad inicial 0 rpm a una velocidad máxima de 60 rpm para manejar la variable (velocidad), la cual se eligió entre los rangos de 20rpm a 50 rpm, el tamaño de malla quedo definida en sus medidas de 0.1 cm y 0.5 cm, y la inclinación del despulpador se definió a 3° y 7° , esto para proceder a la optimización del despulpador de aguacate que como se mencionó anteriormente no existen evidencias de que se haya diseñado o se encuentre operando un equipo con estas características.

Para iniciar el diseño de experimentos se generó una corrida experimental que sirviera de base o referencia para la evaluación de las variables dependientes. Al realizar la optimización del despulpador se logró obtener una pulpa de aguacate con porcentajes del 99% de pureza, o como en nuestro trabajo la llamamos a esta variable dependiente calidad de la pulpa.

Palabras clave: Aguacate, Optimización, Calidad de Pulpa, Despulpador, Diseño.

ABSTRACT

The present work is one of the stages of a global process for the extraction of extra virgin avocado oil, which is intended to introduce to the market of cosmetics and to the human consumption through diet.

In the Pulping stage it is necessary to design a equipment that allows the physical separation of the shell and the bone from the pulp, since the oil is only to be obtained from the pulp since in the shell and in the bone there are terpene compounds that Add color and unpleasant taste to the oil.

Therefore it was decided to obtain a pulper that was suitable for this project, it is important to mention that there is no evidence that a device with these characteristics has been designed and is operating. Our starting point will be the mango industry, where there are pulpers that have been designed and are in operation

Once the equipment was acquired, a variable analysis was performed, the environmental conditions, the variables to be blocked, the noise variables, the independent variables and the dependent variables were identified.

During the development of the process, a Signal / Noise experiment was designed, in order to strengthen the results.

When the variable analysis was chosen as the independent variables the pulper speed, the size of the pulper mesh and the incline of the pulper, a potentiometer was installed that operates at an initial velocity of 0 rpm at a maximum speed of 60 rpm to handle the (Velocity), which was chosen between the ranges of 20 rpm to 50 rpm, the mesh size was defined in its measures of 0.1cm and 0.5cm, and the incline of the pulper was defined as 3° and 7°, this to proceed The optimization of the avocado pulp that as mentioned above does not exist evidence that a equipment with these characteristics has been designed or is operating.

To begin the design of experiments, an experimental run was generated that served as a base or reference for the evaluation of the dependent variables. When the optimization of the pulper was achieved, it was possible to obtain an avocado pulp with percentages of 99% purity, or as in our work we call this variable the quality of the pulp.

Key words: Avocado, Optimization, Pulp Quality, Pulper, Design.

1.-INTRODUCCION

1.1.- JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de esta tesis que lleva por título “Diseño y optimización de un despulpador de aguacate”, constituye una etapa del proceso global de la extracción de aceite extra virgen de aguacate, el cual se puede desglosar en las siguientes etapas:

1. Almacenamiento de materia prima
2. Lavado y desinfección
3. Secado
4. Despulpado
5. Extrusión a temperatura controlada;
6. Centrifugado;
7. Almacenamiento de producto terminado.

En la etapa de despulpado es necesario diseñar un equipo que permita la separación física de la cascara y el hueso de la pulpa, ya que el aceite se pretende obtener sólo de la pulpa ya que en la cáscara y en el hueso existen compuestos terpénicos que le agregan color y sabor desagradable al aceite.

Es importante citar que no existe evidencia de que se haya diseñado y se encuentre operando un equipo con estas características. Nuestro punto de partida será la industria del mango, donde si existen despulpadores que se han diseñado y se encuentran en operación.

En la situación económica internacional que se vive en la actualidad a causa de la globalización, se han dado adelantos tecnológicos y científicos como no se vieron en épocas pasadas.

La innovación y el diseño son el sello distintivo de esta época. El hombre ha orientado su creatividad hacia la mejor calidad de vida. Es por esto que cada vez son más elevadas las demandas en cuanto a calidad de productos exige el cliente, es por ello que para lograr un buen nivel de competitividad, actualmente se nos obliga a optimizar los procesos con el mejor costo y obteniendo mejoras significativas en la calidad.

Dada esta situación, indudablemente tenemos que incrementar la eficiencia en nuestros procesos sean de cualquier tipo para así tener satisfecho al consumidor, llamémosle a esto creación y desarrollo de tecnologías (las que deberán ser diseñadas con la mayor precisión y visión a futuro), u optimización de las ya existentes.

El control de calidad tradicional se origina como un esfuerzo para controlar los problemas que causa la variación funcional, sin embargo, la falta de técnicas para evaluarla cuantitativamente, ha impedido una mejora efectiva de la calidad.

Algunos métodos experimentales como la función de pérdida de Taguchi, (Taguchi Eugene,1988)¹, ofrecen una evaluación cuantitativa del costo de calidad, el objetivo de la ingeniería de calidad es minimizar las pérdidas asociadas a la calidad. Su objetivo primordial es crear diseños “robustos” con respecto a todos los factores que podrían cambiar el comportamiento del producto.

Entre los sistemas más novedosos para diseño experimental se encuentra el método Taguchi y su diferencia más importante radica en su enfoque dirigido principalmente a costos. Este enfoque no enfatiza el descubrimiento de las relaciones causa/efecto de la variabilidad, sino el descubrimiento de los niveles de los parámetros que eliminan la influencia de las causas de variación. Lo que predomina en este nuevo enfoque al “control de calidad fuera de línea”, es la optimización, no la identificación del modelo como lo hacen los enfoques tradicionales.

Dentro de sus principales ventajas se encuentran las siguientes.

- 1.- Reproducibilidad y confiabilidad de las conclusiones.
- 2.- Es una forma sencilla y directa de examinar muchos factores a la vez de forma económica.
- 3.- El uso de los arreglos ortogonales permite que un gran número de variables (factores) con diferente número de niveles se pueden analizar con un número pequeño de corridas experimentales.
- 4.- Cuando el número de factores se incrementa, con la ayuda de tablas y graficas permite determinar que combinaciones experimentales realizar.
- 5.- Enfatiza la importancia del conocimiento del proceso para que los expertos definan la necesidad de establecer interacciones entre los factores.
- 6.- Permite hacer predicciones sobre el diseño de productos y procesos con respecto a robustez y costo.

1.2.- HIPOTESIS

Es posible diseñar, construir, operar y optimizar un equipo que tenga la capacidad de separar por completo la cáscara y el hueso de la pulpa de aguacate, que pueda funcionar de manera continua y que requiera mínimo mantenimiento para su operación, que a su vez se pueda obtener una pulpa limpia y con los estándares de inocuidad establecidos en las normas oficiales.

1.3.- OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es diseñar, construir, operar y optimizar un despulpador de aguacate que tenga la capacidad de separar eficientemente la cáscara y el hueso de la pulpa, ya que el objetivo es obtener aceite sólo de la pulpa del aguacate.

El objetivo específico es optimizar el funcionamiento del despulpador, es decir encontrar los niveles adecuados de las variables independientes (La velocidad de transporte, la inclinación del equipo y el tamaño de malla del separador), para minimizar la función objetivo (Masa de inertes/masa de pulpa), manteniendo el adecuado funcionamiento a pesar de las variables necesarias de bloquear (El tamaño de los aguacates y las condiciones de presión, altitud, temperatura y humedad del ambiente), todo ello realizado cuando los aguacates tengan los niveles adecuados del porcentaje de materia seca e identificando en que niveles debemos trabajar para minimizar la variabilidad y mantener la media donde los requerimientos del proceso nos indique.

2.- MARCO TEÓRICO

El estado de Michoacán es el estado con mayor producción y venta de aguacate a nivel nacional e internacional. Sin embargo, no se ha desarrollado una diversificación de los posibles productos que se pueden extraer del mismo dadas sus propiedades nutrimentales.

En la última década ha habido importantes cambios en la demanda mundial de bienes alimenticios, principalmente en los mercados desarrollados. Raúl Green, especialista de la evolución de la demanda de bienes alimenticios, señala que el cambio en el comportamiento de los consumidores de estos países lo atribuye a los siguientes factores (Torres Felipe y Trapaga Yolanda, 1997)².

- a) Elevación progresiva y general de los ingresos de los consumidores.
- b) Multiplicación del tipo de productos consumidos y elevación de la calidad de los mismos.
- c) Diversificación de los lugares de consumo.
- d) Cambios en la forma de preparación de los alimentos.

2.1.- PRODUCCION

El mercado de productos orgánicos ha presentado un gran dinamismo debido a la demanda mundial por este tipo de productos principalmente en la Unión Europea, Estados Unidos y Japón. En el año 2005 se registraron ventas mundiales por \$30 billones de dólares de productos orgánicos, lo que representa 2.5% del total de ventas en el sector agroalimentario mundial.

La demanda mundial por productos orgánicos ha influido fuertemente la oferta mundial de aguacate. El aguacate, originario de América, representó para los pueblos indígenas desde tiempos inmemoriales, un fruto delicioso muy apreciado con propiedades extraordinarias.

A mediados de los años ochenta algunos países productores (México, Indonesia, Brasil, Estados Unidos, Chile, España, Sudáfrica e Israel), comenzaron a destinar hectáreas para el cultivo de aguacate orgánico con el

objetivo de satisfacer la demanda mundial. La finalidad es este sistema de producción es manejar de manera sostenible la huerta, evitando el uso de agroquímicos que provocan daños a la salud humana y al medio ambiente.

El estado de Michoacán (concentra más de 80% de la producción nacional de aguacate en México) ya que se produce aguacate orgánico desde mediados de los años noventa. En 1996 se certifica la primera huerta y en 1998 se certifican otras ocho huertas, las cuales sumaban 304 hectáreas de aguacate orgánico (K. Villafán¹, C. Ortiz² y J. Bonales²,2007)³.

El aceite es un componente muy importante del aguacate, pues constituye una parte significativa de la sustancia seca de la carne (mesocarpio) y son responsables del sabor y de la textura gustativa que los consumidores exigen en esta fruta. Algunos autores han puesto de manifiesto la excelencia del aceite de aguacate en su aplicación cosmética, dermatológica, terapéutica y gastronómica(Dupaigne, P,1970)⁴ (Daniel, A,1979)⁵ (Chanez, J.F., Lamaud, E. Wepierre, J.)⁶.

La extracción del aceite de aguacate se ha realizado desde hace muchas décadas. Sin embargo, el uso predominante del aceite hasta la actualidad, ha sido cosmético, dada su alta estabilidad y contenido en vitamina E (α -tocoferol). Para el uso cosmético, la extracción química, a temperatura alta, es aceptable debido a que por éste método de extracción se obtienen rendimientos en el orden de 95% respecto del aceite crudo, por tal motivo ha sido el método clásico de extracción comercial; sin embargo para el uso del aceite grado alimenticio, no es posible el uso de solventes químicos para extracción debido a que éstos generan serios efectos adversos sobre la salud, en lo que respecta a la extracción en caliente se presenta la condición de degradación de varios componentes por efecto de alta temperatura.

Se encuentra abundante bibliografía en la extracción de aceite de aguacate a escala de laboratorio, generalmente por uso de disolventes pero son pocas las referencias a otros procedimientos de extracción que se hayan llevado a escala industrial (Gómez, M.E. y Mora, CE.1982)⁷ (Alter, M. y Gutfinger, T.1982)⁸.

Algunas investigaciones mencionan a la extracción en frío (sin elevar la temperatura a más de 50 °C) como un método atractivo para la obtención de aceite de aguacate.

Utilizando este método, el aceite extraído contiene una amplia gama de compuestos con conocidos beneficios para la salud. El alfa-tocoferol, que se ha relacionado con la reducción de las enfermedades cardiovasculares, se encuentra aproximadamente en una cantidad de 12 a 15 mg/g de aceite en el producto obtenido en frío. Los niveles de beta-sitosterol fueron aproximadamente de 4.5 mg/g de aceite.

Los fitoesteroles (incluyendo β -sitosterol) inhiben la absorción intestinal de colesterol en el ser humano, disminuyendo los niveles plasmáticos de colesterol total y pueden prevenir el cáncer de colon, mama y próstata.

Además de una amplia gama de pigmentos liposolubles (carotenoides) como carotenos, xantofilas y una cantidad importante de clorofila. También es importante, desde el punto de vista sanitario, la presencia de luteína (una xantofila), que se ha relacionado con la reducción de trastornos por manchas oculares y el riesgo de cataratas.

Las relaciones entre los ácidos grasos monoinsaturados (oleico y palmitoleico) y saturados (palmítico), y entre los ácidos grasos poliinsaturados (linoleico y linolénico) y saturados, revelaron una comparación favorable desde el punto de vista sanitario con los del recomendado aceite de oliva.

La producción de aguacate en el estado de Michoacán durante el periodo 2009-2010 alcanzó niveles cercanos a las 344,000 toneladas que en su mayoría se destinan al mercado exterior y al consumo interno. La superficie destinada al cultivo aumenta año tras año, sin embargo no se incrementa de la misma manera la demanda para el consumo por lo que cabe esperar a corto plazo un excedente importante. Si a este excedente se le une la fruta rechazada en los canales de exportación así como la fruta caída del árbol, pueden resultar cantidades apreciables a la que es necesario buscarle una aplicación.

Para llevar a cabo la capitalización del campo y lograr por este medio su desarrollo, es importante la aplicación de estrategias orientadas a incrementar la competitividad de las cadenas productivas y con ello la eficiencia de la aplicación de los recursos. Dentro de este contexto es de vital importancia el aprovechamiento de los recursos de nuestro estado, en específico del cultivo del aguacate. De acuerdo a investigaciones recientes, el aguacate es susceptible de incursionar en los mercados tanto nacionales como internacionales, con nuevos productos, por lo que hay que propiciar las condiciones adecuadas para su aprovechamiento.

Por tal motivo, en este proyecto se pretende dar impulso a la generación de conocimiento y al desarrollo tecnológico en lo referente a la extracción de aceite de aguacate, con la finalidad de aprovechar integralmente este producto e incrementar su valor agregado, tiempo de vida de anaquel y desde el punto de vista nutricional mejorar la calidad alimentaria del consumidor.

2.2.- BENEFICIOS DEL AGUACATE.

Puede disminuir el colesterol sérico, aumentar el nivel de c-HDL y disminuir el LDL. Contiene vitamina E y tocoferoles que le proveen un efecto estabilizador de las membranas celulares y neutralizan los radicales libres causantes del estrés oxidativo celular (antioxidante).

Ayuda a prevenir las cataratas por su alto contenido en luteína.

Su contenido de β -sitosterol lo relaciona con la inhibición de tumores cancerosos.

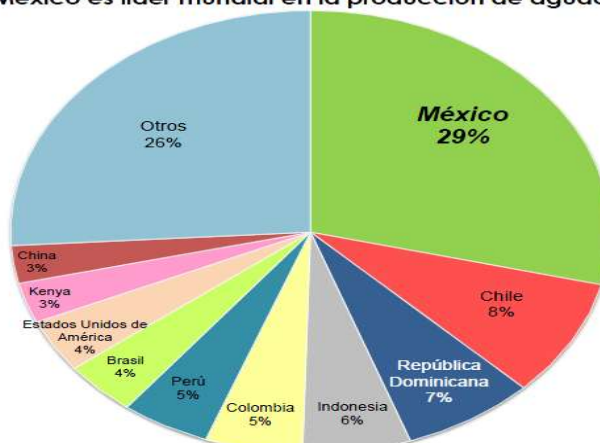
Rico en antioxidantes naturales (escualeno, carotenoides, fitoesteroles tocoferoles) que reducen los riesgos coronarios y limita la absorción del colesterol dañino. Posee un punto de humo elevado (255°C) que lo hace un graso indicado en cocina. El alto contenido de ácido oleico ayuda a la prevención y tratamiento de la arterioesclerosis. El aceite de aguacate es un excelente componente en la "dieta mediterránea", la cual es un modelo de patrón dietético para la cardiopatía isquémica.

2.3.- EL AGUACATE EN EL MERCADO MUNDIAL.

Hoy en día el aguacate es un fruto que forma parte de la dieta diaria de la población, su presencia mundial cobra mayor importancia debido a las tendencias en consumo de productos naturales con gran aporte de beneficios a la salud. El aguacate o palta se produce en 67 países del mundo, se destinan alrededor de 459 mil hectáreas para su cultivo y se obtienen un poco más de ocho toneladas por hectárea cosechada. América es el continente en donde más se produce este fruto (71%), África ocupa el segundo lugar en importancia (13%) seguida de Asia (11%), por último se encuentra Europa (3%) y Oceanía (2%).

De acuerdo con datos de la FAO, en el 2010 la producción mundial de aguacate casi alcanzó los 4 millones de toneladas y el principal productor es México con el 29% del mercado mundial, seguido de Chile con el 9%, República Dominicana con el 7%, Indonesia con el 6% y Colombia con el 5%. Actualmente, estos cinco países concentran poco menos del 60% de la producción de aguacate en el mundo. Como se muestra en la gráfica 1.

México es líder mundial en la producción de aguacate



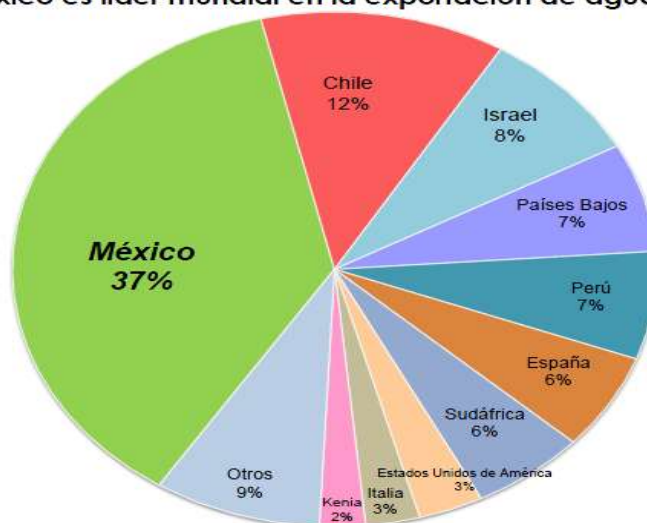
FUENTE: Elaborado por la DGIB de la Secretaría de Economía con datos de FAOSTAT.

GRAFICA 1.-Indica la situación del aguacate en el mercado mundial (Fuente: DGIB con datos de FAOSTAT)

2.4.- COMERCIO INTERNACIONAL.

Actualmente, el volumen de exportaciones equivale el 23% de la producción mundial y en el periodo comprendido entre 2000-2010 se exportaron en promedio 589 mil toneladas de aguacate al año, mostrando incrementos anuales del 9%. México no sólo es el mayor productor de aguacate en el mundo, también es el principal exportador de este fruto, aporta con el 37% de las exportaciones mundiales y su crecimiento medio anual es de 14% en volumen y 23% en valor. Los exportadores más importantes después de México son Chile con una participación del 12%, seguido de Israel con el 8%, Países Bajos y Perú, ambos con el 7%. Como podemos notar en la gráfica 2.

México es líder mundial en la exportación de aguacate



FUENTE: Elaborado por la DGIB de la Secretaría de Economía con datos de UN COMTRADE.

**Gráfica 2.- muestra la gráfica indicando la exportación del aguacate
(Fuente: DGIB con datos de COMTRADE)**

El aguacate se produce en 67 países del mundo, se destinan alrededor de 459 mil hectáreas para su cultivo y se obtienen un poco más de ocho toneladas por hectárea cosechada (ver Tabla 1). América es el continente en donde más se produce este fruto (71 %), África ocupa el segundo lugar en importancia (13 %) seguida de Asia (11 %), por último se encuentra Europa (3 %) y Oceanía 2 %.

La producción mundial del periodo 2000 – 2010 registró una tasa de crecimiento medio anual de 3.6 % y alcanzó 3.9 millones de toneladas en el año 2009. Cada año los países productores destinan una mayor superficie para el cultivo del aguacate, el crecimiento del área cosechada en el mundo reportó una tasa promedio de 3.1 % al año para el periodo considerado; ver tabla 1.

Por su parte, la superficie cosechada en México representó el 26.9 % del total mundial, fue el primer lugar a nivel mundial en ese periodo, aunque su crecimiento promedio al año fue menor en comparación con el de otros países; ver Tabla 1. De acuerdo con datos de la FAO (De la base de datos estadísticos online de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAOSTAT) en el 2012.

Tabla 1. Principales países productores de aguacate del mundo en 2010.

PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE AGUACATE EN 2010								
País	Producción (toneladas)	Participación (%)	TCM (%) 2000-2010	Superficie cosechada (ha)	Participación (%)	TCM (%) 2000-2010	Rendimiento (ton/ha)	TCM (%) 2000-2010
México	1,107,140	28.8	2.0	123,403	26.9	2.7	8.97	-0.7
Chile	330,000	8.6	12.9	34,057	7.4	4.9	9.69	7.7
República Dominicana	275,569	7.2	12.9	10,600	2.3	5.7	26.00	6.9
Indonesia	224,278	5.8	4.4	17,400	3.8	2.7	12.89	1.6
Colombia	201,869	5.3	4.4	30,511	6.6	8.7	6.62	-4.0
Perú	184,370	4.8	8.2	17,750	3.9	7.3	10.39	0.8
Brasil	152,181	4.0	5.9	11,637	2.5	-0.9	13.08	6.8
Estados Unidos de América	149,300	3.9	-3.7	24,252	5.3	-0.8	6.16	-2.9
Kenya	113,206	2.9	8.1	6,125	1.3	4.0	18.48	3.9
China	105,400	2.7	4.2	15,000	3.3	6.5	7.03	-2.2
Total Mundial	3,840,905	100	3.6	459,252	100	3.1	8.36	0.5

Fuente: Elaborado por la DGIB de la Secretaría de Economía con datos de FAOSTAT.

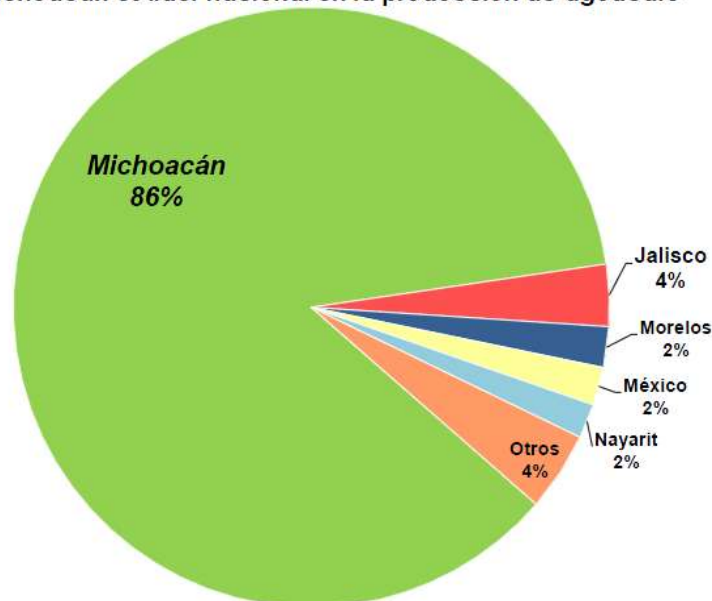
(Fuente: Elaborado por la DGIB de la secretaria de economía con datos de la FAOSTAT)

2.5.-SITUACIÓN DEL AGUACATE EN EL MERCADO NACIONAL

El aguacate es un fruto de gran importancia económica en México, ya que representa el 22% del valor total de la producción dentro del grupo de las frutas que se cultivan en el país y en función del volumen producido participa con el 6.5% del total, después de la naranja, plátano, limón y mango. También es una de las frutas más populares dentro de la cultura nacional y con mayor reconocimiento a nivel mundial.

De acuerdo con los datos del SIAP, en el 2010 la producción nacional de aguacate se estimó en más de 1 millón de toneladas con un valor de 14,166 millones de pesos, y el principal estado productor a nivel nacional es Michoacán que aporta el 86% del total nacional, como se muestra en la gráfica 3.

Michoacán es líder nacional en la producción de aguacate



FUENTE: Elaborado por la DGIB de la Secretaría de Economía con datos de SIAP.

Figura No. 3. Muestra la gráfica indicando la situación del Aguacate en el mercado nacional. (Fuente: Elaborado por la DGIB con datos de la SIAP)

Con lo anterior nos damos cuenta que el estado de Michoacán y a su vez México es el líder mundial en la producción de aguacate, cuestión que podemos aprovechar para buscar un producto con valor agregado que no existe en el mercado.

Debido a las propiedades benéficas para la salud que contiene el aguacate y están intrínsecas en su aceite, este es un producto con valor agregado con gran importancia para la industria cosmética y para el consumo humano. Aprovechando además las características económicas del aguacate y la capacidad de producción que tiene Michoacán.

Actualmente no existe en el mercado aceite extra virgen de aguacate para el consumo humano. Siendo este trabajo un producto totalmente innovador.

El aguacate o palta es el fruto de la *Persea Americana*, nombre científico de la planta de la que se obtiene. El aguacate tiene un alto valor nutritivo, además de poseer propiedades antioxidantes, que reportan innumerables beneficios para la salud. Por otra parte, el aguacate es utilizado en cosmética natural, ya que es excelente en la prevención de estrías y arrugas, entre otros trastornos de la piel para los que resulta especialmente útil.

Entre las propiedades del aguacate se destacan las antioxidantes, gracias a su alto contenido en aceites vegetales insaturados, que ayudan a la reducción de los niveles de colesterol en la sangre.

Por otra parte, es rico en Vitamina E, por lo que el consumo de aguacates reporta importantes beneficios al organismo, en especial, para la prevención de enfermedades cardiovasculares y degenerativas.

En el ámbito de la cosmética natural, la pulpa de aguacate es empleada en innumerables recetas caseras de belleza. Tal es así, que el aguacate es un ingrediente ideal para preparar mascarillas para las arrugas, ya que es muy efectivo, tanto para la prevención de éstas, como de las estrías, entre otros trastornos de la piel como el acné, la dermatitis, la psoriasis y las quemaduras.

También es empleado en tratamientos del cabello, destacándose entre sus aplicaciones capilares, la mascarilla de aguacate para cabello seco, uno de los trucos caseros para el pelo, que más resultados espectaculares ofrece.

Su gran poder nutritivo, al que se suma su alto contenido en agua y electrolitos como potasio y magnesio, convierten al aguacate en un alimento óptimo para quienes practican deportes o tienen una actividad física intensa.

En el año 2011, SIAP reportó que la producción nacional de aguacate ha aumentado en los últimos años, ya que la suma total de la producción superó los 12 millones de toneladas, con un crecimiento medio anual de 3.1%, ver tabla 2.

La producción promedio de aguacate en el estado de Michoacán osciló alrededor del millón de toneladas con un crecimiento medio anual de 2.9% durante los años 2000-2011, su volumen de producción es tres veces mayor al de Chile, uno de los principales países productores después de México, por ello se le considera la capital mundial del aguacate, ver tabla 2.

Tabla 2. Principales estados productores de aguacate en el año 2011.
(Fuente: Elaborado por la DGBI con datos de la SIAP)

PRINCIPALES ESTADOS PRODUCTORES DE AGUACATE EN 2011								
Estado	Producción (toneladas)	Participación (%)	TCM (%) 2000-2011	Superficie cosechada (ha)	Participación (%)	TCM (%) 2000-2011	Rendimiento (ton/ha)	TCM (%) 2000-2011
Michoacán	1,092,322	86.3	2.9	104,802	82.1	2.7	10.4	0.3
Jalisco	42,210	3.3	20.9	6,474	5.1	23.8	6.5	-2.3
Morelos	27,716	2.2	3.4	3,034	2.4	2.3	9.1	1.1
México	25,955	2.1	4.9	2,362	1.9	1.3	11.0	3.6
Nayarit	23,587	1.9	2.4	2,920	2.3	2.1	8.1	0.2
Guerrero	13,410	1.1	7.1	1,943	1.5	7.9	6.9	-0.7
Yucatán	11,508	0.9	4.6	540	0.4	0.0	21.3	4.6
Puebla	7,933	0.6	-3.6	1,672	1.3	-3.3	4.7	-0.3
Chiapas	5,851	0.5	8.9	712	0.6	6.2	8.2	2.5
Oaxaca	3,464	0.3	-2.5	693	0.5	-1.5	5.0	-1.1
Nacional	1,265,669	100	3.1	127,668	100	2.8	9.9	0.3

Fuente: Elaborado por la DGBI de la Secretaría de Economía con datos de SIAP.

2.6.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LAS 3 ETAPAS ANTERIORES AL DESPULPADOR DE AGUACATE, EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE EXTRA VIRGEN DE AGUACATE.

A continuación se procede a dar una explicación resumida de las 3 etapas anteriores al despulpador de aguacate, del proceso global de extracción de aceite extra virgen de aguacate.

2.6.1.-RECEPCIÓN Y SELECCIÓN DE LA FRUTA

Se recibe la fruta proveniente de las huertas certificadas para exportación localizadas en el estado de Michoacán, para su procesamiento. Aquí se clasifica la fruta en grupos de igual cantidad, en los cuales se variara el tiempo de maduración de dicha fruta. La maduración se lleva acabo de manera inducida a temperatura ambiente (20 a 25°C). Se realiza el mismo procesamiento para distintos períodos o etapas de maduración de la fruta, esto con el fin de obtener el aceite con la mejor calidad.



Figura 1.- Recepción de la fruta (Aguacate).



Figura 2.- Selección de los aguacates

Para conocer la maduración del fruto se llevará a cabo una prueba de materia seca, la cual se describe a continuación:

Para el cálculo del índice de materia seca es necesario conocer el peso de la muestra seca (deshidratada), para lo cual se debe seguir la siguiente metodología:

1. Se lava el fruto y se pesa en la balanza analítica la capsula de porcelana (o papel filtro).
2. Se toma el fruto, al cual se le realiza un corte en el área del pedúnculo y otro longitudinal separando el fruto en dos, a uno de las partes se le retira el hueso y se quita la membrana que lo protege, con el rebanador se pela el aguacate por completo, con el propósito de exponer únicamente la pulpa (mesocarpio).
3. Ahora que fue pelado el aguacate se rebanan pequeñas porciones del mismo y se colocan sobre la capsula de porcelana (o papel filtro) pesando un promedio de 10 a 10.50 gramos de mesocarpio, posteriormente la muestra es llevada al horno de microondas para

deshidratar la pulpa por completo con un tiempo aproximado de 4 a 4.5 minutos. Este procedimiento se le realiza a las todas las muestras.

4. Una vez que la muestra se encuentra deshidratada se pesa. Por ultimo con los datos obtenidos y la formula mostrada a continuación se calcula el porcentaje de materia seca.

Para este caso los aguacates deben cumplir la siguiente norma, **NMX-FF-016SCFI-2006**

$$\text{Índice de materia seca} = 1 - \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \quad (\text{Ecuación 1})$$



Figura 3.- Pesado de pulpa de aguacate para el índice de materia seca

2.6.2-LAVADO

Previo a establecer las condiciones de lavado y tiempos de residencia se determinó el tipo y carga microbiana en los aguacates a utilizar, esto con la finalidad de determinar y lograr a través del lavado completo y efectivo, el aseguramiento de la calidad e inocuidad alimentaria. Determinando adicionalmente Origen de los frutos y el tiempo de maduración.

Las muestras de aguacates analizadas provienen de un lote de frutos provenientes del Huerto: RANCHO VIEJO, superficie 12.00 Ha., con una Ubicación en Zacándaro y con una posición geográfica de 19°21'27" Latitud Norte y una longitud de 102° 11'15" Oeste y una altitud de 1690 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar), esto es importante debido a que la calidad de los aguacates varia respecto a la región donde se cultiven.

Un análisis reporto de manera específica microorganismos que comprometen la calidad del fruto e inocuidad del fruto fresco analizando exocarpio, así como en el mesocarpio a través del número más probable de:

- A) Mesófilos aerobios
- B) Coliformes totales
- C) Coliformes fecales
- D) Hongos y levaduras
- E) Identificación y cuantificación del género *Salmonella* y la especie *Escherichiacoli*.

La cuantificación e identificación se realizó en los medios de cultivos selectivos para el aislamiento e identificación de los microorganismos antes mencionados. Mostrando los resultados en las figuras 4 y 5. Esto de acuerdo a las siguientes normas oficiales mexicanas.

(NOM)-111-SSA1-1994: Método para la cuenta de mohos y levaduras.

(NOM)-112-SSA1-1994: Determinación de bacterias coliformes .Técnica del número más probable.

MUESTRA PROCESADA EXOCARPIO	
Microorganismo	Unidades Formadoras de Colonias/gr (UFC)
Mesófilos Aerobios	350 UFC
Coliformes Totales(NMP)	100 UFC
Hongos y Levaduras ¹	263 UFC
<i>Salmonella sp.</i>	No detectable
<i>Escherichia coli</i> ²	12 UFC

Figura No. 4.-Muestra los resultados obtenidos en la identificación y cuantificación de los microorganismos que contaminan el exocarpio.

MUESTRA PROCESADA MESOCARPIO PULPA.	
Microorganismo	Unidades Formadoras de Colonias/gr (UFC)
Mesófilos Aerobios	No detectable
Coliformes Totales(NMP)	No detectable
Hongos y Levaduras ¹	18 UFC
<i>Salmonella sp.</i>	No detectable
<i>Escherichia coli</i> ²	No detectable

Figura No. 5.- Muestra los resultados obtenidos en la identificación y cuantificación de los microorganismos que contaminan el mesocarpio.

De acuerdo al Protocolo voluntario para la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas y Buenas Prácticas de Manejo en los procesos de producción, cosecha y empacado de Aguacate variedad Hass y experiencias previas de nuestro equipo de trabajo en campo, se considera el agua para su uso en postcosecha en la que se asegure sea apta de acuerdo a las características microbiológicas y químicas referidas en la Modificación de la Norma de Carácter Obligatorio (NOM-127-SSA-1994), en donde la determinación de la carga microbiana es fundamental utilizando el número más probable (NMP) como herramienta de cuantificación.

Para la desinfección de las superficies en contacto con los frutos se recomienda la utilización de sales cuaternarias de amonio con concentraciones en el orden de los 150 a 200 p.p.m. También se sugiere utilizar cloro o yodo (en sus sales correspondientes) el cual debe ser monitoreado de manera frecuente y registrado en bitácora. (Primer reactor de lavado, previo al contacto con los frutos y al agua a utilizar para su lavado, solo las superficies de contacto). (Bolaños, María,2012)⁹

Retomando el proceso de lavado, una vez seleccionada y separada, la fruta pasa por un proceso de lavado con un agente químico, esto con el fin de eliminar cualquier agente microbiano sobre la superficie del fruto de aguacate, que pudiera producir una alteración o represente un riesgo a la inocuidad alimentaria de la pulpa virgen al momento de manipularla.

La sección de lavado consta de dos partes la primera es una lavadora y la segunda una secadora. Que podemos observar en las figuras 6 y 7 respectivamente.

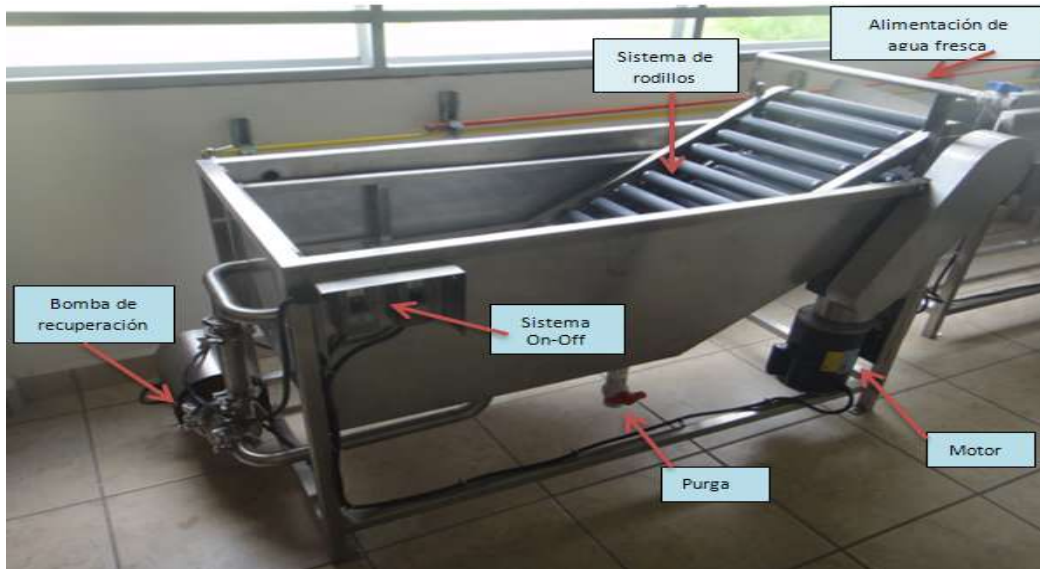


Figura No. 6.- Componentes de la lavadora de aguacate en la primera etapa de proceso (lavado).

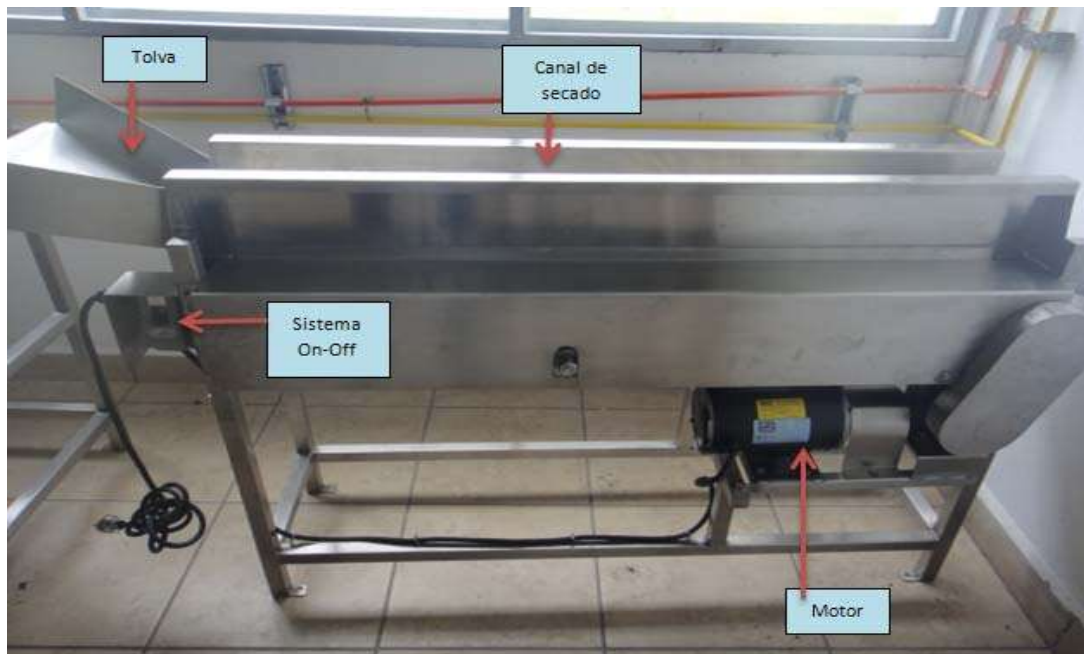


Figura No. 7.- Componentes de la secadora en la segunda etapa de lavado (enjuague y secado).

La primera etapa de lavado es de acero inoxidable con dimensiones de: 145cm X 66cm X 87cm; largo, ancho y altura respectivamente, contiene un sistema de rodillos de PVC los cuales están sumergidos sobre la solución de lavado para los aguacates, dicho sistema se acciona por medio de un sistema de cadena y engranes.

Los aguacates estarán sumergidos dentro de la solución antiséptica (logrando una concentración de cloro libre de 100 a 150 p.p.m., peróxido de hidrogeno a una concentración de 2 a 4 volúmenes/m³ o TWEEN-20 de 0.075 al 0.1 %, relación volumen/volumen), a la vez el sistema de cadena y engranes se accionara por medio de un motor con un consumo energético que oscila entre los 27 y 33 KWH/día localizado en la parte inferior derecha del primer sistema de lavado, nuestro sistema de lavado cuenta con una purga para drenar el exceso de material eliminado de las cortezas del aguacate debido al lavado del mismo; esta purga se encuentra localizada en la parte inferior central del sistema de lavado.

Con el fin de mantener un sistema de recirculación de agua y poder controlar la concentración del agente químico encargado de lograr la desinfección, se cuenta con una bomba de recirculación localizada en la parte inferior izquierda del sistema de lavado, dicha bomba toma agua del fondo y la transporta otra vez a nuestro sistema, por medio de unas boquillas ubicadas en la parte de la alimentación de la tina de acero inoxidable.

El nivel que se debe mantener dentro del sistema de lavado está marcado por un dren y finalmente la entrada del agua fresca que permite enjuagar la materia orgánica se encuentra localizada en la parte posterior del equipo por medio de un tubo conductor de acero inoxidable que contiene varias boquillas en la parte inferior de dicho tubo permitiendo el acceso del agua.

Los frutos del aguacate que han sido procesados para la eliminación de la carga microbiana y húmedos provenientes de la primera etapa de lavado, se descargan en segunda etapa: la etapa de secado, que tiene unas dimensiones de: 175 cm X 15.5 cm X 100 cm que son: largo, ancho y altura respectivamente; por medio de una tolva que con su pendiente nos ayudara a desplazar los aguacates a esta segunda etapa.

Posteriormente pasan los aguacates por un sistema de rodillos con cerdas, con la finalidad de conducirlos a la parte frontal del proceso y a la vez ir eliminando el exceso de agua que contienen los aguacates, el exceso de agua eliminado cae a una tina de recuperación de agua localizado en la parte inferior del sistema de rodillos, los rodillos se presentan en dos colores, los primeros son de color azul (cerdas finas) y los últimos de color amarillo (cerdas duras).

Finalmente se tiene un sistema de cadenas y poleas para poder hacer girar los rodillos que se accionan mediante un motor con un consumo energético que oscila entre los 14 y 18 KWH/día.

2.6.3.-PELADO Y RECUPERACIÓN DE LA PULPA VIRGEN

Teniendo los aguacates desinfectados, lavados y secados se prosigue a la etapa del despulpado con la finalidad de retirar toda la cascara negra (exocarpio) y el hueso de la pulpa virgen mediante un equipo de acero inoxidable con las dimensiones de: 105 cm X 30cm X 90cm de largo, ancho y altura respectivamente.

Los aguacates se colocan en una bandeja que los guiará a la alimentación del equipo por medio de una tolva, los aguacates caerán a un helicoides o gusano con la finalidad de lograr la ruptura y extrusión, y la presión del mismo lo transporta a un cilindro con un diámetro de 25cm X 40 cm de largo el cual contiene mallas que nos ayudan a separar lo que es la pulpa (mesocarpio) del hueso y las cascaras de los aguacates.

Todo esto se acciona mediante un sistema de poleas y bandas por medio de un motor cuyo consumo energético oscila entre los 48 y los 54 KWH/día.

2.6.4. TRITURADO DE LA PULPA

La fruta aislada de cascara y hueso será preparada para entrar al proceso de eliminación de humedad mediante su trituración para facilitar el siguiente proceso. Dicha acción de triturar la pulpa se lleva a cabo en el mismo equipo de pelado, cuando la pulpa entra al cilindro y es presionada contra la maya. Aquí la fruta es triturada hasta lograr un tamaño adecuado de la pulpa virgen. Y en este punto es donde nos vamos a enfocar, ya que es la parte de nuestro estudio, el optimizar el despulpador de aguacate.

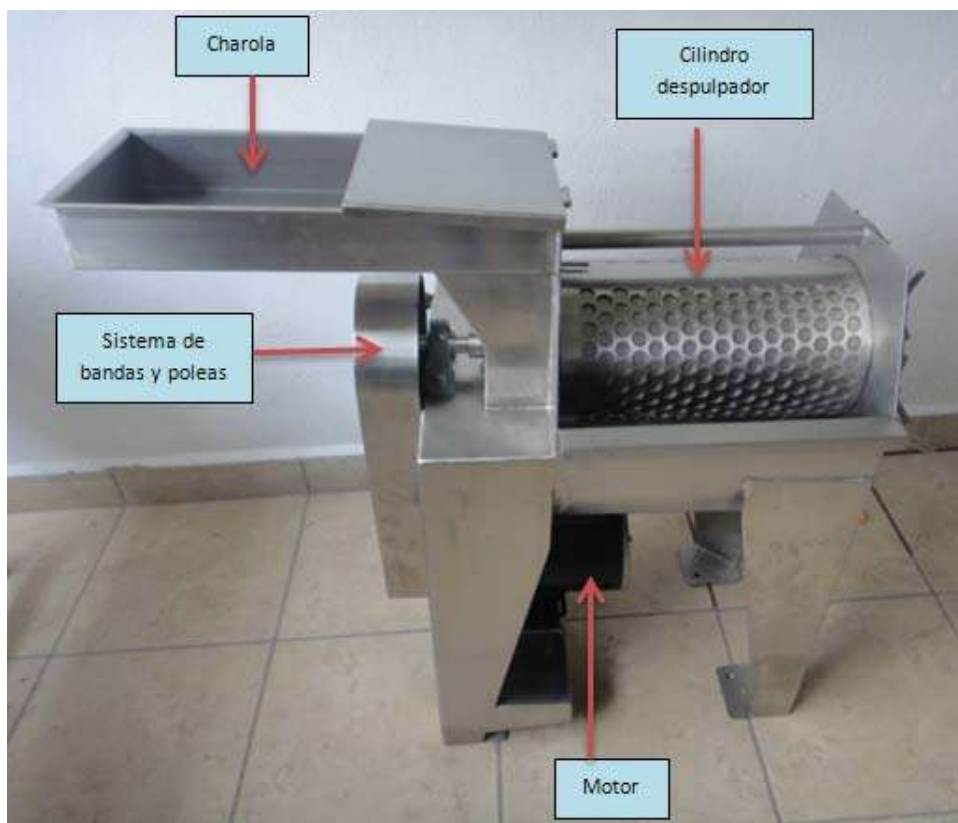


Figura No. 8.-Partes que componen el despulpador.



**Figura 9.- Potenci3metro para regular la velocidad del despulpador
(imagen propia)**



Figura 10.- Obtenci3n de la pulpa de aguacate en el despulpador

A continuación se muestra una imagen en la que puede apreciarse un tren elaborado con las 3 primeras partes del proceso global para la extracción de aceite de aguacate, no sin antes enfatizar que donde nosotros enfocamos nuestro trabajo es en el equipo de despulpado, o como comúnmente es llamado, despulpador.



Figura 11.- Primer tren acoplado: El cual contiene las primeras 3 partes del proceso. (Lavadora, secadora y despulpador)

3. METODOLOGÍA

3.1.- DIAGRAMA DE OPTIMIZACIÓN UTILIZANDO LA METODOLOGÍA TAGUCHI

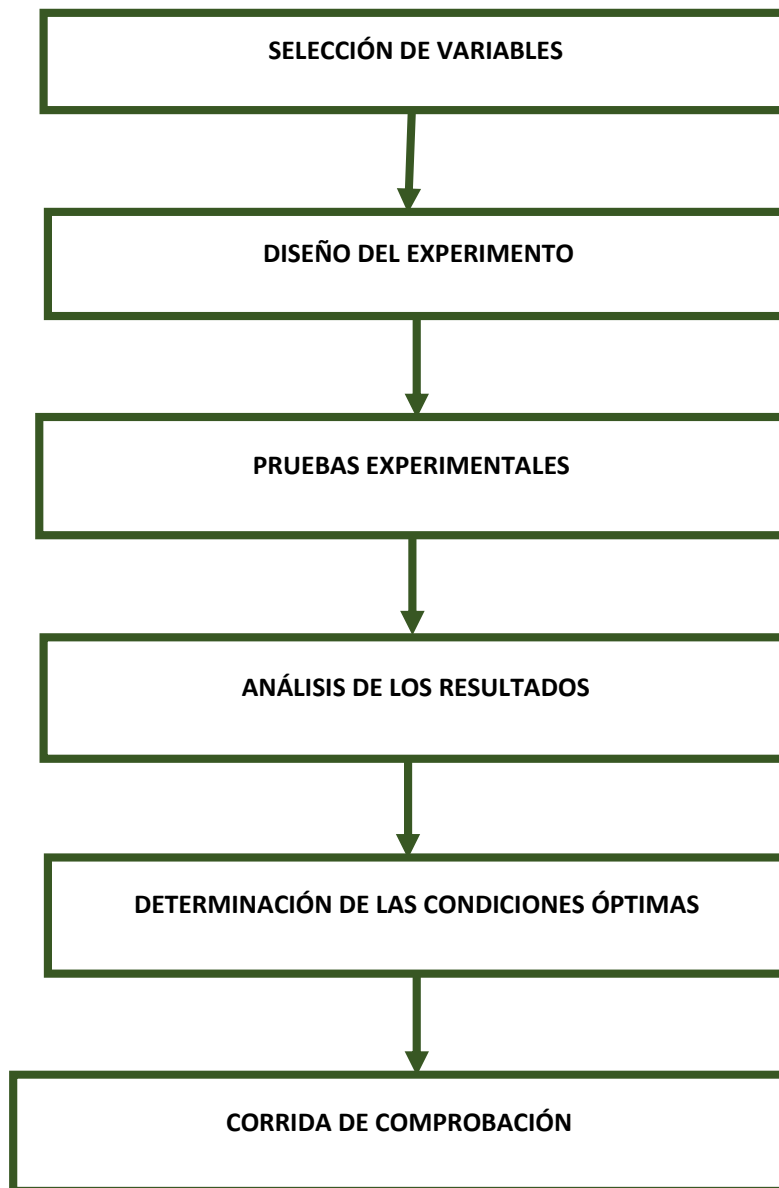


Diagrama # 1 .-Diagrama de optimización utilizando la metodología Taguchi

3.2.-DISEÑO EXPERIMENTAL Y OPTIMIZACION DE LA ETAPA DE DESPULPADO

Los diseños ortogonales (Genichi Taguchi, 1990) Permiten evaluar un experimento de manera más completa que el diseño de experimento clásico (Douglas C. Montgomery, 1996).¹⁰

En los diseños ortogonales es posible identificar las variables independientes (de las cuales se sospecha que tienen un efecto significativo en el proceso), las variables de ruido (aquellas que son muy costosas evaluar en forma continua), las condiciones ambientales (aquellas de las cuales son imposible de tener control), las variables no significativas (las que permiten abatir los costos del proceso), y sobre las variables independientes que nos permite identificar cuales tienen un efecto significativo sobre la variabilidad el proceso y cuales sobre el valor deseado de la variable dependiente o sea, sobre la media; las variables independientes son aquellas que determinan el valor de comercialización (Acuña Pardo José Domingo, 2014)¹¹.

En consecuencia de lo antes expuesto y para los fines de este proyecto se han identificado tres variables independientes y tres interacciones binarias; también se han identificado variables de ruido: el índice de materia seca, el tamaño y el peso de la fruta; se bloquearan las variables ambientales como son: la humedad y las condiciones de temperatura y presión, así como el tipo y la abertura de cerda. Por otro lado, las variables dependientes son la calidad de la pulpa (CP), y el rendimiento (R); en consecuencia de que el diseño de experimentos clásico no contempla la evaluación de las variables de ruido, en este experimento se ha optado por elegir un diseño de experimento ortogonal de L8 que permite evaluar hasta 7 efectos significativos; en este proyecto se requiere evaluar 6 variables (tres variables independientes y tres interacciones) y se seleccionó un arreglo ortogonal L4 para la asignación de las variables de ruido, donde se contempla la distribución de las variables de ruido antes mencionadas.

Este diseño permite identificar cuáles son las variables independientes que tienen efecto significativo sobre la variabilidad y cuales sobre la media y en qué

porcentaje afectan a ambas sobre las variables independientes. Es por ello que se ha elegido un arreglo ortogonal L8 x L4.

3.3.- SELECCIÓN DE VARIABLES

3.3.1.-VARIABLES DEPENDIENTES (VARIABLES QUE AFECTAN AL PROCESO)

- calidad de la pulpa (CP):

$$Cp = \frac{\text{Masa de pulpa de aguacate limpia} - \text{Masa de inertes}}{\text{Masa de pulpa de aguacate limpia}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Masa de Pulpa total = masa de pulpa limpia + masa de inertes

Masa Inertes = masa de cáscara y hueso en la pulpa

- Rendimiento

$$R = \frac{\text{Masa de pulpa total de aguacate}}{\text{Masa de aguacate}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Masa de aguacate = masa de pulpa limpia + masa de inertes + masa de cascara + masa de hueso

En nuestro caso se desea minimizar CP.

3.3.2.-VARIABLES INDEPENDIENTES

A= velocidad del motor del despulpador (rpm)

B= tamaño de malla (cm)

C= inclinación del despulpador (grados)

A continuación, en la tabla 3 se muestran los niveles alto (2) y bajo (1) de las variables independientes; los niveles alto corresponden a las máximas condiciones de operación del despulpador en la optimización y los niveles bajos son los que corresponden a las condiciones mínimas a las que operara el despulpador en la optimización.

Tabla 3: Condiciones de operación del despulpador.

	Variable	Nivel bajo (1)	Nivel alto (2)
A	Velocidad (rpm)	20	50
B	Tamaño de malla (cm)	0.1	0.5
C	Inclinación (grados)	3	7

3.3.3.-CONDICIONES DE REFERENCIA

Para iniciar el diseño de experimentos se generó una corrida experimental que sirviera de base o referencia para la evaluación de las variables dependientes;

estas Condiciones de referencia en las cuales se operó la experimentación se reportan a continuación:

(A)=35rpm

(B)=0.2 cm

(C)= 5°

(R)=0.7569

(CP)= 0.9625

3.3.4.-CONDICIONES AMBIENTALES

Presión = 603 mmHg

Temperatura = 20 °C

Humedad Relativa = 72 % – 80 %

3.3.5-VARIABLES DE RUIDO

Tabla 4.- Variables de ruido del proceso

Tamaño de aguacates	Masa (gr)	Medidas(cm) L*a	NB	NA
Calibre pequeño	45-125	4.9*7.8	1	2
Calibre grande	145-425	9.4-11.9	1	2

3.3.6.-VARIABLE BLOQUEADA: ÍNDICE DE MATERIA SECA

Al recibir la materia prima= 25.58 %

Al procesar la materia prima= 30-32 %

3.4.-DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Se diseñó un experimento señal/ruido ortogonal L8 para las variables independientes y ortogonal L4 para las variables de ruido; esto nos permite estudiar de manera completa las tres variables independientes que nos interesan, así como tres interacciones binarias de las cuales intuimos tienen un efecto significativo sobre la variabilidad del proceso y tres variables de ruido que se han identificado, por ello se eligió el diseño más pequeño, que es un L8XL4.

A continuación, en la figura 10 se presenta la asignación de las variables independientes, las interacciones binarias para la asignación de factores en el arreglo ortogonal y la columna del error (e).

Interacciones seleccionadas entre las variables:

AB = Interacción de la velocidad del despulpador y el tamaño de malla.

AC = Interacción de la velocidad del despulpador y la inclinación.

BC = Interacción del tamaño de malla y la inclinación.

Abreviaturas:

e = error

La asignación de las variables independientes, las interacciones entre las variables independientes y el error, mostradas en la tabla 5 se realizaron utilizando la matriz de interacciones del arreglo L8 de Taguchi (Esta matriz se presenta en la figura 12).

Tabla 5.-Arreglo L8 X L4 (Genichi Taguchi, 1990)

								3	1	2	2	1
								2	2	2	1	2
								D	1	1	2	2
Corrida	A	B	AB	C	AC	BC	e	prueba	1	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	1					
2	1	1	1	2	2	2	2					
3	1	2	2	1	1	2	2					
4	1	2	2	2	2	1	1					
5	2	1	2	1	2	1	2					
6	2	1	2	2	1	2	1					
7	2	2	1	1	2	2	1					
8	2	2	1	2	1	1	2					

Figura 12: Matriz de interacciones del arreglo L8.

	Columna no.					
Columna no.	2	3	4	5	6	7
1	3	2	5	4	7	6
2	--	1	6	7	4	5
3	--	--	7	6	5	4
4	--	--	--	1	2	3
5	--	--	--	--	3	2
6	--	--	--	--	--	1

3.5.-DESARROLLO EXPERIMENTAL

En la tabla 5 se presenta la asignación de las variables independientes:

A = velocidad del despulpador (rpm)

B = tamaño de malla del despulpador (cm)

C = inclinación del despulpador (grados)

Y las interacciones binarias, de igual manera se ha asignado una columna para evaluar el error.

La asignación de la tabla 5 fue extraída de Taguchi,(1990). En el interior de la tabla se asigna “1” al nivel bajo de las variables independientes y a “2” nivel alto de las variables independientes.

La parte superior de la tabla 5 representa la asignación de las variables de ruido, de igual manera se asigna “1” al nivel bajo y “2” para el nivel alto; recordemos que las variables de ruido son el tamaño de la fruta, el peso y el índice de materia seca.

La columna “corrida” se refiere a las corridas experimentales del arreglo L8 y la columna de “Pruebas 2” que va desde 1 a 4 se refiere a las cuatro corridas según el arreglo L4 para evaluar a las variables de ruido; por lo tanto se realizaron 32 pruebas experimentales que se presentan en la tabla 6.

Cada uno de los 32 resultados mostrados en la tabla 6 representa el valor individual de la cantidad de la calidad de la pulpa (CP) de las corridas y las pruebas realizadas.

Tabla 6.- Resultados de la calidad de la pulpa (CP) en la experimentación.

								3	1	2	2	1
								2	2	2	1	2
								D	1	1	2	2
Corrida	A	B	AB	C	AC	BC	e	Prueba	1	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	1	0.9882	0.9838	0.9885	0.9889	
2	1	1	1	2	2	2	2	0.9858	0.9874	0.9885	0.9898	
3	1	2	2	1	1	2	2	0.9730	0.9718	0.9829	0.9808	
4	1	2	2	2	2	1	1	0.9718	0.9712	0.9810	0.9806	
5	2	1	2	1	2	1	2	0.9901	0.9903	0.9888	0.9897	
6	2	1	2	2	1	2	1	0.9868	0.9867	0.9897	0.9895	
7	2	2	1	1	2	2	1	0.9896	0.9891	0.9876	0.9874	
8	2	2	1	2	1	1	2	0.9885	0.9891	0.9865	0.9870	

Tabla 7.- Pruebas 1-8 realizadas con aguacate de calibre chico.

Pruebas	Muestra # 1 (gr)(pulpa limpia)	Muestra # 2 (gr)(pulpa limpia)	Inertes # 1 (gr)	Inertes # 2 (gr)	% Cp calidad pulpa # 1	% cp calidad pulpa # 2
1	85	90	1	1.45	0.9882	0.9838
2	65	75	0.92	0.94	0.9858	0.9874
3	120	125	3.23	3.86	0.9730	0.9718
4	125	140	3.52	4.03	0.9718	0.9712
5	125	130	1.23	1.26	0.9901	0.9903
6	145	135	1.91	1.79	0.9868	0.9867
7	130	120	1.35	1.3	0.9896	0.9891
8	100	115	1.21	1.28	0.9885	0.9891

Tabla 8.- Pruebas 9-16 realizadas con aguacate de calibre grande.

Pruebas	Muestra # 1 (gr)(pulpa limpia)	Muestra #2 (gr)(pulpa limpia)	Inertes # 1 (gr)	Inertes # 2 (gr)	% Cp calidad pulpa # 1	% Cp calidad pulpa # 2
9	105	95	1.2	1.05	0.9885	0.9889
10	100	110	1.05	1.12	0.9885	0.9898
11	110	115	1.88	2.2	0.9829	0.9808
12	100	110	1.90	2.23	0.9810	0.9806
13	125	105	1.40	1.08	0.9888	0.9897
14	110	105	1.13	1.10	0.9897	0.9895
15	105	110	1.3	1.38	0.9876	0.9874
16	95	100	1.28	1.30	0.9865	0.9870

Nota: todos los cálculos para CP de las tablas 7 y 8 fueron obtenidos a partir de los datos de las muestras e inertes, y se utilizó la ecuación 2 para su cálculo.

4.-ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con los resultados experimentales obtenidos realizaremos dos tipos de evaluaciones:

- 1) Análisis de la variabilidad
- 2) Análisis que afectan a la media

Para finalmente obtener las condiciones adecuadas bajo las cuales se puede obtener la mejor calidad de la pulpa a las variables dependientes.

A continuación se muestran las ecuaciones utilizadas para el análisis índice señal/ruido:

1.- De acuerdo a la metodología Taguchi, T representa la suma de los valores de la variable dependiente (CP) para cada una de las ocho corridas experimentales; y se evalúa con la ecuación 3.

$$T = \sum_1^4 Y_i \quad \text{(Ecuación 4)}$$

2.- S_m , es el promedio armónico, y se evalúa con la ecuación siguiente:

$$S_m = T^2/n \quad \text{(Ecuación 5)}$$

3.-6 V_m , evalúa la variabilidad media y se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$V_m = [\sum Y_i^2 - S_m]/(n - 1) \quad \text{(Ecuación 6)}$$

4.- SN , es el índice señal/ruido; y se evalúa con la siguiente ecuación:

$$SN = 10 \log_{10}[(S_m - V_m)/(n * V_m)] \quad \text{(Ecuación 7)}$$

5.- \bar{T} , es el valor promedio para cada una de las ocho corridas experimentales, y se calcula con la siguiente ecuación:

$$\bar{T} = T/n \quad \text{(Ecuación 8)}$$

6.- S_i , es el contraste y es la suma de todas las condiciones experimentales llevadas a cabo en el mismo nivel, se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$S_{i_1} = \sum_1^4 NS_1 \quad \text{(Ecuación 9)}$$

$$S_{i_2} = \sum_1^4 NS_2 \quad \text{(Ecuación 10)}$$

7.- SS_i , es la suma de cuadrados del factor y se evaluaron el cuadrado de la diferencia de contrastes entre el número de pruebas, y se evalúa con la siguiente ecuación:

$$SS_i = (S_{i_2} - S_{i_1})^2/n \quad \text{(Ecuación 11)}$$

En la tabla 9 se presentan los resultados de índice señal/ ruido (SN) para cada uno de los 32 resultados de CP.

En el anexo 1 se presenta el cálculo completo para la corrida experimental 1.

Comida	A	B	C	AC	BC	e	3				T	Sm	Vm	SN	T̄
							1	2	2	1					
1	1	1	1	1	1	1	0.9882	0.9838	0.9885	0.9889	3.9494	3.8994	1.9047x10 ⁻⁵	47.0911	0.9874
2	1	1	2	2	2	2	0.9858	0.9874	0.9885	0.9898	3.9485	3.8977	8.436x10 ⁻⁶	50.6257	0.9871
3	1	2	2	1	1	2	0.9730	0.9718	0.9829	0.9808	3.9085	3.8191	2.843x10 ⁻⁵	45.2612	0.9771
4	1	2	2	2	1	1	0.9718	0.9712	0.9810	0.9806	3.9046	3.8115	2.068x10 ⁻⁵	46.6348	0.9762
5	2	1	2	1	2	1	0.9901	0.9903	0.9888	0.9897	3.9589	3.9182	7.8767x10 ⁻⁵	40.9467	0.9897
6	2	1	2	2	1	2	0.9868	0.9867	0.9897	0.9895	3.9527	3.9060	1.0843x10 ⁻⁵	49.5452	0.9882
7	2	2	1	1	2	2	0.9896	0.9891	0.9876	0.9874	3.9537	3.9079	3.949x10 ⁻⁵	43.9339	0.9884
8	2	2	1	2	1	2	0.9885	0.9891	0.9865	0.9870	3.9511	3.9028	7.7x10 ⁻⁷	61.0283	0.9878

Tabla 9.- Resultados de los cálculos para la evaluación de CP

En la tabla 10 se presentan los índices señal /ruido (SN) más altos, debemos elegir el valor más alto, por que deseamos optimizar nuestro proceso; ya que buscamos disminuir al mínimo la variabilidad del proceso. Este resultado se encuentra en la corrida 8, también se pueden apreciar los niveles adecuados para las variables independientes.

Tabla 10.- Índices señal /ruido (SN) más altos

Corrida	SN	A	B	C
8	61.0283	2	2	2

De esta tabla se puede apreciar que la velocidad para trabajar debe ser de 50rpm, el tamaño de malla de 0.5cm y la inclinación del despulpador de 7 grados. Bajo estas condiciones se obtiene un Cp promedio de 0.9878 que es un valor superior al de las condiciones de referencia de nuestro proceso

A continuación se realiza un análisis estadístico para tomar decisiones consistentes.

A) Análisis de los factores que afectan la variabilidad

Para realizar este análisis debemos realizar la tabla anova (tabla 11) que incluye a los factores que afectan la variabilidad para ello ocupamos las siguientes ecuaciones:

8.- la suma de cuadrados medios (**MSi**): esto nos permite calcular la suma de cuadrados ponderada (respecto a un mismo tamaño) y se evalúa con la siguiente ecuación:

$$MSi = \frac{SSi}{GL} \quad \text{(Ecuación 12)}$$

GL significa los grados de libertad y se refiere a la información independiente que se cuenta u operación matemática posible de realizar.

9.- Fo es el estadístico experimental y se evalúa con la ecuación:

$$F_o = \frac{MS_i}{MS_e} \quad \text{(Ecuación 13)}$$

10. – FT es el estadístico teórico, está definido como el doble del tamaño del error según la filosofía de Taguchi, por ello:

$$FT = 2.0$$

Es importante señalar que “i” es el factor que puede ser individual o una interacción.

11.- El porcentaje de variabilidad (%), nos permite evaluar cuál es el grado de confianza de la prueba al observar el % del error; de igual forma podemos conocer en qué porcentaje contribuye cada uno de los efectos y sus interacciones estudiadas y se evalúa con la ecuación siguiente:

$$\% = \frac{SS_i}{SS_T} \quad \text{(Ecuación 14)}$$

A continuación, en la tabla 11 se presenta el análisis de varianzas para evaluar la variabilidad del experimento que se diseñó.

Tabla 11.- Tabla anova. Análisis de los factores que afectan la variabilidad.

Factor	SS	GL	MS	Fo	FT	%
A	3.8218	1	3.8218	0.2692	2.0	1.50
B	9.3517	1	9.3517	0.6587		3.67
AB	51.415	1	51.4154	3.6218		20.17
C	117.0514	1	117.0514	8.2453		45.93
AC	54.0005	1	54.0005	3.8039		21.19
BC	5.0164	1	5.0164	0.3534		1.97
e	14.1962	1	14.1962			5.57
Total	254.8534	7				100.00

Al observar la tabla 11, comparamos F_o contra F_T , y observamos que 3 de los valores de F_o son mayores a F_T o a 2.0, lo cual nos indica estadísticamente que 3 de los factores e interacciones estudiadas afectan a la variabilidad.

Factores que afectan la variabilidad.

- 1.- la inclinación del despulpador (C)
- 2.- la interacción entre la velocidad y la inclinación (AC)
- 3.- la interacción entre la velocidad y el tamaño de malla (AB)

Análisis de la interacción AC

$(AC)_1$ $(AC)_2$	$= A_1C_1 = 47.0911 + 45.2612 = 92.3523$ $= A_1C_2 = 50.6257 + 46.6348 = 97.2605$ $= A_2C_1 = 40.9467 + 43.9339 = 84.8806$ $= A_2C_2 = 49.5452 + 61.0283 = 110.5735$
----------------------	---

Análisis de la interacción AB

$(AB)_1$ $(AB)_2$	$= A_1B_1 = 47.0911 + 50.6257 = 97.7168$ $= A_1B_2 = 45.2612 + 46.6348 = 91.8960$ $= A_2B_1 = 40.9467 + 49.5452 = 90.4919$ $= A_2B_2 = 43.9339 + 61.0283 = 104.9622$
----------------------	---

Al observar las interacciones podemos observar que nos indica que las variables a trabajar son A_2 , B_2 , C_2 que corresponde a la corrida 8 que tiene un CP DE 0.9878.

A=50rpm

B=0.5cm

C=7 grados

B) Análisis de los factores que afectan a la Media

A continuación, se presentan las ecuaciones 14 y 15 para el cálculo de los contrastes de los niveles alto (2) y bajo (1), y la ecuación 16 nos permite calcular la suma de cuadrados para generar la tabla de varianzas:

$$Si_1 = \sum_1^4 T_1 \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$Si_2 = \sum_1^4 T_2 \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$SSi = \frac{(Si_2 - Si_1)^2}{8} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Análisis de los factores que afectan a la media.

$$SA_1 = 3.9278$$

$$SA_2 = 3.9541$$

$$SSA = 8.6461 \times 10^{-5}$$

$$SB_1 = 3.9524$$

$$SB_2 = 3.9295$$

$$SSB = 6.5551 \times 10^{-5}$$

$$S_{(AB)1} = 3.9507$$

$$S_{(AB)2} = 3.9311$$

$$SS_{AB} = 4.802 \times 10^{-5}$$

$$SC_1 = 3.9426$$

$$SC_2=3.9393$$

$$SSC=1.3613 \times 10^{-6}$$

$$S_{(AC)1}=3.9405$$

$$S_{(AC)2}=3.9419$$

$$SS_{(AC)}=1.0125 \times 10^{-7}$$

$$S_{(BC)1}=3.9411$$

$$S_{(BC)2}=3.9408$$

$$SS_{BC}=1.125 \times 10^{-8}$$

$$Se_1=3.9402$$

$$Se_2=3.9417$$

$$SSe=2.8125 \times 10^{-7}$$

Tabla 12.- Análisis de los factores que afectan a la media

Factor	SS(1×10^{-5})	GL	MS(1×10^{-5})	F₀	FT	%
A	8.6465	1	8.6465	307.4311	2.0	42.93
B	6.5151	1	6.5151	231.6480		32.35
AB	4.802	1	4.802	170.7378		23.84
C	0.13613	1	0.13613	4.8402		0.68
AC	0.010125	1	0.010125	0.3600		0.05
BC	0.001125	1	0.001125	0.0400		0.01
e	0.028125	1	0.028125			0.14
Total	2.0139×10^{-4}	7				100.00

De la tabla 12 se puede apreciar que existen dos factores que afectan a la media, los cuales son A y B, y existe una interacción que también afecta a la media que es AB.

$$A_1B_1=0.9874 + 0.9871= 1.9745$$

$$A_1B_2=0.9771 + 0.9762= 1.9533$$

$$A_2B_1=0.9897 + 0.9882= 1.9779$$

$$A_2B_2=0.9884 + 0.9878= 1.9762$$

Para estas condiciones se obtiene un CP =0.9889

Confiabilidad de los resultados =99.86%

Como podemos observar en los cálculos realizados para la variabilidad se pudo obtener las condiciones a las cuales esta nos sugiere trabajar y son:

$$A_2=50\text{rpm}$$

$$B_2=0.5\text{cm}$$

$$C_2= 7 \text{ grados}$$

Y los cálculos para la media nos arrojan los siguientes resultados:

$$A_2=50\text{rpm}$$

$$B_1=0.1\text{cm}$$

$$C_{1 \text{ o } 2}$$

Como los resultados nos muestran una contradicción (en B y C), se tendrá que realizar una corrida de comprobación.

Corridas experimentales para el R y T

Tabla 13.- Corridas experimentales para R Y T.

P	A	B	AB	C	AC	BC	e	R	R	T	Sm	Vm	SN	\bar{T}
1	1	1	1	1	1	1	1	0.5210	0.8025	1.3235	0.8758	0.0396	10.2358	0.6618
2	1	1	1	2	2	2	2	0.3750	0.6234	0.9984	0.4984	0.0309	8.7879	0.4992
3	1	2	2	1	1	2	2	0.6630	0.7525	1.4155	1.0018	0.0040	20.9595	0.7078
4	1	2	2	2	2	1	1	0.5375	0.6825	1.2200	0.7442	0.0105	15.4330	0.6100
5	2	1	2	1	2	1	2	0.8192	0.8129	1.6321	1.3319	4.95X10 ⁻⁶	51.2883	0.8161
6	2	1	2	2	1	2	1	0.8259	0.7491	1.5700	1.2325	0.0033	22.7018	0.7850
7	2	2	1	1	2	2	1	0.8888	0.8242	1.7130	1.4672	0.0021	25.4262	0.8565
8	2	2	1	2	1	1	2	0.8928	0.7835	1.6763	1.4050	0.0060	20.6664	0.8382

$$S_{A1}= 55.4162$$

$$SS_A=552.7195$$

$$S_{A2}= 120.0827$$

$$S_{B1}=93.0138$$

$$SS_B=13.8567$$

$$S_{B2}=82.4851$$

$$S_{(AB)1}=65.1163$$

$$SS_{AB}=256.1297$$

$$S_{(AB)2}=110.3826$$

$$S_{C1}=107.9098$$

$$SS_C=203.2376$$

$$S_{C2}=67.5873$$

$$S_{(AC)1}=74.5635 \quad SS_{AC}=86.9346$$

$$S_{(AC)2}=100.9354$$

$$S_{(BC)1}=97.6235$$

$$SS_{BC}=48.7484$$

$$S_{(BC)2}=77.8754$$

$$Se_1=73.7968$$

$$SSe=97.3382$$

$$Se_2=101.7021$$

Tabla 14.- Análisis de los factores que afectan a la variabilidad

Factor	SS	GL	Ms	F₀	FT	%
A	552.7195	1	552.7195	5.6783	2.0	43.90
B	13.8567	1	13.8567	0.1424		1.10
AB	256.1297	1	256.1297	2.6313		20.34
C	203.2376	1	203.2376	2.0880		16.14
AC	86.9346	1	86.9346	0.8931		6.91
BC	48.7484	1	48.7484	0.5008		3.87
e	97.3382	1	97.3382			7.74
	1258964.7	7				100.00

Factores que afectan la variabilidad de R:

- Velocidad del motor del despulpador (A)
- Y la interacción entre la velocidad y el tamaño de malla del equipo (AB)

$$A_1B_1=10.2358 + 8.7879 = 19.0237$$

$$A_1B_2= 20.9595 + 15.4330=36.3925$$

$$A_2B_1=51.2883 + 22.7018= 73.9901$$

$$A_2B_2=25.4262 + 20.6664=46.0926$$

CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS = 92.26%

R= 0.8161 este resultado corresponde a la prueba # 5

Análisis de los factores que afectan a la media de R:

$$S_{A1}=2.4788$$

$$SS_A=0.0834$$

$$S_{A2}=3.2958$$

$$S_{B1}=2.7621$$

$$SS_B=0.0078$$

$$S_{B2}=3.0125$$

$$S_{(AB)1}=2.8557$$

$$SS_{AB}=0.0005$$

$$S_{(AB)2}=2.9189$$

$$S_{C1}=3.0422$$

$$SS_C=0.0071$$

$$S_{C2}=2.8039$$

$$S_{(AC)1}=2.9928$$

$$SS_{AC}=0.0056$$

$$S_{(AC)2}=2.7818$$

$$S_{(BC)1}=2.9261$$

$$SS_{BC}=0.0008$$

$$S_{(BC)2}=2.8485$$

$$S_{e1}=2.9133$$

$$SS_e=0.0003$$

$$S_{e2}=2.8613$$

Tabla 15.- Análisis de los factores que afectan a la media

Factor	SS	GL	Ms	F₀	F_T	%
A	0.0834	1	0.0834	278.00	2.0	79.05
B	0.0078	1	0.0078	26.00		7.39
AB	0.0005	1	0.0005	1.67		0.47
C	0.0071	1	0.0071	26.67		6.73
AC	0.0056	1	0.0056	18.67		5.31
BC	0.0008	1	0.0008	2.67		0.76
e	0.0003	1	0.0003			0.28
total	0.1055	7				100.00

Los factores que afectan a la media son:

- Velocidad del motor del despulpador (A)
- Tamaño de malla del despulpador (B)
- Inclinación del despulpador (C)

Interacciones que afectan a la media:

- (AC) interacción entre la velocidad del motor del despulpador y la inclinación del despulpador
- (BC) interacción entre el tamaño de malla del despulpador y la inclinación del despulpador.

$$A_1C_1 = 0.6618 + 0.7078 = 1.3639$$

$$A_1C_2 = 0.4992 + 0.6100 = 1.1092$$

$$A_2C_1 = 0.8161 + 0.8565 = 1.6726$$

$$A_2C_2 = 0.7850 + 0.8382 = 1.6232$$

$$B_1C_1 = 0.6618 + 0.8161 = 1.4779$$

$$B_1C_2 = 0.4992 + 0.7850 = 1.2842$$

$$B_2C_1 = 0.7078 + 0.8565 = 1.5643$$

$$B_2C_2 = 0.6150 + 0.8382 = 1.4532$$

Confiabilidad de los resultados = 99.71 %

R= 0.8565 este resultado corresponde a La corrida # 7

Tabla 16.- Resumen de resultados

	CP	CP	R	R
	Variabilidad	Media	Variabilidad	Media
Velocidad	50 rpm	50 rpm	50 rpm	50 rpm
Tamaño de malla	0.5 cm	0.1 cm	0.1 cm	0.5 cm
Inclinación	7°		3°	3°
Y estimada	0.9878	0.98895	0.8161	0.8565
Confiabilidad de la prueba	94.43%	99.86%	92.26%	99.71%

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como puede observarse en la tabla anterior, los resultados nos sugieren trabajar a una velocidad de 50 rpm, sin importar el tamaño del aguacate, pero en el tamaño de malla y en la inclinación hay contradicción; sin embargo debemos privilegiar el rendimiento ya que resulta una variable significativa en la generación de costos del proceso, por ello la inclinación es factible a 3° y el tamaño de malla puede obtenerse mediante una corrida de comprobación.

Corridas de comprobación

La corrida de comprobación número 1, con niveles A= alto, B= bajo, C= bajo, queda de la siguiente forma:

A=50rpm

B=0.1cm

C=3 grados

Cp=?

R=?

La corrida de comprobación número 2, con niveles A= alto, B= alto, C= bajo, queda de la siguiente forma:

A=50rpm

B=0.5cm

C=3 grados

Cp=?

R=?

A partir de estas corridas de comprobación, sabremos a partir de los datos que se obtengan para CP y R, cuales son las condiciones óptimas para la operación y optimización del despulpador.

Datos de las pruebas (corridas de comprobación).

Prueba #1

Condiciones en que se realizó la prueba.

- Velocidad (A)=50rpm
- Tamaño de malla (B)=0.1 cm
- Inclinación del equipo(C)= 3°
- Tamaño de fruta mezclado
- Masa total de fruta=4.020kg
- Masa de hueso más cascara a la salida del despulpador= 450gr
- Masa de pulpa= 3.570 kg

Muestra #1=70 gr.

Muestra # 2= 75 gr.

Inertes en las muestras, para obtener la calidad de la pulpa.

Muestra 1= 0.7 grs.

Muestra 2=0.9 gr.

Tabla 17.- calidad de pulpa y rendimiento en la corrida de comprobación 1

Prueba	Muestra #1(gr) (pulpa limpia)	Muestra #2 (gr) (pulpa limpia)	Inertes # 1(gr)	Inertes # 2(gr)	% calidad de la pulpa 1	% calidad de la pulpa 2	%Rendimiento
# 1	70	75	0.7	0.9	99.0	98.8	88.80

Condiciones en que se realizó la prueba #2

- Velocidad (A)=50rpm
- Tamaño de malla (B)=0.5 cm
- Inclinación del equipo(C)= 3 grados
- Tamaño de fruta mezclado
- Masa total de fruta=4.035kg
- Masa de hueso más cascara a la salida del despulpador= 300gr
Masa de pulpa= 3.735 kg

Muestra #1=80 gr.

Muestra # 2=85 gr.

Inertes en las muestras, para obtener la calidad de la pulpa.

Muestra # 1= 1.1 gr

muestra #2=1.1 gr

Tabla 18.- calidad de pulpa y rendimiento en la corrida de comprobación 2

prueba	Muestra #1(gr) (pulpa limpia)	Muestra #2 (gr) (pulpa limpia)	Inertes # 1(gr)	Inertes # 2(gr)	% calidad de la pulpa 1	% calidad de la pulpa 2	%Rendimiento
# 1	80	85	1.1	1.1	98.62	98.7	92.56

Calidad de la pulpa y el Rendimiento se calculan con las ecuaciones 2 y 3.

5.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Según los resultados de esta investigación las condiciones de operación óptimas para el despulpador son:

Tabla 19.- Condiciones óptimas encontradas para la optimización

A₂ (velocidad del despulpador)	50rpm
B₂ (tamaño de malla del despulpador)	0.5cm
C₁ (ángulo de inclinación del despulpador)	3 grados

$$Y_{est} = (A_2 B_2 C_1) = 0.8565$$



Figura 12.-Despulpador operando en condiciones de optimización.

Conclusiones de las corridas experimentales de comprobación para tomar una decisión acerca de cuál tamaño de malla deberemos utilizar en la optimización del despulpador de aguacate.

Como tenemos dos variables dependientes en nuestro diseño de experimento para la optimización del despulpador de aguacate, que son la calidad de la pulpa(CP) y el rendimiento(R), al realizar las corridas de comprobación nos damos cuenta que en el % de calidad de la pulpa, estadísticamente no hay una variación significativa entre la corrida de comprobación #1 Y la corrida de comprobación # 2, pero en el rendimiento si hay una variación significativa entre las corridas de comprobación #1 y # 2,por esto es que el experimento nos sugiere trabajar con el tamaño de malla utilizado en la corrida de comprobación # 2, en la cual utilizamos un tamaño de malla de 0.5 cm.

Quedando en la tabla 17 definidas las condiciones óptimas a las cuales, se obtiene un rendimiento mayor del despulpador de aguacate.

Se eligieron las condiciones de funcionamiento y optimización del despulpador a partir del rendimiento, ya que es una variable que se ve más afectada por cuestiones económicas del proceso. Además de que como ya se mencionó anteriormente en la otra variable dependiente que es la calidad de la pulpa, no existen diferencias considerables en las 2 corridas de comprobación.

A partir de la experiencia con este despulpador y como no se tienen antecedentes de optimizaciones de este tipo de equipo, se pueden dar algunas recomendaciones para trabajos posteriores.

1.-Se puede trabajar a rpm (revoluciones por minuto) mayores a 50, aunque se tiene que tomar en cuenta gastos energéticos, además de que se tendría que adecuar un potenciómetro adecuado para revoluciones mayores. En nuestro caso nuestro potenciómetro tiene un límite máximo de 60 rpm.

2.-Se pueden utilizar tamaños de malla más grandes para la obtención de la pulpa si lo que se quiere priorizar es el rendimiento, o utilizar tamaños de malla más pequeños si lo que se quiere es priorizar la calidad de la pulpa.

3.-La inclinación del equipo se puede trabajar en cualquiera de los dos niveles, si el caso es priorizar el rendimiento.

5.1.-NOMENCLATURA

Rpm: Revoluciones por minuto.

Cm: Es el segundo submúltiplo del metro y equivale a la centésima parte de él.

Ppm: Partes por millón (ppm) es una unidad de medida con la que se mide la concentración. Se refiere a la cantidad de unidades de cierta sustancia, agente etc, que hay por cada millón de unidades del conjunto. Por ejemplo 1 frijol amarillo en un millón de frijoles que no sean de color amarillo.

Cm: Medida de longitud, de símbolo cm, que es igual a la centésima parte de un metro.

Grados (0): Un grado sexagesimal es el ángulo central subtendido por un arco cuya longitud es igual a la tricentésima sexagésima (1/360) parte de una circunferencia.

mg: Unidad de medida de masa, perteneciente a la milésima parte de un gramo, su símbolo es mg.

HDL: Sigla en inglés de High Density Lipoprotein, es decir, lipoproteínas de alta densidad.

LDL: Es la Lipoproteína de baja densidad.

Faostat: Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics.

Msnm: Metros sobre el nivel del mar

Kwh/día: kilovatio hora/día

Cp: Calidad de la pulpa

R: Rendimiento

A: Velocidad del despulpador

B: Tamaño de malla

C: Inclinación del despulpador

NB: Nivel bajo

NA: Nivel alto

e: error

T: Suma de los valores de la variable dependiente

Sm: promedio armónico

Vm: Variabilidad media

SN: Índice señal/ruido

\bar{T} , :Es el valor promedio

Si: es el contraste y es la suma de todas las condiciones experimentales

SSi: es la suma de cuadrados del factor

MSi: Suma de cuadrados medios

Fo: Es el estadístico experimental

FT : Es el estadístico teórico

%: Porcentaje de variabilidad

GL: Grados de libertad

5.2.- REFERENCIAS

- 1.-Genichi Taguchi. Introduccion to quality engineering,designing quality intro products and processes,1983.
- 2.- Torres Felipe y Trapaga Yolanda.La agricultura orgánica: Una alternativa para la Economía Campesina de la Globalización, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM México 1997.
- 3.- K. Villafán¹, C. Ortiz y J. Bonales. Proceedings VI World Avocado Congress Viña Del Mar, Chile. 12 – 16 Nov. 2007. ISBN No 978-956-17-0413-8.
- 4.- Dupaigne P. Une nouvellespecialitepharmaceutique L'insaponifiable de l'huile d'avocat. Fruits 25 (1970) 915-916.
- 5.- Daniel, A. Action des insaponifiables d'avocat et de soja sur l'inflammation du tissu conjonti-Extrait de la «Gazette Médicale de France» 86 (1979) 2461-2468.
- 6.-Cha J.F, Lamaud, E. Wepierre, J. -»»Actjvitebiologique des insaponifiables d'huiles d'avocat et de soja. Interét en cosmetologie» .- Laboratoire de pharmacologie, Center d'EstudesPharmaceutiques.-Univerté París XI 92290 ChatenayMalabry
- 7.- Gómez M.E. y Mora CE. -«Extracción de aceite de aguacate».- Rev. Ion Bucaramanga ,Colombia (1982) 91-97.
- 8.- Alter, M. y Gutfinger, T. -»Phospholopids in several vegetable oils».- Riv. Ital, Sostanze Grasse 59 (1982) 14-18.
- 9.- Bolaños María. Desinfección con cloro, cálculo de soluciones a base de hipoclorito de sodio, marzo 2017.
- 10.-Douglas C. Montgomery ,design and analysis of experiments,1983.
- 11.- Acuña Pardo José Domingo, notas de diseño de experimentos,2014.
- 12.- NMX-FF-016SCFI-2006.Establece las especificaciones de calidad que debe cumplir el aguacate en su variedad Hass, para ser consumido en fresco después de su envasado ,excluyendo el aguacate para el procesamiento industrial.
- 13.- (NOM)-111-SSA1-1994: Método para la cuenta de mohos y levaduras.
- 14.- (NOM)-112-SSA1-1994: Determinación de bacterias coliformes .Técnica del número más probable.

15.- NOM-120-SSA1-1994: Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad para el proceso de alimentos, bebidas no alcohólicas y alcohólicas.

16.-NOM-093-SSA1-1994: Bienes y servicios .Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos.

Referencias de internet

1.- FAOSTAT (2010), (2011) En <http://www.fao.org/>

2.-Base de datos del comercio de productos de la división de estadísticas de la ONU, UN COMTRADE, 2010. <http://comtrade.un.org/db/>

3.-Base de datos del Servicio de información agroalimentaria y pesquero (SIAP), 2010. <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/>

4.-Base de datos de la SAGARPA, (2000, 2010); <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografias/Monograf%C3%ADa%20del%20aguacate.pdf>

5.3.- ANEXO

ANEXO 1: Cálculo completo para la corrida experimental 1

Calidad de la pulpa (Cp) en la experimentación para la corrida 1.

Corrida	A	B	AB	C	AC	BC	e	Prueba				T	Sm	Vm	SN	T̄
								3	2	2	1					
1	1	1	1	1	1	1	1	0.9882	0.9838	0.9885	0.9889	3.9494	3.8994	1.9047x10 ⁻⁵	47.0911	0.9874

- Para el cálculo T , que representa la suma de los valores de la variable dependiente (Cp) de ecuación 3:

$$T = \sum_{i=1}^4 Y_i$$

$$T = (0.9882 + 0.9838 + 0.9885 + 0.9889) = 3.9494$$

- Para cálculo del promedio armónico (Sm), y se evalúa con la ecuación 4:

$$Sm = T^2/n$$

$$Sm = \frac{(3.9494)^2}{4} = 3.8994$$

- La variabilidad media y se puede calcular con la siguiente ecuación 5:

$$Vm = \left[\sum Y_i^2 - Sm \right] / (n - 1)$$

$$Vm = \frac{[(0.9882^2 + (0.9838)^2 + (0.9885)^2 + (0.9889)^2] - 3.8994}{4 - 1}$$

$$Vm = 1.9047x10^{-5}$$

- El cálculo del índice señal/ruido (SN); y se evalúa con la siguiente ecuación 6:

$$SN = 10 \log_{10}[(Sm - Vm)/(n * Vm)]$$

$$SN = 10 \log_{10}[(3.8994 - (1.9047 \times 10^{-5})) / (4 * (1.9047 \times 10^{-5}))]$$

$$SN = 47.0911$$

- Por último el cálculo del promedio de la suma de los valores de la variable dependiente (C_p), con la siguiente ecuación:

$$\bar{T} = \frac{\sum_1^4 Y_i}{4}$$

$$\bar{T} = \frac{(0.9882 + 0.9838 + 0.9885 + 0.9889)}{4} = 0.9874$$