



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE IRRIGACIÓN

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA AGRÍCOLA

**“DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PRINCIPALES DE
UN DESHUMIDIFICADOR DE AIRE Y SU EFECTO EN LA
VIDA DE ANAQUEL DE LA TUNA (*Opuntia spp*)”**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE:**

MAESTRO EN INGENIERÍA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

PRESENTA:

QUEZADA GONZAGA BONIFACIO

Chapingo, Texcoco, México. Julio del 2008.



**DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS PRINCIPALES DE UN
DESHUMIDIFICADOR DE AIRE Y SU EFECTO EN LA VIDA DE ANAQUEL DE LA
TUNA (*Opuntia spp*).**

Tesis realizada por **BONIFACIO QUEZADA GONZAGA**, bajo la
dirección del Comité Asesor Indicado, aprobada por el mismo y aceptada
como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA

DIRECTOR:



M.I. PEDRO CRUZ MEZA

ASESOR:



M.I. MANUEL GALICIA REYES

ASESOR:



M.C. OMAR RESÉNDIZ CANTERA

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE UN DESHUMIDIFICADOR DE AIRE Y SU EFECTO DE ESTE EN LA VIDA DE ANAQUEL DE LA TUNA (*OPUNTIA* SPP)

DETERMINATION OF PARAMETERS OF AIR DEHUMIDIFYING MACHINES AND ITS EFFECT ON THE SHELF LIFE OF PRICKLY PEARS (*OPUNTIA* SPP)

Bonifacio Quezada-Gonzaga¹

Pedro Cruz Meza²

RESUMEN

Dentro de la región de Temascalapa, perteneciente a la zona de San Martín de las Pirámides, Estado de México, se pretende la implementación de un desarrollo tecnológico capaz de realizar la operación de desespinado con alta productividad, particularizando en el proceso de secado, debido a que la cosecha se limita a primeras horas de la mañana. Por esta razón, la cubierta de la tuna contiene un exceso de humedad indeseable pues provoca obstrucciones a los rodillos de limpieza. La metodología implementada es referida al diseño mecánico. Su complementación comprende pruebas y mediciones dentro del banco de pruebas bajo el concepto de deshumidificación, donde se determinarán los parámetros que permitan la proyección del sistema de secado. Los parámetros a considerar son el tiempo de secado y la vida de anaquel del fruto. Estos parámetros se comparan con los sistemas tradicionales de secado: esto es, secado con aire caliente superior a 60° C *versus* secado con aire en condiciones ambientales. Se observa un incremento de 2 días en la vida de anaquel del fruto en el sistema de deshumidificación con el sistema de secado con aire caliente, y reducción en 3 minutos del tiempo de secado, en relación con el sistema de aire en condiciones ambientales. De acuerdo con los resultados experimentales, se concluye que el sistema por deshumidificación es apropiado para la implementación en máquinas desespadoras de tunas.

Palabras claves: Secado, deshumidificación, máquinas desespadoras, desespinado.

ABSTRACT

In Temascalapa, located in the area of San Martín de las Pirámides, State of Mexico, the implementation of a new technology is sought in order to attain high productivity in the removal process of thorns from prickly pears. The drying process is of particular importance in this system since harvesting time occurs in the early hours of the day. Because of the time of day, the prickly pear skin is excessively wet which is highly undesirable since the fruit cleansing roller pins consequently get blocked. The methodology implemented refers to mechanical design. It comprises tests and measurements within a test bank, under the dehumidifying concept which would eventually lead to the determination of the parameters that will permit the planning of the drying system. The parameters considered are drying time and shelf life of the fruit. These parameters are compared to traditional dehydration systems, *i.e.* above 60° C warm air drying systems *versus* drying under environmental conditions. When using the warm air system, a two day increase in shelf life in the fruit was observed, as well as drying time being reduced by three minutes. According to our research results, we conclude the warm air dehumidifying system is suitable for the use in prickly pears thorn removal machines.

Keywords: Drying, dehumidifying process, thorn removal machines, thorn removal.

¹ Tesista

² Director



INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	4
1. MARCO DE REFERENCIA	5
1.1. Panorama General de la Zona de Estudio.....	5
1.2. Localización	5
1.3. Actividad económica	6
1.4. Proyección del cultivo.....	6
1.5. Caracterización del material de prueba.....	7
1.6. Maquinas desespadoras de tuna	9
1.6.1. Maquinas San Martin.....	9
1.6.2. Máquina los Fuentes.....	11
1.6.3. Máquina la Victoria.....	12
1.6.4. Máquina empacadora “Sector de productores de tuna la Victoria“.....	13
1.6.5. Máquina Ojuelos.....	14
1.6.6. Máquina Deshuatadora de cilindros paralelos.....	15
1.6.7. Máquina de rodillos horizontales.....	16
1.6.8. Máquina el poblano	18
1.6.9. Máquina el Sitio	19
1.6.10. Máquina Sociedad de productores Temascalapa	21
1.6.11. Máquina Maximino Buendía	22
1.6.12. Máquina Finca Otumba	24
1.6.13. Máquina Hermanos Téllez.....	25
1.6.14. Máquina Marcelino Juárez	26
1.6.15. Máquina Rodrigo García	27
1.6.16. Máquina Emilio García	28



1.6.17.	Máquina Ernesto Romero.....	29
1.7.	Situación actual de los sistemas de producción.....	30
1.8.	Principios del secado de productos.....	33
1.9.	Proceso de deshumidificación con desecantes.....	35
1.10.	Psicrometría y Secado.....	46
1.10.1.	Psicrometría	46
1.10.2.	Temperatura (T)	46
1.10.3.	Humedad (H).....	47
1.10.4.	Velocidad del aire.....	48
2.	DISEÑO CONCEPTUAL.....	50
2.1.	Revisión de Información.....	51
2.2.	Objetivo de elaboración.....	51
2.3.	Denominación	51
2.4.	Alcance	51
2.5.	Especificaciones.....	52
2.6.	Combinación de principios de solución	55
2.7.	Evaluación de las variantes de concepto	56
2.8.	Materialización del desarrollo tecnológico.....	61
3.	BANCO DE PRUEBAS DESHUMIDIFICADOR.....	62
3.1.	Ensamble de los elementos mecánicos del prototipo.....	62
3.2.	Ensamble circuito electrónico.....	64
3.3.	Sistemas de monitoreo y adquisición de datos.	65
3.4.	Material desecante.....	66
4.	PRUEBA Y/O EVALUACIÓN EN LABORATORIO	67
4.1.	Metodología de prueba	67
4.1.1.	Caracterización del material de estudio.....	67
4.1.1.1.	Nombre y variedad del cultivo	67
4.1.1.2.	Dimensiones y grado de madurez.....	67
4.1.1.3.	Contenido de humedad de la cubierta del fruto.....	68



4.1.2. Prueba de secado.....	68
4.1.2.1. Secador con aire caliente.....	69
4.1.2.2. Secado por deshumidificación de aire	69
4.1.2.3. Secado con aire en condiciones naturales.....	70
4.1.2.4. Prueba de vida de anaquel del producto.....	70
4.2. Resultados de las pruebas.....	71
4.1.1. Secado por aire caliente	71
4.1.2. Secado por deshumidificación de aire	72
4.1.3. Secado por aire en condiciones ambientales.	77
4.1.4. Vida de anaquel de la tuna	77
4.3. Analisis de resultados	78
4.3.1. Contenido de humedad en la cubierta de la tuna.	78
4.3.2. Sistemas de secado.	78
4.3.3. Vida de anaquel de la tuna	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	82



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Desespinado manual.....	2
Figura 2. Desespinado Mecánico.....	2
Figura 3. Máquina San Martín.....	10
Figura 4. Máquina los Fuentes.....	11
Figura 5. Máquina la Victoria.....	12
Figura 6. Máquina la Victoria modificada.....	13
Figura 7. Máquina Ojuelos.....	14
Figura 8. Máquina de rodillos paralelos.....	15
Figura 9. Máquina de rodillos horizontales.....	17
Figura 10. Máquina el poblano.....	18
Figura 11. Máquina el sitio.....	20
Figura 12. Máquina desespিনadora (a), sección de recepción y pre-limpia (b),	21
Figura 13. Desespিনadora Maximino Buendia.....	23
Figura 14. Máquina desespিনadora (a), sistema de recepción y transporte (b).....	25
Figura 15. Máquina Hermanos Tellez.....	26
Figura 16. Máquina de limpieza Marcelino Juárez.....	27
Figura 17. Máquina limpiadora Rodrigo García.....	28
Figura 18. Rodillos superiores e inferiores.....	29
Figura 19. Máquina Ernesto Romero.....	30
Figura 20. una antes de ser cosechada.....	31
Figura 21. Problema de obstrucción de rodillos.....	31
Figura 22. Sistema de Secado.....	32
Figura 23. Sistema de secado.....	34
Figura 24. Sistema de secado “ECO túnel”.....	34
Figura 25. Sistema de secado y limpieza.....	34
Figura 26. Presión de vapor, temperatura y contenido de agua para desecante y el aire.....	36
Figura 27. Presión de vapor de agua del desecante y contenido de humedad.....	38
Figura 28. Ciclo del desecante,.....	39



Figura 29. Isotermas de adsorción de varios desecantes (ASHRAE, 2005)	40
Figura 30. Deshumidificador comercial VAMSA.....	43
Figura 31. Deshumidificador CONSORB DC (Seiubu Giken DST)	45
Figura 32. Diagrama psicrométrico.....	50
Figura 33. Esquema de Sub-funciones de la máquina desespinaadora.	53
Figura 34. Árbol de objetivos.....	57
Figura 35. Banco de pruebas del deshumidificador	63
Figura 36. Transmisión rueda deshumidificadora.....	64
Figura 37. Sello rueda deshumidificadora	64
Figura 38. Componentes banco de pruebas	64
Figura 39. Resistencias para variar potencia en ventiladores	65
Figura 40. Sistema de adquisición de Datos	65
Figura 41. Sensor de Humedad relativa y temperatura.....	65
Figura 42. Dispositivo de soporte y rotación de la tuna.....	69
Figura 43. Dispositivo impactador	70
Figura 44. Sistema de secado, máquina Finca Otumba.....	71
Figura 45. Banco de prueba del deshumidificador	72
Figura 46. Rueda deshumidificadora de 1 cm de espesor	73
Figura 47. Regeneración y saturación de la rueda deshumidificadora.....	73
Figura 48. Rueda deshumidificadora sometida a diferentes temperaturas de regeneración $V= 6.5$ m/s y 35 rph	74
Figura 49. Rendimiento máximo obtenido de la rueda deshumidificadora de 3 cm de espesor, $T_r= 93^{\circ}\text{C}$ y $V_{\text{aire de regeneracion}}= 6$ m/s.....	75
Figura 50. Rueda deshumidificadora de 5 cm de espesor	76
Figura 51. Distribución de la vida de anaquel de la tuna.....	79
Figura 52. Sistema de limpieza basado en el soporte y transporte.....	81
Figura 53. Aplicación del sistema por deshumidificación en máquina desespinaadoras	81



INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Búsquedas de principios de solución.....	54
Cuadro 2. Selección de la combinación más conveniente	55
Cuadro 3. Carta de evaluación.....	58
Cuadro 4 Especificaciones de la máquina desespinaladora	60
Cuadro 6. Propiedades típicas de la Silica gel en perlas blancas	66
Cuadro 7. Propiedades físicas de la tuna blanca o “alfajayucan”(<i>opuntia amyycleae</i>)	67
Cuadro 8. Contenido de agua en la cubierta de latuna	68
Cuadro 9. Tiempo (minutos) de secado con aire caliente	71
Cuadro 10. Tiempo de secado con aire deshumidificado.....	77
Cuadro 11. Tiempo de secado con aire en condiciones ambientales	77
Cuadro 12. Vida de anaquel de la tuna (días).....	78



INTRODUCCIÓN.

La producción de tuna en el Estado de México tiene una superficie de 15 mil hectáreas, en donde se producen alrededor de 150 mil toneladas del fruto, actividad de la que dependen más de 2 mil familias de 7 municipios de la región, García (2006). A nivel mundial México ocupa el primer lugar con una producción de tuna de 423 600 toneladas anuales en una superficie establecida de 67 000 ha. El 46% de la producción nacional se produce en la región Centro de México (Estado de México e Hidalgo), el 31% en la región Centro-Norte (Zacatecas, San Luís Potosí, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes), y el 23% restante otros estados, [SIAP (1990-1999)]. Sin embargo, la región Centro-Norte es considerada la zona más importante dado que tiene la mayor superficie establecida para la producción de tuna (32 000 ha, que representa el 48% a nivel nacional), esta zona presenta los mejores avances tecnológicos respecto al desespinado y empaque, siendo así la zona con mayores volúmenes de exportación Estrada (2000), no obstante la mayor producción de tuna a nivel nacional se da en el valle de Teotihuacán, donde participan principalmente los municipios de Acolman, Axapusco, Nopaltepec, Teotihuacán, Temascalapa, Otumba y San Martín de las Pirámides, cuyos agricultores conforman el Consejo Estatal de Nopal, Tuna y Xoconostle, [García (2006)].

Recientemente, se ha instituido una semana para celebrar la “Feria Nacional del Nopal y Tuna” en el centro del país, [CONZA (1981)], cuya actividad remarcada se encuentra el concurso denominado la Mejor Tuna, cuyo jurado calificador está conformado por especialistas en la materia de Instituciones como la Universidad Autónoma Chapingo, el Instituto Politécnico Nacional, el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), la SAGARPA y la SEDAGRO, [García (2006)].

Los productores y empacadoras de tuna a nivel nacional tienen la problemática de los canales de comercialización por la estacionalidad de la cosecha (tres meses julio, agosto y septiembre) y las operaciones de desespinado. El desespinado de la tuna es considerada como la operación más importante del manejo poscosecha, ya que este proceso reduce la vida de anaquel y disminuye la calidad del producto



(daños físicos visibles, magullamiento, consistencia, etc.). Generando mermas y problemas de comercialización, involucrando un costo en dependencia del método de desespinado siendo manual (con escobas, Figura 1) o mecánico [Valdez (1995)].



Figura 1. Desespinado manual.

La tendencia es continuar con el empleo del método mecánico (Figura 2) ya que se ha observado que el método tradicional presenta desventajas tecnológicas, requiriendo de mayor cantidad de mano de obra, es lento y por consiguiente reduce la vida de anaquel. El costo de éste concepto se ha incrementado en la medida que se usan desespadoras mecánicas en comparación con el desespinado tradicional con escoba. Pero la calidad del proceso es muy superior al sistema tradicional y que aún se realiza en algunas zonas, Chavez (1997).



Figura 2. Desespinado Mecánico.

Dentro de la región de Temascalapa, perteneciente a la zona de San Martín de las Pirámides en la región Centro, se pretende la implementación de un desarrollo tecnológico capaz de realizar la operación de desespinado con alta productividad, enfocándole una particularidad al proceso de secado donde las máquinas



establecidas en esta zona presentan problemas en el secado debido a que la cosecha se realiza en tempranas horas del día y por esta razón la tuna contiene un exceso de humedad indeseable dentro del proceso de limpieza ya que se provocan problemas a los rodillos limpieza y el producto obtenido no es indicado para ser competitivo en el mercado. Por lo anterior es necesario generar tecnología acorde con las necesidades del campo mexicano, ofreciendo un sistema desarrollado con un conocimiento más acertado sobre el proceso tecnológico para la fabricación de este tipo de máquinas.

La metodología implementada referida al diseño mecánico, abarca y cubre las exigencias para la generación de desarrollos tecnológicos, su complementación comprende pruebas y mediciones dentro del banco de pruebas en donde se evaluarán parámetros que permitirán la proyección del sistema de secado.

El resultado de la presente investigación es el mostrar el sistema de secado que ha mostrado un mejor desempeño, este se ha evaluado en un banco de pruebas demostrativo bajo el concepto de deshumidificación, donde los resultados más destacados son el tiempo de secado y la vida de anaquel del fruto. Estos parámetros se comparan con los sistemas tradicionales de secado como son; secado con aire caliente superior a 65 °C y el secado con flujo de aire forzado a condiciones ambientales. La temperatura de trabajo del sistema por deshumidificación está comprendida entre 30 y 33 °C lo que incrementa de 2 días la vida de anaquel del fruto en relación al sistema de secado por flujo de aire caliente y reducción del tiempo de secado en comparación con el sistema de secado con aire en condiciones naturales.

Del análisis técnico y económico se seleccionó el sistema por deshumidificación como el más apropiado para las máquinas limpiadoras de tunas, su aplicación no implica una gran complejidad ya que solo requiere de un sistema de distribución de aire para el secado, se sugiere que el aire sea introducido por la parte superior del secador y mediante un extractor (colocado en la parte inferior), evitar la dispersión de los ahuates en el ambiente y la concentración de humedad al interior de este.



OBJETIVO

1. Caracterizar el nivel tecnológico de la zona de estudio.
2. Determinar los parámetros de trabajo, de un medio mecánico por deshumidificado de aire (secado), para máquinas desespadoras, enfocado a las mejoras dentro del sistema de separación y limpieza de la tuna en la zona de producción del Municipio de Temascalapa, Estado de México. Quienes requieren el desarrollo de un sistema innovador para el secado, a fin de elevar el desarrollo tecnológico del proceso de producción de la Tuna, mejorando su manejo poscosecha.
3. La calidad del secado de la tuna obtenido debe ser similar al proceso natural (intemperie).



1. MARCO DE REFERENCIA

En busca de atender los aspectos más importantes de la presente investigación se amplía el panorama del grado de tecnificación, características y de los principios de solución, consultándose Información suficiente para caracterizar la zona de estudio, así como los principios teóricos de sistemas mecánicos, térmicos y dinámicos, con aplicación a máquinas desespinadoras. En la actualidad existen una variedad de diseños de máquinas enfocada al desespinado diseñadas y fabricadas sin ningún diseño de ingeniería presentando detalles de fallas, no obstante presentan características de diseño acertadas, es por ello la necesidad de generar un desarrollo tecnológico enfocado a la mejora del desespinado aplicando el conocimiento de ingeniería y aplicando un método de diseño generando así un modelo apropiado para los productores tuneros [Chávez (1997)].

1.1. Panorama General de la Zona de Estudio.

1.2. Localización

Temascalapa se ubica al extremo noreste del Estado de México y colinda con el Estado de Hidalgo. Sus coordenadas geográficas son: latitud norte del paralelo 19° 43' 35" al paralelo 19° 54' 42" y longitud oeste 98° 48' 34" y 98° 57' 04" con referencia al Meridiano de Greenwich. Limita al norte con los municipios de Tolcayuca y Villa de Tezontepec, pertenecientes al Estado de Hidalgo; al sur con los municipios de San Martín de las Pirámides y San Juan Teotihuacan; al este con el municipio de Axapusco; y al oeste con el de Tizayuca, Hidalgo, y con el municipio de Tecámac, del Estado de México . Su distancia aproximada a la capital de la república es de 70 kilómetros, y con Toluca la capital del Estado a 130 km. La extensión territorial del municipio es 168.26 km², que representa el 0.68% de la superficie estatal.¹

El municipio por estar ubicado entre 2,240 y 2,650 metros sobre el nivel del mar, goza de un clima templado semiseco, con lluvias en verano y precipitaciones

¹ Gobierno Estado de México.2001.
<http://www.e-local.gob.mx/work/template/enciclo/mpios/15084.htm>.



invernales entre 5 y 10%. La precipitación media anual registrada en los últimos 10 años es de 500 a 648.3 milímetros y una temperatura entre 14 y 18° C.²

1.3. Actividad económica

Las principales actividades económicas de la zona de estudio en orden jerárquico son: la agricultura, ganadería, industrial, minería, comercio y el turismo. La agricultura como la rama económica más importante tiene una superficie de producción (riego y temporal) que abarca el 73.05% del territorio municipal, con el maíz, frijol, cebada, nopal, trigo y maguey, como los principales cultivos.²

1.4. Proyección del cultivo

La importancia del nopal tunero se ha incrementado en los últimos años, hecho que se refleja en el aumento de la superficie cultivada de esta especie en el país, que para 1991 fue aproximadamente de 45,000 ha. Alrededor del 52.5% de la superficie nacional está ocupada por zonas áridas y semiáridas, que por las condiciones climáticas que prevalecen en éstas, impiden la producción de otros cultivos, convirtiéndose el nopal en una de las alternativas económicas más viable para sus habitantes. El aprovechamiento y cultivo de los nopales se remonta a las antiguas civilizaciones mesoamericanas y su importancia en la vida social, económica y religiosa llegó a ser tal, que determinó las rutas migratorias de las tribus nómadas de Aridoamérica, los asentamientos humanos en el centro del país, y formó parte del escudo de Tenochtitlán, símbolo que se conserva hasta nuestros días representado en el emblema nacional, [CONAZA (1992)].

La importancia que el cultivo de nopal ha tenido se debe principalmente a sus características de tolerar condiciones adversas de clima, suelos (aridez y salinidad) y por tratarse de una especie con bajos requerimientos de agua. En la forma tradicional (como se desarrolla el establecimiento y el manejo de las plantaciones de nopal tunero) los costos de producción son altos; aún cuando los productores de tuna reconocen la importancia que tiene el manejo adecuado de las huertas, sin embargo,

² Gobierno Estado de México.2001.
<http://www.e-local.gob.mx/work/template/enciclo/mpios/15084.htm>.



la mayoría de ellos manejan sus plantaciones conforme a la experiencia propia, por lo que no existe uniformidad de criterios para aplicar las tecnologías disponibles. Con base en esta descripción y con la finalidad de aumentar la producción y mejorar la calidad de los frutos, se sugiere a los productores considerar los siguientes aspectos: Alternancia de producción; Manejo de nuevas plantaciones; Mantenimiento de Huertos; Adelanto de Floración y Cosecha, [Rios y Quintana (2006)]. Las condiciones presentes en la zona de estudio como es: clima, suelo y relieve, es un cultivo con un alto potencial de explotación, por ello se ha ampliado la extensión de plantación en la zona.

1.5. Caracterización del material de prueba

Los nopales pertenecen a la familia *Cactaceae*. La taxonomía de los nopales es sumamente compleja debido a múltiples razones, entre otras porque sus fenotipos presentan gran variabilidad según las condiciones ambientales, se encuentran frecuentemente casos de poliploidía, se reproducen en forma sexual o asexual y existen numerosos híbridos interespecíficos, [Sáenz (2006)].

El nopal, al igual que casi todas las cactáceas, es una planta que no tiene hojas, aún cuando en su etapa de juventud contiene algunas. Lo que vemos del nopal son sus tallos que tienen forma de raquetas, botánicamente llamadas cladodios o pencas. Estas pencas están llenas de agua que se encuentra retenida en un entramado de carbohidratos llamados mucílagos; si se corta a la mitad una penca no sale agua sino una sustancia pegajosa conocida como baba del nopal. Otra característica de esta planta es que tiene espinas en sus pencas, el tipo y la cantidad de espinas en los nopales es muy variable y mucho va a depender de las condiciones del medio en que viva. Los nopales, tienen unas estructuras a partir de las cuales desarrollan más pencas, raíces o flores llamadas areolas, características de las cactáceas. Los frutos de esta planta son conocidos como tunas, [Rios y Quintana (2006)].

La tuna es un fruto de ciclo corto; se desarrolla aproximadamente en 120 días después del amarre y se puede decir que no es un fruto climático, ya que los cambios respiratorios y bioquímicos después de la cosecha, son poco significativos.



Entre las adaptaciones que presentan estas plantas xerófitas está la succulencia, lo que les permite acumular grandes cantidades de agua en forma muy rápida, durante los breves periodos de humedad. Los cladodios, por su forma, representan los cuerpos más eficientes para evitar la evapotranspiración y conservar la humedad interna, [CONAZA (1992)].

La productividad del nopal tunero se considera que es alta, tomando en consideración las limitantes ecológicas en que normalmente se desarrolla. Los rendimientos registrados son variables y dependen de la disponibilidad del agua de lluvia y de riego, manejo, edad de la planta, etc.

La Variedad presente en la zona de estudio es la Alfajayucan o Reyna y sus principales características son: Esta variedad se cultiva en los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala y Guanajuato ocupando una superficie aproximada de 10,000 ha. En San Martín de las Pirámides y Teotihuacan, en el Estado de México, se concentra aproximadamente el 40% de la superficie cultivada. Se considera como una variedad de maduración temprana (finales de junio a finales de septiembre). El fruto es de forma oval, la cáscara es de color verde-amarillo y pulpa de color verde claro, por lo que se le denomina “tuna blanca”. La cicatriz receptacular “el ombligo”, es pequeña y por lo general se encuentra al nivel de la cáscara o ligeramente elevada. El peso del fruto es entre 120 y 140 g; el número de semillas es relativamente alto, pero su tamaño es pequeño. El porcentaje de los azúcares es superior al 14 %, de los cuales el 8% son reductores. El contenido de vitamina C es de 31.2 mg/100 g, [CONAZA (1992)].

La cosecha de la tuna se inicia una vez que la fruta cumple con el tamaño acorde a la variedad y los sólidos solubles se encuentran a más de 12 °Brix. Para iniciar la cosecha es conveniente que la temperatura sea lo más baja posible, es decir temprano en la mañana, a fin de evitar el vuelo de las espinas y para que los frutos estén con baja temperatura lo cual reduce la deshidratación y los riesgos de infestaciones. Es importante aclarar que indistintamente se hacen referencias a espinas y gloquidios; lo correcto es denominar espinas, sólo a las hojas modificadas en espinas de mayor tamaño en tanto que los gloquidios son más pequeños y se encuentran agrupados en racimos. Para la cosecha se procede de diversas maneras;



la más común es tomando el fruto con guantes haciendo presión para desprenderlo con una suave torsión; otra forma es utilizar tijeras o cuchillos. En todos los casos hay que tener la precaución de no dañar la fruta ni la penca; incluso se han realizado pruebas cortando con cuchillos y dejando un trozo de penca en el fruto, el que posteriormente se desprende en forma natural. Este último sistema conlleva a problemas posteriores de manejo de las pencas en la planta y también en la poscosecha para la eliminación de esos trozos. Existen distintas investigaciones que se inclinan por uno u otro método (Cantwell, 1999; Ochoa *et al.*, 1997; Martínez *et al.*, 1999). Las tunas se recogen en baldes o bandejas y se curan al sol para que se sequen las heridas y se suelten las espinas. Este último proceso puede ser hecho en el campo sobre camas de paja cubiertas con una malla de plástico tipo «arpillas»; una vez que se secan, en el mismo día si hay sol, se procede al desespinado utilizando escobas de ramas largas y suaves. La fruta, una vez desespina debe embalarse a la brevedad posible y llevarse a un lugar fresco o refrigerado para un almacenaje más prolongado, evitando la deshidratación y el inicio de un posible desarrollo de hongos, [Sáenz (2006)]. Según Sudzuki *et al.* (1993) menciona que en cosechas masivas es común el desespinado con maquinaria que en algunos casos da lugar a una menor duración de la fruta.

1.6. Maquinas desespadoras de tuna

La variedad de modelos de máquinas desespadoras se diferencian en la configuración geométrica de la disposición de los principales elementos de trabajo como son los rodillos limpiadores, banda transportadora y la sección de secado, a continuación se describen algunos de estos modelos descritos por Chávez (1997).

1.6.1. Maquinas San Martin.

Dicha máquina se encuentra establecida en el municipio de San Martín uno de los principales municipios productores de tuna, su instalación tuvo un costo de \$10 mil pesos aproximadamente, su rendimiento es de 3 t/h, el personal empleado para la operación de ésta máquina es de 6 personas empleadas para realizar la selección del producto no tomando en cuenta el personal requerido para realizar las operaciones de encerado y empaquetado y alimentación del sistema.



Descripción de funcionamiento.

Esta máquina (Figura 3) cuenta con un recipiente llamado cuba que contiene una solución alcalina en donde se deposita la tuna para que el ahuate sea removido del fruto, posteriormente mediante un elevador es transportada hacia una banda transportadora donde se conduce hacia la sección de enjuague y limpieza. Esta operación se realiza por medio de agua corriente, arrastrando consigo el ahuate removido en la cuba, una vez limpia es conducida hacia la sección de selección dicha selección se realiza de forma manual, estableciéndose criterios de clasificación de acuerdo a la madurez, tamaño y daños presentes. El producto aprobado es conducido hacia unos rodillos con cepillos de cerdas donde se le aplica una capa delgada y uniforme de cera, por medio de rodillos de esponja se hace circular una corriente de aire vertical para su secado. Al final de la sección de secado la tuna pasa por medio de unos mecanismos que se encargan de realizar una segunda selección por tamaño para que posteriormente sean distribuidas en las cuatro bandas donde son etiquetadas y empacadas.

Los costos por insumos y energéticos utilizados para la limpieza de la tuna se han estimado en aproximadamente \$60 pesos por tonelada y costos de mantenimiento establecidos en \$5 mil pesos por temporada.

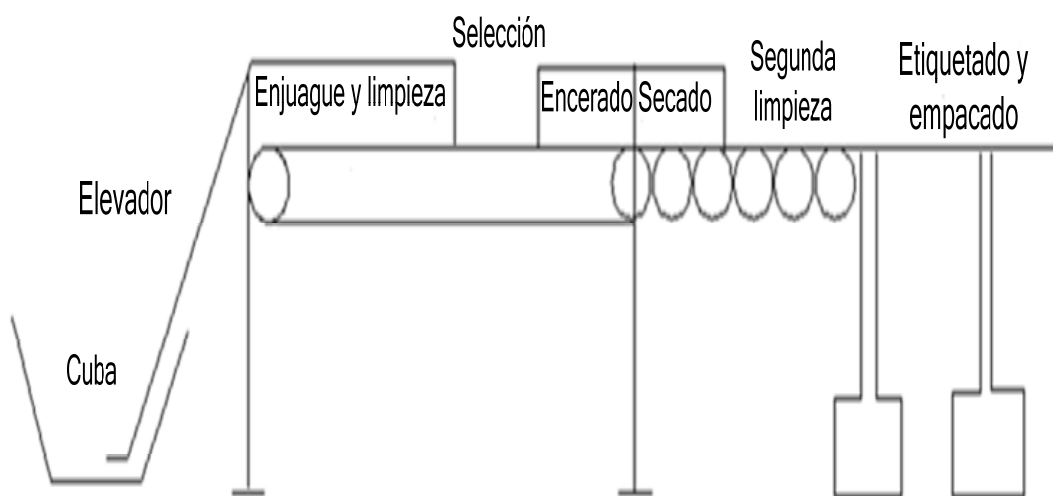


Figura 3. Máquina San Martín



1.6.2. Máquina los Fuentes.

Esta máquina (Figura 4) se encuentra en el Estado de Jalisco, cuyas principales características son su sencillez y facilidad de operación.

Descripción de funcionamiento:

Consta de 3 secciones (recepción, limpieza, selección). En la sección de recepción como su nombre lo indica la tuna es depositada por medio de una tolva que alimenta a la máquina, posteriormente es conducida hacia la sección de limpieza donde se lleva acabo la eliminación de los ahuates bajo la acción de 30 rodillos de cerdas de nylon y de 3 mechudos, los rodillos que se encargan de la limpieza giran en sentido horario. Esta sección es accionada por medio de un motor eléctrico de 110 V. La sección de limpieza cuenta además de ventilador extractor que se encarga de succionar el ahuate en la parte inferior de la tolva, esta disposición presenta inconvenientes para el uso. Las dimensiones generales de esta parte de la máquina son de 1 m de ancho por 5 m de largo. Una vez limpia la tuna es conducida hacia la tercera sección que es la de selección donde se realiza la clasificación mediante criterios establecidos de madurez, tamaño y daños presentes, esta selección se realiza de forma manual a lo largo de la banda transportadora, con personal dispuesto al costado de dicha banda, esta banda tiene una separación entre ejes de 10 m y un ancho de 0.9 m, accionada por un motor de 110 V.

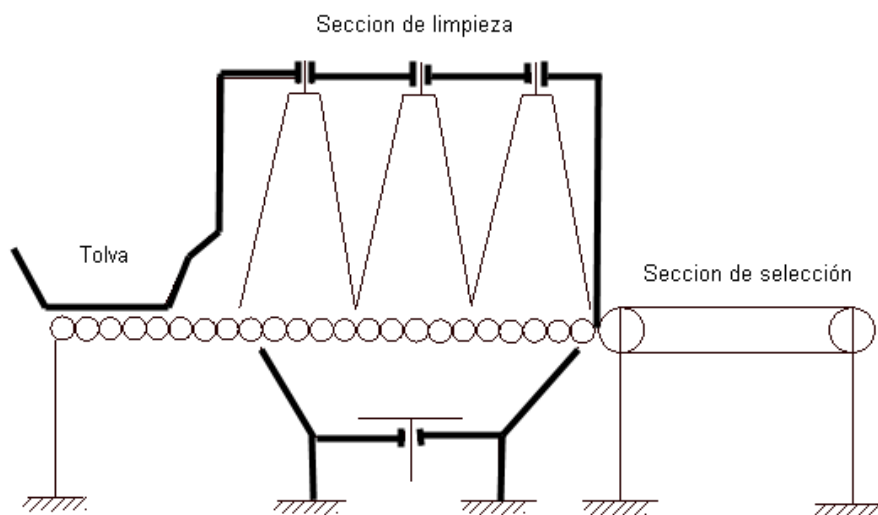


Figura 4. Máquina los Fuentes



1.6.3. Máquina la Victoria.

En comparación con la máquina descrita anteriormente esta máquina tiene la particularidad tener proporciones más grandes, se encuentra en el estado de Zacatecas.

Descripción de funcionamiento.

Consta de 6 secciones (Ver figura 5), Recepción, Primera limpieza, Lavado, Encerado, Segunda Limpieza, Selección y Empaque), donde se hace conducir la tuna hasta el empaque de la misma, en la primera sección (Recepción) consta de una tolva donde es depositada la tuna, para poder acceder a esta tolva se emplea una escalera donde el operario se encarga de mantener con material a esta para alimentar la máquina, la tuna dosificada por la tolva de recepción guía hacia la segunda sección de primera limpieza que bajo la acción de un conjunto de rodillos de nylon colocados horizontalmente, que giran en sentido horario, se encargan de eliminar parte del ahuate de la tuna posteriormente en la tercera sección se le realiza un lavado, dirigiéndola hacia la cuarta sección donde se encera, en la quinta sección se le realiza una segunda limpieza donde se elimina el exceso de cera y dejarla libre de partículas, y finalmente se realiza la selección en la sexta sección que está compuesta por una serie de rodillos donde la separación entre cada uno se ajusta de acuerdo al tamaño realizándose la clasificación por tamaños, las tunas seleccionadas en cada sección son canalizadas por medio de canales que las conducen hacia el extremo donde se encuentran recipientes, en esta séptima sección se lleva acabo el empackado.

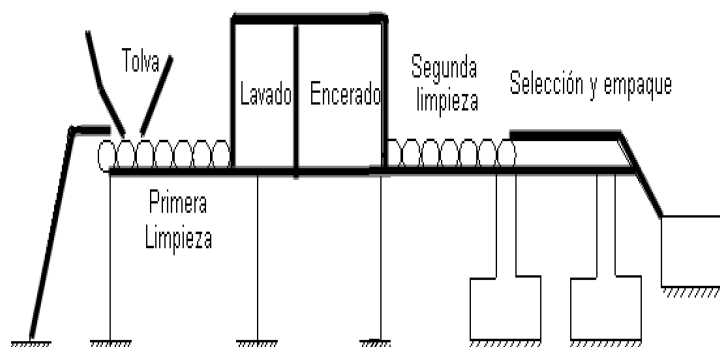


Figura 5. Máquina la Victoria



1.6.4. Máquina empacadora “Sector de productores de tuna la Victoria”.

Esta máquina (Figura 6), surge con la necesidad de mejorar el sistema propuesto de las características técnicas expuestas en la máquina “La Victoria”, en el sistema propuesto no se desecha la posibilidad de utilizar la seleccionadora y el sistema de succión de ahuates, las razones se explican posteriormente, sin embargo adiciona al sistema mesas giratoria para realizar la operación de empaque.

Este sistema se basa en dos grupos de rodillos, superiores e inferiores, cada tipo de rodillo se encuentra dispuesto a un mismo nivel formando un cama, los 5 rodillos superiores tienen cerdas más grandes y suaves (155-160 mm), en comparación con los 31 rodillos inferiores que están conformados por cerdas más cortas y rígidas (20-25 mm), los rodillos tienen una longitud de 1300 mm, con un diámetro de 380 mm de los rodillos superiores y 120 mm, existe variación de la frecuencia de rotación de 73 rpm en los rodillos superiores y 120 rpm en rodillos inferiores. La mesa giratoria de la sección de empaque gira a 4 rpm.

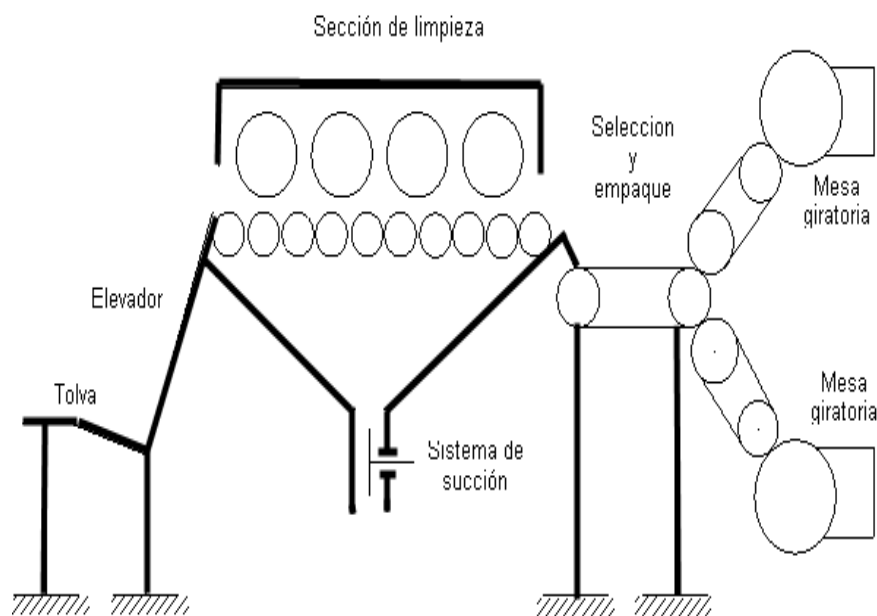


Figura 6. Máquina la Victoria modificada

Descripción del funcionamiento.

Esta máquina consta de una sección de alimentación provista de una tolva donde se deposita la tuna para mantener alimentada la máquina, posteriormente se



encuentra un elevador que se encarga de transportar la tuna desde la tolva hasta la sección de limpieza donde se encuentran los rodillos de limpieza, la tuna se hace pasar entre las dos hileras de rodillos que mediante la variación de velocidad se lleva a cabo la limpieza y separación del ahuate de la tuna, aquí el ahuate separado cae por gravedad hacia la tolva de depósito que se encuentra en la parte inferior para después ser descargada, una vez que la tuna ha pasado por los rodillos limpiadores llega hasta la sección de selección que es una banda transportadora donde se clasifican las tunas, de forma corriente la tuna ya seleccionada es derivada hacia otras bandas transportadoras que se encargan de guiar las tunas hasta la mesa giratoria donde se lleva a cabo la selección y empaque.

1.6.5. Máquina Ojuelos.

Esta máquina (Figura 7), se encuentra establecida en el Estado de Jalisco, su complejidad mecánica es baja cuenta con tres secciones: recepción, limpieza y selección.

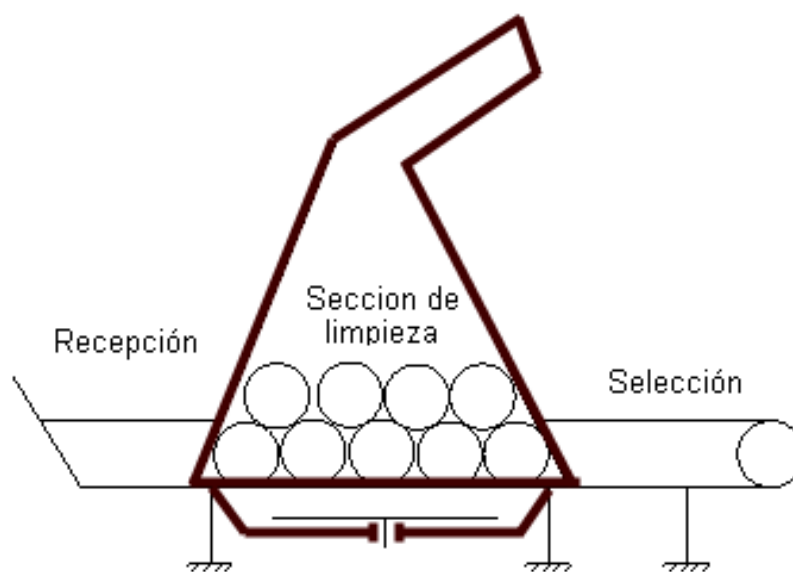


Figura 7. Máquina Ojuelos

Descripción de funcionamiento.

En la sección de recepción está compuesta por una tolva que se encarga de mantener alimentada la máquina para que posteriormente se enfila hacia la sección



de limpieza donde la tuna se hace pasar por dos hileras paralelas de rodillos de cerdas de nylon dispuestos en la parte inferior y superior respectivamente, esta sección esta complementada por un ventilador dispuesto en la parte inferior que encarga de soplar los ahuates hacia la parte superior hacia una tolva. Por ultimo en la sección de selección, la tuna es transportada por medio de una banda transportadora donde se hace la selección de forma manual de acuerdo con criterios establecidos como: tamaño, grado de madurez, y daños presentes.

1.6.6. Máquina Deshuatadora de cilindros paralelos.

Esta máquina (Figura 8), fue desarrollada como un proyecto de tesis en el Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, esta máquina consta de tres secciones: alimentación, limpieza y evacuación de ahuates, Salida.

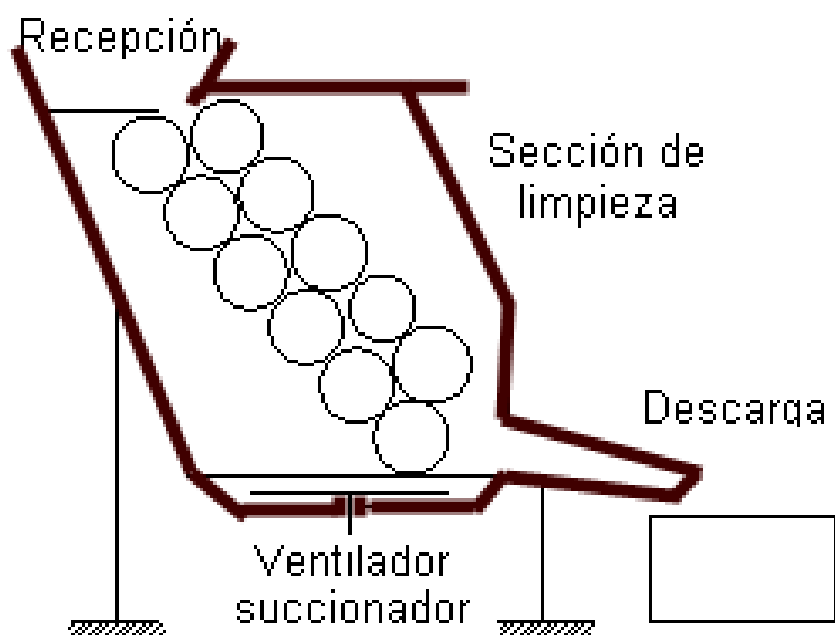


Figura 8. Máquina de rodillos paralelos

Descripción de funcionamiento:

Dentro de la primera sección la tuna es depositada en una tolva superior donde se dosifica la cantidad de tuna a procesar por los rodillos dispuestos de forma



paralela descendente que es la segunda sección complementada con un ventilador que se encarga de la succión y desalojo de ahuates por medio de una rampa, evitando así la dispersión de ahuates en el ambiente, lo novedoso en este sistema es que ya se emplea una diferencia de velocidades de rotación de los rodillos limpiadores que giran en sentido horario los rodillos inferiores y en sentido anti horario los rodillos superiores, las velocidades propuestas para esta máquina representan un rodillos rápido y rodillo lento dispuestos alternadamente con velocidades de 146 rpm y 43 rpm respectivamente. En la tercera sección se encuentra la tolva de descarga que mediante una rampa se conecta directamente con la zona de empaque.

1.6.7. Máquina de rodillos horizontales.

Esta máquina (Figura 9), al igual que la anterior surgió como un proyecto de tesis donde se sigue la misma tendencia en la utilización de 10 rodillos dispuestos alternadamente y con diferentes velocidades (146 rpm rodillos rápidos, 43 rpm rodillos lentos), la disposición de los rodillos cuanta con una inclinación de 5° a 10° de forma ascendente, el sistema propuesto de limpieza incorpora 8 cepillos rectangulares en la parte superior con una inclinación de 45°, en su parte inferior cuenta con un ventilador extractor para concentrar los ahuates y evacuarlos hacia un depósito, este mismo sistema tiene la función de limpieza de rodillos.

Descripción funcionamiento.

La máquina propuesta consta de tres secciones: recepción, limpieza y descarga. Dentro de la primera sección esta compuesta por una tolva receptora donde es depositada la tuna para su limpieza la tuna es desplazada por el peso y entra en la segunda sección donde bajo la acción de los rodillos limpiadores se lleva a cabo la limpieza, posteriormente la tuna al pasar por el conjunto de rodillos llega a una zona donde se le ha denominado sección de descarga que es una tolva donde se deposita la tuna limpia y mediante la garganta de salida de esta sección donde se prosigue con las operaciones de clasificación y empaque fuera de la acción de la máquina



Figura 9. Máquina de rodillos horizontales

Esta máquina se encuentra en el Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola (DIMA) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), de la que se llevó a cabo su reparación, puesta en marcha y evaluación de su funcionamiento, en donde el resultado más relevante es el principio de trabajo, bajo este enfoque el comportamiento de las tunas entre los rodillos no es el más adecuado de aplicar ya que las cerdas no provén suficiente soporte a las tunas cayendo en la tolva inferior, la velocidad alternada entre rodillos provoca impulso a las tunas que posteriormente impactan sobre otras tunas que se encuentran en el proceso de limpieza.

Chávez (1997) recomienda que para este tipo de configuraciones de máquinas cilindros en forma paralela al ángulo de inclinación sea de 15° a 30° , el diámetro de rodillos de 228 mm y una longitud de 440 mm, con un diámetro del núcleo de 76.2 mm, de cerdas de nylon calibre 22 y una longitud de cerda de 68 mm. El número de rodillos es de 19 de los cuales 9 son rodillos lentos y 10 rodillos rápidos colocados a una separación de tal manera que haya un traslape de 15 mm entre las cerdas del rodillo.



Estrada (2000) reporta en su trabajo realizado de Evaluación de “Máquinas desespadoras de tuna” otros modelos de máquinas desespadoras como son:

1.6.8. Máquina el poblano

De fabricación tradicional esta máquina (Figura 10), se desarrollo en el año de 1980, fue proyectada a partir de una máquina limpiadora de papas y durazno, su productividad se reporta en 2.3 y 2.9 ton/hora.

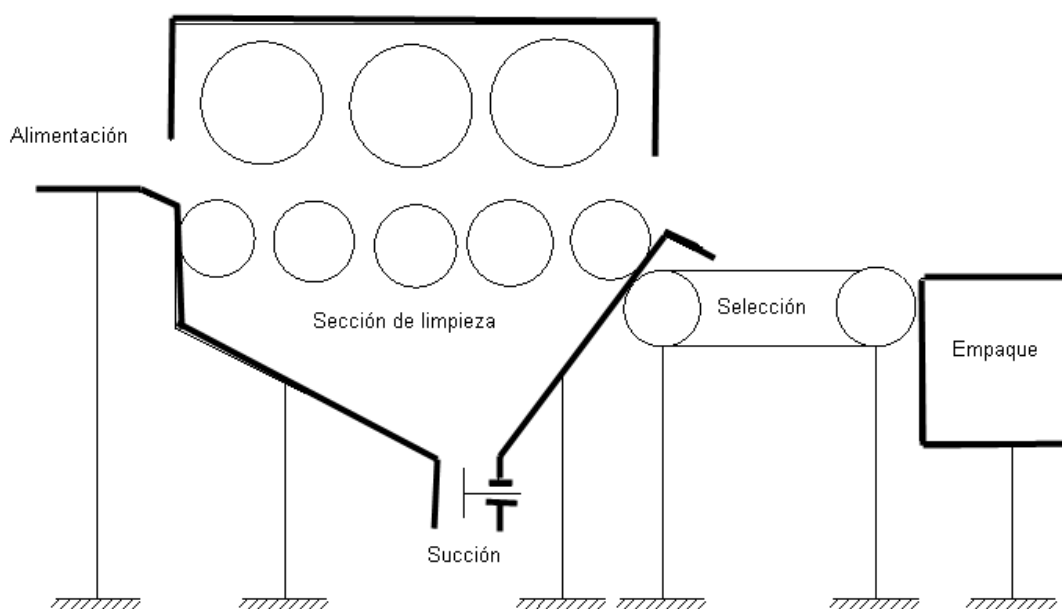


Figura 10. Máquina el poblano

Descripción de funcionamiento:

Este sistema consta de una base de 20 rodillos inferiores y otra base de 3 rodillos dispuesta en la parte superior de los rodillos inferiores, las características distintivas de la base de rodillos de la parte inferior es que las cerdas de los rodillos son más cortas y rígidas (35 mm) a diferencia de las características de las cerdas de la base de rodillos de la base superior que son de cerdas más largas y suaves (150 mm), las velocidad y rotación de las dos bases de rodillos son las mismas y el mismo sentido de trabajo (sentido horario), el diámetro del rodillo superior es de 300 mm mientras que el inferior es de 120 mm, existiendo un claro entre cerdas de la base superior e inferior de 15 mm, el claro también se presenta entre las cerdas de cada



rodillo de la base superior e inferior y esta se encuentra en 425 mm y 12.5 mm respectivamente.

Esta máquina no difiere de las demás ya que cuenta con las tres secciones de trabajo establecidas en las anteriormente descritas que son: recepción en esta primera sección esta compuesta por una tolva donde es depositado el producto y mediante una diferencia de alturas de la tolva respecto de la disposición de los rodillos se lleva acabo al alimentación continua, la tuna pasa hacia la segunda sección que es la limpieza, en dicha sección se hace pasar la tuna bajo la acción de las dos bases de rodillos y mediante la rotación inferior y superior de los rodillos se elimina los ahuates de tuna en esta sección esta complementada por un ventilador succionador que se encarga de concentrar los ahuates y desalojarlos hacia un depósito, no obstante tiene la finalidad de hacer circular una corriente de aire para efectuar el secado. Finalmente en la tercera sección se encuentra una banda transportadora donde se realiza la selección y al final de esta se encuentran las gargantas de descarga donde se lleva a cabo la descarga para el empackado.

1.6.9. Máquina el Sitio

Esta máquina (Figura 11), fue el resultado que se le efectuó a la máquina “La Victoria” haciendo cambio en la sección de selección por los problemas implicados con el atrapamiento de las tunas por los rodillos seleccionadores, adicionándole que el sistema de tolvas no propiciaba el buen trafico de la tuna seleccionadora provocando atascamientos en las bandejas de descarga, otro de los cambios realizados es la sustitución del sistema succionador de ahuate el cual presentaba el problema de llenado rápido por lo que se eliminó por un sistema en el que el ahuate cae por gravedad en la tolva de recepción ubicada en la parte inferior, estos elementos de trabajo aumentan el costo de operación por el consumo de energía para el motor que accionaba este sistema y del mismo se tenia menos partes móviles y así también se redujo el costo de adquisición de la máquina,

Otra de la diferencia enmarcada con respecto de la máquina La Victoria es que en el sistema de rodillos de limpieza, los 5 rodillos superiores giran a mayor velocidad con respecto de los 24 rodillos inferiores, dichas velocidades se establecen



en 146 rpm y 120 rpm respectivamente. Dentro de las características de los rodillos limpiadores estos son de cerda de crin de caballo, las dimensiones de este rodillo se mantiene la misma tendencia de utilizar las cerdas de los rodillos de mayor longitud en los rodillos dispuestos en la base superior, respecto de las cerdas de la parte inferior que son más cortas y rígidas, estas longitudes se encuentran en 120 mm y 25 mm respectivamente, generalizando así las dimensiones del rodillo con 270 mm los rodillos superiores y 120 mm en los rodillos inferiores, así mismo se establece una separación entre las cerdas de los rodillos superiores de 290 mm y respecto del inferior de 5 mm y con un claro entre las cerdas del rodillo superior e inferior de 42.5 mm.

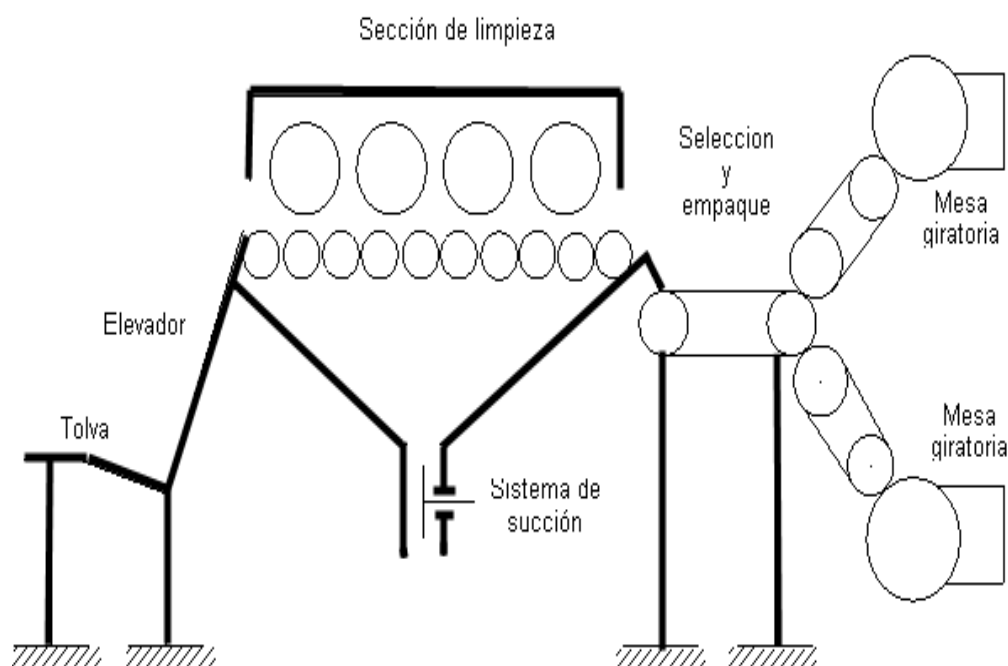


Figura 11. Máquina el sitio

Las máquinas anteriormente descritas fueron obtenidas bajo una revisión bibliográfica sin embargo dentro de las unidades de producción del municipio de Temazcalapa zona considerada dentro de la influencia de la región centro de producción de tuna se encuentran modelos de desespadoras de tuna y una más que simplemente ha de ser una diferencia en la geometría de las dimensiones y la forma de aplicar los elementos de trabajo. A continuación se hace una descripción detallada sobre los elementos de trabajo.



1.6.10. Máquina Sociedad de productores Temascalapa

Esta máquina (Figura 12.a), administrada en sociedad por 9 productores, proyectándose una productividad de 2 ton/hora empleando 10 personas incluyendo al personal involucrado en el empaque. La máquina es accionada por tres fuentes energéticas de las cuales una esta destinada para la turbina de secado, otra para el sistema de limpieza y una más para el accionamiento de la banda transportadora donde se realiza la selección. Dentro de la proyección de la máquina se han establecido 28 rodillos de limpieza que gira a la misma velocidad separados entre si de 130 mm, con un diámetro de 127 mm y una longitud de 870 mm. Al igual que las anteriores descripciones de máquinas se establecen las secciones de trabajo como son; la de recepción y sección de pre-limpia (Figura 12.b), sección de secado (Figura 12.c), sección de limpieza, sección de transporte, selección y empaque.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 12. Máquina desespadora (a), sección de recepción y pre-limpia (b), Sección de secado (c) y rodillos limpiadores (d).



Descripción de funcionamiento.

Dentro de su primera sección de recepción la tuna es depositada en una tolva la que se encarga de alimentar la sección de pre-limpia compuesta por 8 rodillos, esta sección bajo la acción de rodillos a la tuna se le elimina parte de las impurezas y ahuate; posteriormente es transportada en la sección de secado, donde se le aplica una corriente de aire por medio de una turbina, esta sección transporta la tuna bajo la acción de una cadena transportadora con rodillos de aditamentos, que bajo la acción de dichos aditamentos se le provee rotación a la tuna para secarla bajo la acción de la corriente generada por la turbina. La tuna seca pasa a la sección de limpieza, y bajo la acción de los 28 rodillos se realiza el desespinado, y limpieza de esta tuna. Una vez que la tuna ha pasado bajo la acción de los 28 rodillos pasa hacia una banda transportadora, donde se realiza la selección y clasificación de esta, al final de la banda se encuentran unos desviadores donde conduce las tunas seleccionadas hacia los contenedores donde se empaca.

1.6.11. Máquina Maximino Buendía

Es una máquina de fabricación austera e empírica de acuerdo con las configuraciones y acabados de sus elementos de trabajo. Tiene un rendimiento de 1.4 ton/h, se requiere de alrededor de 12 personas para operarla. La novedad que presenta la máquina es la incorporación de un soplador de aire caliente en conjunto con un acumulador de energía para acelerar el proceso de secado, otra particularidad es la utilización de un producto obtenido en aserraderos (aserrín), su uso es en la sección de pre-limpia donde la tuna se mezcla con el aserrín mediante este proceso el aserrín adsorbe la humedad excesiva del producto y posteriormente el aserrín con la humedad absorbida se separa bajo la acción de los rodillos depositándolo en la parte inferior de esta misma sección, este proceso mantiene las cerdas de los rodillos limpios caso contrario a la máquina descrita anteriormente donde se presentan bastantes problemas en la sección de pre-limpia ya que los rodillos son atrofiados por la cantidad de impurezas que contiene la tuna al momento de ser cosechada. El equipo es accionado por 3 unidades de potencia, la primera se utiliza en el accionamiento del soplador de aire caliente para acelerar el proceso de secado, la segunda se encarga del accionamiento toda la sección de pre-limpia y la



sección de limpieza, y finalmente la tercera fuente está acoplada para el accionamiento de la banda transportadora de la sección de transporte, selección y descarga.

Descripción de funcionamiento.

Esta máquina (Figura 13) al igual que la anterior cuenta con secciones de trabajo involucradas como son: recepción, sección de pre-limpia, sección de secado y limpieza y finalmente una sección de transporte, selección y descarga de la tuna limpia. Dentro de la primera sección, se encuentra compuesta por 10 rodillos de limpieza y que bajo la acción de la mezcla de la tuna con el aserrín se le elimina el exceso de humedad y una parte de los ahuates, estos rodillos mantienen la misma inclinación y distancia entre cada rodillos de 140 mm, con un diámetro de rodillo de 80 mm, con una longitud de 870 mm, esta mismas características se presentan a lo largo de toda la línea de acción de los rodillos de limpieza, cabe mencionar que la dirección de rotación de los rodillos es en sentido horario y trabajan a la misma velocidad de rotación (145 rpm).



Figura 13. Desespinaadora Maximino Buendia.

Una vez que ha pasado la tuna a lo largo de la sección de pre-limpia se guía hacia una sección de transferencia que conduce la tuna hacia la zona de secado y limpieza a la vez esta sección tiene la finalidad de eliminar por completo el aserrín



que no se pudo eliminar en la sección de pre-limpia, los rodillos de limpieza toman la tuna bajo la acción de su propio peso y son transportadas a lo largo de los 48 rodillo cabe mencionar que en la primera sección de aproximadamente de 15 rodillos se le hace circular una corriente de aire caliente que se encarga de eliminar el exceso de humedad. Posteriormente la tuna es guiada hacia la banda transportadora, donde se realiza la selección manual mediante criterios establecidos la tuna es seleccionada y depositada en cual sea de las tres secciones que cuanta dicha banda y al final de la banda se encuentra la zona de descarga donde el producto es depositado en el empaque.

1.6.12. Máquina Finca Otumba

Muestra de máquina en la que se le ha puesto un gran empeño en la actualización y mejora continua, ya que es la máquina en la que presenta un sistema de secado consistente en un sistema de transporte por cadena con aditamentos de tubos como lo muestra en la figura 14.b, con diferencia a la máquina ya antes mencionada (Figura 12.c) en la que presenta igual el sistema de transporte, es la aplicación de un sistema de variación de velocidad, que se ajusta de acuerdo con la el contenido de humedad en el fruto.

Descripción de funcionamiento:

El equipo consta de la sección de recepción que cuenta con un dispositivo volteador donde se coloca la caja y por accionamiento manual las tunas son distribuida sobre el transportador, mediante un sistema de desvió estas son distribuidas al transportador transversal que deposita sobre una primera sección de rodillos de limpieza. Las cerdas de los rodillos limpiadores son rígidas y de calibre grueso, al final de la sección de primera limpieza se localiza la sección de transporte de cadena, ambas secciones se encuentran confinadas en una cámara de secado. La cámara de secado funciona mediante ventiladores de aire del tipo centrífugo colocados en la parte superior de dicha cámara de secado. Cuando la humedad en la cubierta de la tuna es excesiva en la succión de entrada de los ventiladores se colocan conductos que transportan al aire caliente proveniente de la combustión de gas butano. Ambas secciones son accionadas y controladas mediante un variador de



velocidad. Unas ves secas las tuna se colocan en la sección de limpieza, en esta sección se logra el desespinado completo y el pulido de estas. Posteriormente se encuentra una banda transportadora donde se realiza la selección y clasificación de la tuna, en su parte final se ubican las tolvas de descarga.



(a)



(b)

Figura 14. Máquina desespinaadora (a), sistema de recepción y transporte (b).

1.6.13. Máquina Hermanos Téllez

Es de reciente introducción en la zona, presenta solo las secciones de limpieza y selección (Figura 14Figura 15), cabe mencionar que por la falta de elementos de tracción en la banda transportadora, esta se ha sustituido por una cama acolchonada sobre el chasis y la banda, el rasgo más representativo es el diseño de la banda transportadora, ya que en apariencia física presenta los rodillos en forma de tonel, en general presenta una mayor robustez.

Descripción de funcionamiento:

Para lograr la limpieza total del fruto se requiere que la cubierta de la tuna se encuentre con un nivel de humedad bajo de preferencia completamente seca, la parte inicial de la máquina está compuesta por una tolva rígida donde se descansa el



caja y cuando se requiere de abastecer la máquina el contenedor es volteado por acción manual directamente sobre la sección de los rodillos de limpieza. Mediante una tolva reductora la tuna es conducida sobre la base acolchonada en donde el personal encargado de la selección y clasificación toman los frutos y son depositados sobre los contenedores. Los frutos rechazados son conducidos manualmente hasta la parte final en donde son depositados directamente en los contenedores.



Figura 15. Máquina Hermanos Tellez

1.6.14. Máquina Marcelino Juárez

Es la máquina más simple (Figura 16), ya que solo cuenta con la sección de limpieza compuesta por rodillos limpiadores, montados sobre un chasis y una mesa de selección fija.

Descripción de funcionamiento:



Para su funcionamiento se requiere de que la tuna esté completamente seca, para lograr el secado la fruta es esparcida sobre una cama de paja donde es expuesta a los efectos del aire y radiación solar, posteriormente es colectada en cajas y es llevada directamente a la máquina limpiadora donde se distribuye en los rodillos de limpieza. Por su simplicidad no cuenta con sistema de selección y clasificación, solo consta de una tolva reductora para la descarga de la tuna limpia, adicionalmente se le puede colocar una mesa en la parte final de la descarga para realizar una pre- selección y generar un mayor flujo de fruta limpia.



Figura 16. Máquina de limpieza Marcelino Juárez

1.6.15. Máquina Rodrigo García

En la unidad de producción se presentan dos máquinas (Figura 17) provenientes del mismo taller de fabricación, que presentan similitudes de diseño en especial la transmisión de los rodillos de limpieza ya que es a base de poleas y bandas en “V”, la diferencia más representativa entre ambas máquinas es su productividad. Esta se le atribuye al calibre de las cerdas que conforman los rodillos limpiadores y al desgaste natural de las cerdas de los rodillos.

Descripción de funcionamiento:



Para el funcionamiento de la máquina se requiere que la cubierta de la tuna este seca o ligeramente húmeda ya que solo consta de una sola sección de limpieza y pulido. Esta sección esta equipada con focos incandescentes dispuestos en la parte superior de los. El suministro de la tuna se hace directamente sobre los rodillos limpiadores mediante una tolva o por medio de un sistema de volteo donde se coloca la caja y mediante el accionamiento manual el fruto es distribuido sobre los rodillos limpiadores. Por último en una banda transportadora se realiza la selección y clasificación, al final de la banda se encuentran las tolvas de recepción y descarga.

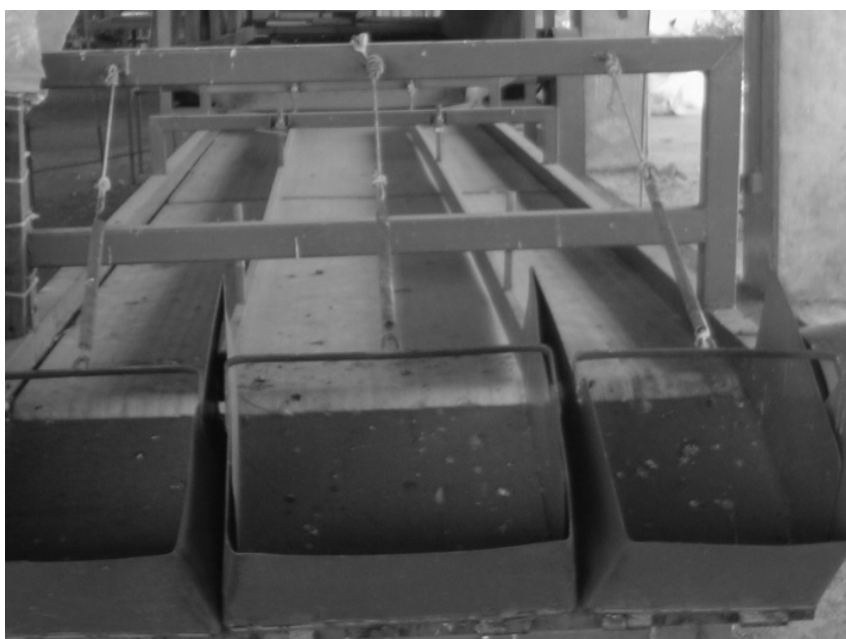


Figura 17. Máquina limpiadora Rodrigo García

1.6.16. Máquina Emilio García

Equipo con un nivel de ingeniería más elevado, fabricada en los talleres de Iztapalapa D.F., tomando como analogía a las máquinas empleadas para la limpieza de la naranja. Presenta novedades sobresalientes en su diseño, como es la disposición de rodillos superiores de 0.30 m de diámetro fabricados con crin de caballo (Figura 18), al igual en los rodillos limpiadores inferiores; consta de tres diferentes tipos de calibre de cerdas siendo los primeros rodillos de cerda más gruesa y en la parte final de la máquina son rodillos de cerda más fina. La propuesta del diseño es que en los primeros rodillos se realice la limpieza y en la parte final el



pulido de la tuna. Por la falta de calibración y falla en la disposición de los rodillos superiores su funcionalidad demerita los índices de calidad de la tuna ya que de este elemento de trabajo causa el impulso, procesando grandes volúmenes de la tuna que no se logra una completa limpieza y pulido.



Figura 18. Rodillos superiores e inferiores

Descripción de funcionamiento:

Al no contar con un sistema de secado se requiere que la cubierta de la tuna esté seca. Consta de dos secciones, la primera está compuesta por los rodillos limpiadores de cerda más gruesa que provoca una frotación más agresiva para la separación de la espina y la otra por rodillos con cerda más fina, que inducen una acción suave de pulido. El accionamiento del sistema es por medio de poleas y banda en “V” cruzada. Mediante una banda transportadora se efectúa la selección y clasificación de la tuna en la parte final de esta se encuentran tolvas donde de forma manual se descargan y depositan las tunas en las cajas de madera que se encuentran soportadas por un banco metálico.

1.6.17. Máquina Ernesto Romero.

Máquina de construcción rudimentaria (Figura 19), ya que presenta cepillos limpiadores forrados por alfombra de la denominada “pasto sintético” que es adherida



sobre la superficie de tubos de PVC de 4 pulgadas de diametro y soportados por flechas sobre chumaceras. En la parte superior de los rodillos limpiadores se le ha provisto de tablas perforadas e en estos orificios se le han colocado cerdas plásticas. Esta máquina no cuenta con sistemas de transporte y selección.



Figura 19. Máquina Ernesto Romero

Descripción de funcionamiento:

Para el procesado de la tuna y lograr índices de calidad apropiados se requiere que el fruto se encuentre con un contenido de humedad bajo o completamente seca, la tuna es suministrada directamente del contenedor hacia los rodillos de limpieza y bajo la acción de estos y de las cerdas superiores colocadas sobre las tablas se logra el desespinado de la tuna. En la parte final se ha acondicionado tarimas de soporte acolchonadas en donde se realiza la selección y clasificación de las tunas.

1.7. Situación actual de los sistemas de producción.

Es recomendable que las tunas no sufran ningún golpe, ni quemaduras por exposición al sol y deberán ser empacadas el mismo día que fueron cortadas. La cosecha o corte se realiza en condiciones de humedad alta del ambiente (presencia de rocío) para evitar la dispersión del ahuate, que causa problemas al realizar el desespinado mecánico y las impurezas que acompañan al producto como son; tierra



y telarañas (Figura 20), atrofiando el funcionamiento del rodillo limpiador al aglomerarse estas impurezas en las cerdas de estas (Figura 21). El problema repercute en la calidad del producto, como es la presencia de un color gris, presencia visible de golpes, magullamientos y por la obstrucción de rodillos útiles, por lo que es necesario que la tuna permanezca más tiempo en la cama de limpieza para desprender el ahuate, reduciendo la productividad y aumentando daños al producto.



Figura 20. una antes de ser cosechada

Para solucionar el problema la obstrucción, de forma empírica se han propuesto algunas soluciones, la primera se le ha provisto de una barra con filamentos en la parte inferior de cada rodillo y otra cubrir al menos 10 rodillo con tubo de PVC como se muestra en la figura 21. Aunque estas soluciones no resuelven completamente el problema.



Figura 21. Problema de obstrucción de rodillos



Los fabricantes (talleres de herrería) de este tipo de máquinas y productores inmiscuidos en el sistema de producción, con el objetivo de solucionar el problema se han incorporado al sistema de limpieza una sección de recepción y secado. Existe una gran variedad de diseño con la finalidad de secar la tuna, la primera es el introducir directamente calor a la cama de limpieza (Figura 22), con que se consigue secar la tuna pero acelerando el proceso de maduración del producto (oxidación de la cáscara), al ser una área cerrada la cámara de limpieza y al introducir calor, se genera turbulencia del aire dentro de esta y ocasionando la dispersión del ahuate en el ambiente.

Otro de los sistemas ideados es la aplicación de aire caliente a una sección de recepción y secado. La cámara de secado está provista de una cadena con aditamentos de tubos transversales, donde se hace pasar el producto. El inconveniente de este sistema es que provoca la dispersión del ahuate en el ambiente y elevado costo (100% del costo del sistema de limpieza) y la última solución al que consiste en la introducción de grandes volúmenes de aire al interior de la máquina mediante ventiladores centrífugos. La desventaja más representativa es la dispersión de los ahuates en el ambiente causando incomodidad al personal que labora junto a la máquina desespinaadora.



Figura 22. Sistema de Secado.



El sistema de limpieza de las máquinas, consta de una banda transportadora de aproximadamente 10 m de largo y un ancho de 0.7 m, para la selección manual del producto. Este sistema también presenta problemas en conservar la centralidad de la banda, para solucionar este inconveniente se le ha provisto de deflectores montados a los costados de la banda transportadora. Esta solución no es la más adecuada ya que los costados de las bandas sufren considerables daños al igual que la unión de la banda (grapas deformadas).

1.8. Principios del secado de productos

En la series de horticultura por Kitonoja y Kader (1996) reporta el manejo de productos haciendo una referencia al cepillado en seco puede ser suficiente para la limpieza del producto. La elección entre el uso del cepillado en seco y el lavado dependerá del producto y del tipo de contaminación. El conocimiento de la fisiología poscosecha de cada variedad es fundamental, no solo para fines científicos o comerciales, sino también para desarrollar una tecnología adecuada para cada variedad.

Dentro de las necesidades de secado de la tuna para proveer a la máquina condiciones de explotación adecuadas por ello según Góngora (1999) algunas ventajas del secado artificial son: a) las operaciones son programables; b) el proceso se agiliza en comparación con la operación de secado, realizado de forma natural; c) la eficiencia de un secador mecánico oscila entre 40 y 60 % en comparación del 7 y 10 % del sistema natural; d) se requiere de un menor espacio comparado con las grandes áreas de secado al aire libre.

Los elementos que intervienen en un proceso de secado y que cuantifican las prestaciones de la instalación sobre lo económico son los siguientes: a) humedad del producto; b) cantidad de agua a evaporar; c) capacidad de evaporación del sistema; d) temperatura del aire; e) tiempo de secado; f) consumo horario y específico del combustible según Sánchez (1991), citado por Góngora (1999). El secado depende del gasto de aire que se introduce dentro de la masa del producto a secar.

Es de vital importancia el proyectar un sistema apropiado, su análisis se vuelve complejo ya que se tiene que eliminar la humedad de la cubierta del fruto y no debe



de sobre pasar la eliminación del agua de dicha cubierta ya que si sucede esto el producto terminal no cumple con las exigencias para posicionarse en el mercado, para ello se requiere de generar suficiente información proyectando una aproximación sobre el comportamiento del sistema, para posteriormente ser probado en laboratorio y así generar el sistema.

En la figura 23 se muestra un sistema de secado que como se puede observar cuenta con una serie de ventiladores axiales que succionan el aire junto con el agua evaporada. En la parte inferior se encuentra un sistema de rodillos de transporte que hacen girar al producto y al circular el aire por toda la cubierta, lograndose así el secado del producto.



Figura 23. Sistema de secado



Figura 24. Sistema de secado "ECO túnel"

En la figura 24 se muestra el secado del producto, mediante la condensación del agua. Este sistema funciona mediante el principio de trabajo de la refrigeración en donde la humedad es adsorbida por un condensador del cual el aire se le extrae la humedad y es introducido al sistema realizándose continuamente el ciclo de secado.



Figura 25. Sistema de secado y limpieza



El sistema de secado y limpieza (Figura 25) en comparación con los presentados anteriormente y más al sistema presentado en la figura 23, la diferencia radica que dentro de este sistema el transporte del producto son los mismos rodillos limpiadores, lográndose una compactación en la longitud del sistema de procesamiento de limpieza y secado.

1.9. Proceso de deshumidificación con desecantes

Dentro de los sistemas de acondicionamiento de aire más utilizados hoy en días, emplean ciclos termodinámicos, estos procesos convencionales presentan altos consumos de energía, causan problemas ambientales y en algunos casos incluso presentan dificultades para garantizar aire a temperatura deseada. Por lo anterior, algunos de los procesos están siendo remplazados por sistemas de menor consumo de energía y menor impacto ambiental, la utilización de ruedas deshumidificadoras en el acondicionamiento de aire presenta una buena alternativa para lograr un proceso limpio, que permite ahorrar energía, [Builes *et. al.* (2004)].

El secado que responde al concepto por deshumidificación o deshumectación del aire de la atmosfera, consiste en remover la humedad del aire, llamada también humedad. Es decir, la deshumidificación es secar el aire del ambiente. Según Sánchez (2002) existen diferentes procesos para remover la humedad del aire, estos son: 1) por enfriamiento, hasta alcanzar una temperatura por debajo del punto de rocío, 2) por el incremento de la presión total, lo que provoca condensación, y 3) por contacto del aire con un desecante, con lo cual la humedad migra hacia el desecante, impulsado por la diferencia en las presiones de vapor entre el aire y el desecante, [Sánchez (2002)].

Un **desecante** es una sustancia química que tiene una gran afinidad por la humedad, es decir, es capaz de extraer o liberar vapor de agua al aire, en cantidades relativamente grandes con relación a su peso y volumen. El proceso físico que permite la retención o liberación de la humedad es la diferencia de presión de vapor entre la superficie del desecante y el aire del ambiente. Los desecantes pueden ser clasificados como adsorbentes, los cuales absorben la humedad sin experimentar cambios químicos o físicos, o absorbentes los cuales absorben la humedad



acompañados con cambios físicos o químicos. Los desecantes pueden ser sólidos o líquidos. Varios tipos de desecantes sólidos son ampliamente usados en sistemas de enfriamiento; por ejemplo la silica gels, cloruro de litio y malla molecular. La silica gels son desecantes sólidos y adsorbentes que contienen numerosos poros y capilares en la cual es agua es retenida y condensada, tiene alta capacidad de adsorber la humedad y regenerarse sometiéndose a una alta temperatura. Es de bajo costo y esta disponible en tamaños de 3/16 pulgadas, el único cambio en la que es acompañada la adsorción es la adición de la masa de vapor de agua al desecante, Sánchez (2002). En los deshumidificadores por desecante no hay condensaciones de líquido que tenga que ser considerado en el proyecto de deshumidificación.

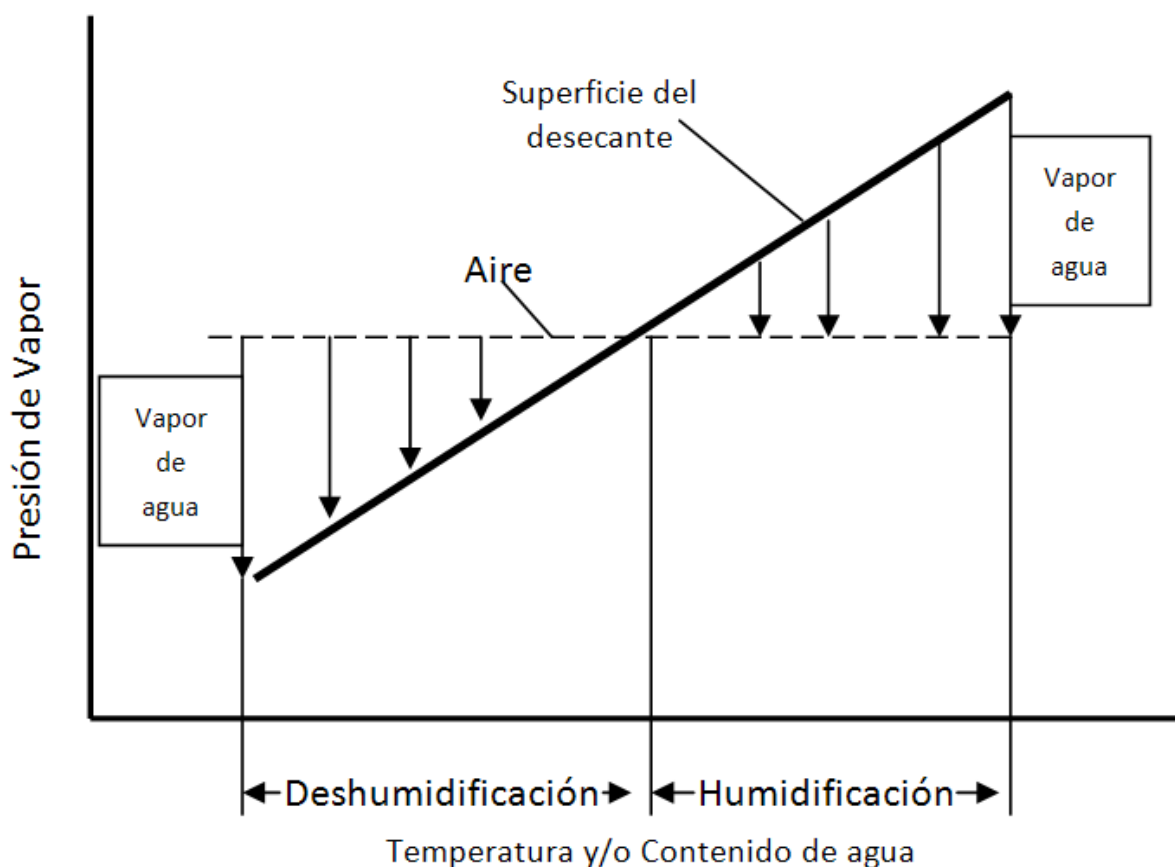


Figura 26. Presión de vapor, temperatura y contenido de agua para desecante y el aire

La deshumidificación del aire por medio de desecantes ocurre cuando la presión de vapor de la superficie del desecante es inferior a la presión de vapor de



aire. En la figura 26 se muestra que cuando la presión de vapor de agua en la superficie del desecante es más baja que en el aire este adsorbe el vapor de agua del aire. Cuando al vapor de agua es adsorbido la presión de vapor en el desecante se incrementa hasta experimentar el equilibrio, esto se logra cuando la presión de vapor en el desecante como la presión de aire es igual. Para poder reutilizar el desecante húmedo es necesario regenerarlo, es decir, quitarle la humedad. Se logra la regeneración del desecante calentándolo para que se incremente la presión de vapor, seguida por el contacto con una corriente de aire de aire que tiene una presión de vapor de agua más baja, [Sánchez (2002)].

El gel de sílice (SiO_2) es una sustancia amorfa, insoluble en agua y en casi cualquier otro solvente, no es toxica, es incolora y químicamente estable (excepto por el ácido hidrofúorico y medios cáusticos con pH mayor de 10.5 no reacciona con ninguna otra sustancia). Según Bula (2004) debido a su composición química y estructura física, el gel de sílice posee numerosas características tales como: a) alta capacidad de adsorción (más del 40% de su peso), b) estabilidad con la temperatura, c) propiedades físicas estables, d) resistencia mecánica relativamente alta y e) baja temperatura de regeneración (entre 55 y 149 °C). Según Martina *et. al.* (2000), a una temperatura de 80 °C se obtienen excelentes resultados en la regeneración de Silica gel.

La aplicación de los desecantes puede ser en el secado de cualquier líquido o gas, incluyendo el aire atmosférico y en el acondicionamiento del aire, particularmente cuando:

- Las cargas latentes son grandes en comparación con la carga sensible.
- Costos de energía de regeneración del desecante es bajo comparado con los costos de energía de deshumidificación del aire por enfriamiento por debajo de su punto de rocío y su recalentamiento.
- Control de nivel de humedad en un área requiere enfriar el aire al punto de rocío subrefrigerado por enfriamiento por compresión aislada usando la deshumidificación para obtener aire seco frío.
- Control de nivel de temperatura para un espacio o proceso que requiere continuamente de entrega de aire a temperaturas subrefrigerada.



En algunas de estas situaciones, los costos de operación del sistema de compresión de vapor y enfriamiento pueden ser muy altos. Un proceso desecante puede ofrecer considerables ventajas en energía, costos de equipamiento inicial y mantenimiento [ASHRAE (2005)].

Puesto que un desecante puede atraer y mantener el vapor de agua; también puede remover contaminantes a partir de una corriente de aire para mejorar la calidad del aire. Los desecantes pueden ser usados para remover vapores orgánicos y en circunstancias especiales para el control de contaminantes biológicos. Pueden ser usados también para el secado del aire comprimido con un bajo punto de rocío, en esta aplicación la humedad puede ser removida por el desecante con menos calor.

Finalmente el desecante puede ser utilizado para secar la circulación refrigerante en el acondicionamiento del aire y sistema de refrigeración, esto reduce la corrosión en las tuberías refrigerantes, previniendo el congelamiento en válvulas y capilares por la formación de cristales de hielo. En estas aplicaciones el desecante no es regenerado.

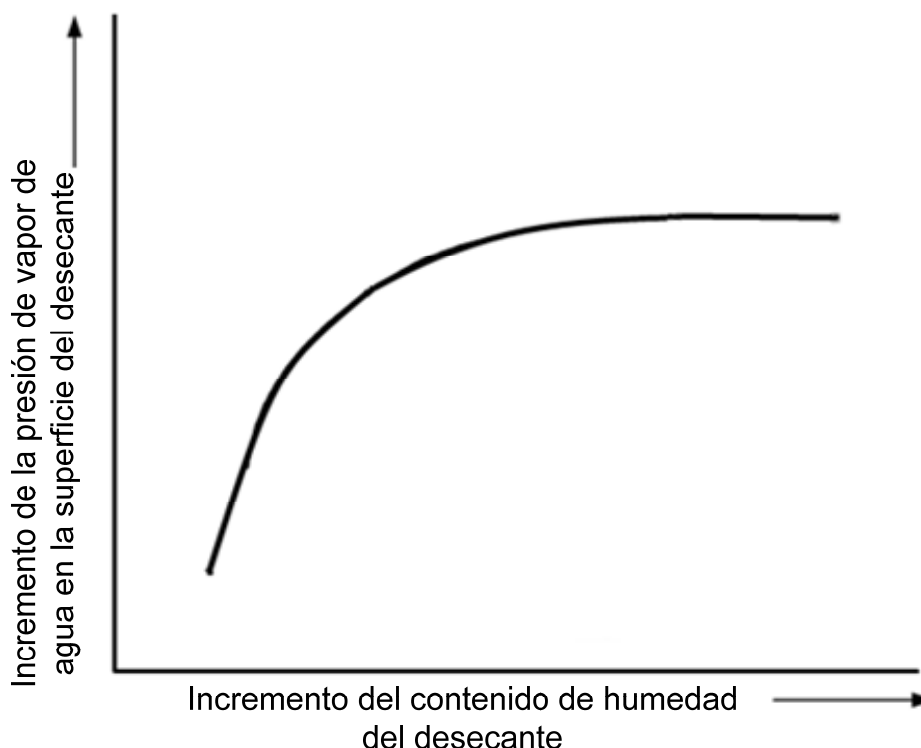


Figura 27. Presión de vapor de agua del desecante y contenido de humedad



Hablando prácticamente, todos los desecantes funcionan de algunas de las siguientes maneras: por transferencia de humedad provocada por la diferencia entre la presión de vapor de agua en su superficie y del aire circundante, cuando la presión en la superficie del desecante es baja que la del aire, el desecante atrae la humedad. Cuando la presión de vapor es alta que la del aire circundante, el desecante libera humedad. En la figura 27 se muestran las relaciones entre el contenido de humedad del desecante y la presión del vapor de agua en la superficie. En esta se observa que a medida que el contenido humedad del desecante aumenta al grado de saturarse aumenta la presión de vapor en su superficie, alcanzando el equilibrio con respecto al aire circundante. En este punto la humedad no se puede mover en ninguna dirección hasta que una fuerza externa cambie la presión de vapor de el desecante o del aire [ASHRAE (2005)].

El proceso llamado regeneración o reactivación es necesario cuando la presión de vapor en la superficie del desecante es mayor que la presión de vapor presente en el aire circundante. En este proceso se busca secar o reactivar el desecante por medio de calor, al enfriar el desecante se reduce su presión de vapor para que adsorba humedad.

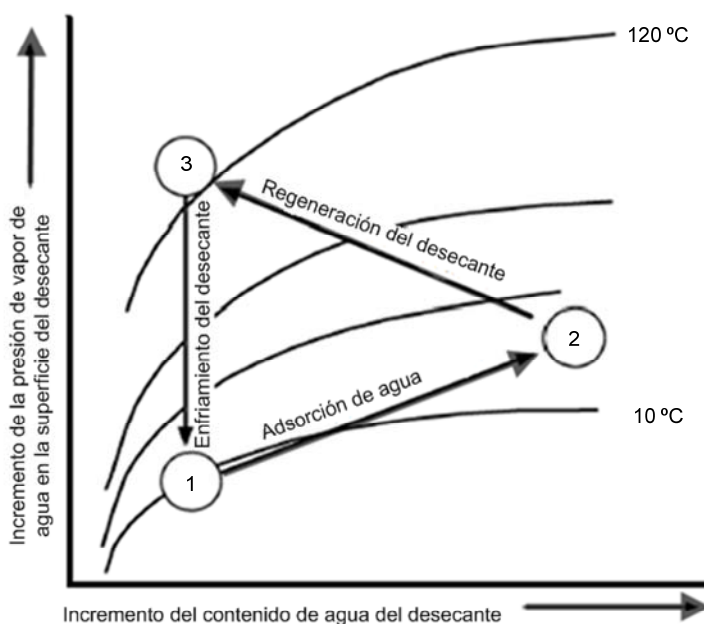
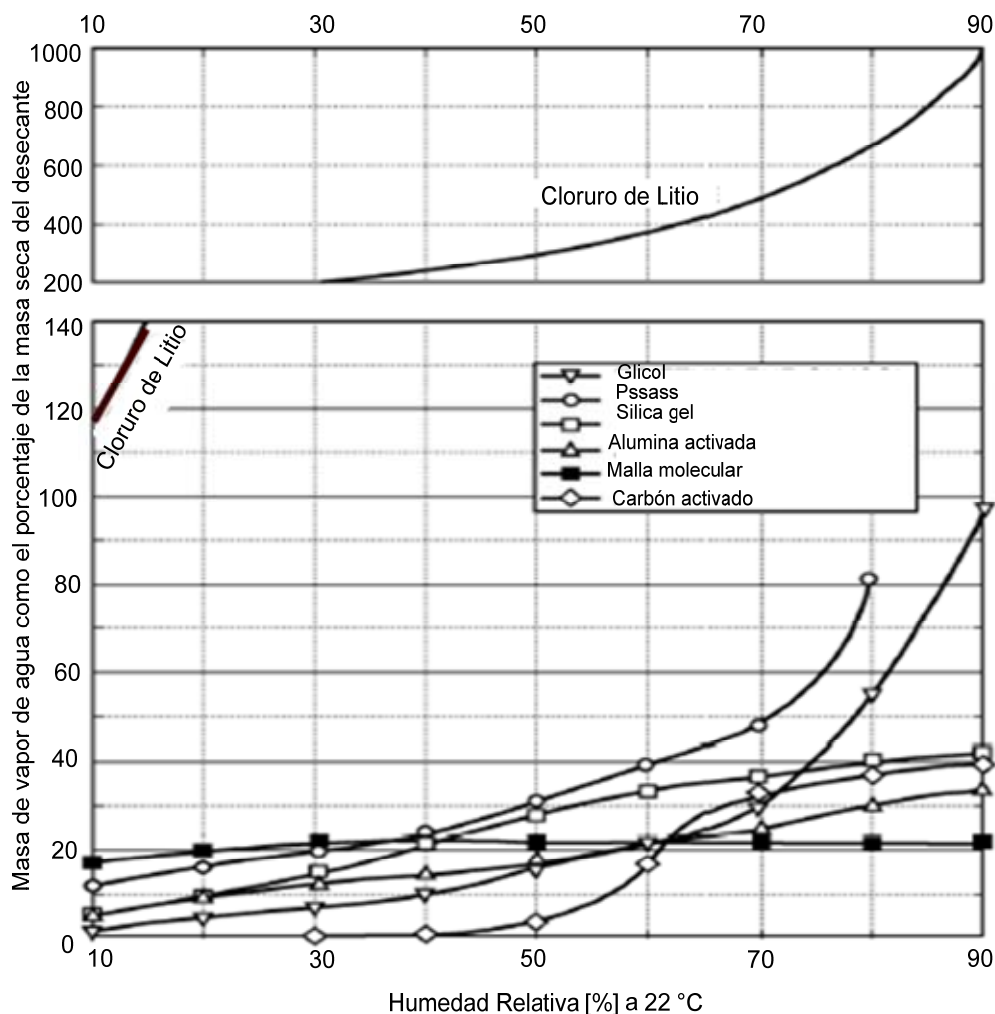


Figura 28. Ciclo del desecante,



La operación económica del desecante depende del costo de energía para abastecer el movimiento de los materiales del ciclo mostrado en la figura 28. Los costos de deshumidificar el aire (cargar el desecante con vapor de agua) generalmente procede de la energía para hacer funcionar los ventiladores o bombas que hacen circular el aire. La mayor proporción de energía es invertida en la regeneración del desecante (desplazamiento del punto 2 al punto 3) y el enfriamiento del desecante (punto 3 al punto 1), [ASHRAE (2005)].



Fuentes de las isothermas presentadas en la figura:
PSSASS: Czanderna (1988)
Cloruro de Litio: Corporación Mounters. División Cargocaire y Kathabar, Inc.
Glicol: Corporación Química Dow.
Silica gel: División de Química Davison de W. R. Grace Co.
Carbón activado: Corporación Calgon.
Alumina activada: Industrias LaRoche Inc.
Malla molecular: División de Química Davison de W. R. Grace Co.

Figura 29. Isothermas de adsorción de varios desecantes (ASHRAE, 2005)



La energía de regeneración es igual a la suma del calor.

- Necesaria para el aumento del desecante a una alta temperatura lo suficiente para hacer que la presión de vapor se eleve por encima de la del aire circundante.
- Necesaria para vaporizar la humedad contenida (aproximadamente 2465 kJ/kg).
- Para adsorber el agua por el desecante (una pequeña cantidad).

La energía de enfriamiento es proporcional a la masa del desecante y la diferencia entre su temperatura después de la regeneración y la pérdida de temperatura que permite al desecante remover nuevamente agua de la corriente de aire.

La figura 29 representa una comparación de las características de adsorción de diferentes desecantes. Amplias variaciones de las isotermas ocurre puesto que se usan diferentes métodos de fabricación y optimización de materiales para diferentes aplicaciones. La aplicabilidad está dada por el desecante en aplicaciones particulares, generalmente gobernada como muchas por el diseñador de los sistemas mecánicos que presenta el material a las corrientes de aire así mismo por las características de los materiales. Varios recursos dan detalles de equipos desecantes e información acerca de las características de isotermas del desecante. Brunauer (1945) citado por ASHRAE (2005) considera cinco tipos básicos de formas de isotermas. Cada forma de isoterma es determinada por el mecanismo de adsorción dominante del desecante, está dada por su característica capacidad específica en diferentes presiones de vapor. La forma de la isoterma puede ser importante en el diseño óptimo del desecante para aplicaciones donde existe un rango limitado de condiciones de explotación esperado.

El aprovechamiento de la vida del material desecante depende en gran parte en la calidad y tipo de contaminación en la corriente de aire a secar. En equipos comerciales, el desecante dura de 10 000 a 100 000 horas posteriormente se requiere de ser remplazado. Normalmente son dos mecanismos que causan la pérdida de la capacidad del desecante: (1) cambios en las características de adsorción del desecante por reacciones químicas provocadas por contaminantes y



(2) pérdida de efectividad del área superficial menguada por la degradación hidrotermal. Los adsorbentes sólidos pueden tener menos reactivaciones químicas y más sensibilidad a la degradación, en función del tipo y la cantidad partículas del material en la corriente del aire. También, ciertos tipos de silica gels pueden ser sensibles a la saturación de la corriente de aire o acarrear humedad líquida encima del serpentín de enfriamiento dentro de la capa desecante. La estabilidad térmica del desecante permite ser usada en condiciones donde los materiales son menos durables, [ASHRAE (2005)].

De los procesos por deshumidificación desecantes se elige el sistema por desecantes como el más adecuado en la presente investigación. Las ventajas más sobresalientes de este son: las temperaturas de operación, representando una gran ventaja de aplicación al sistema de secado en máquinas desespadoras. Para aplicar las propiedades de los materiales desecantes se requiere de un sistema llamado rueda deshumidificadora de adsorción continua. Estas realizan la adsorción del agua del aire. Cuenta con un lecho de miles de conductos rectos, en algunos casos de sección triangular, recubiertos con desecantes en las paredes, y con un diámetro hidráulico muy pequeño (hasta 1.5 mm). El lecho cilíndrico rota sobre su propio eje con la finalidad de lograr un tratamiento continuo, solamente una parte de él se utiliza para deshumidificar el aire, mientras que el resto se utiliza para ser regenerado, [Builes (2004)]. Las ruedas de calor y las ruedas deshumidificadoras pertenecen a la familia de los intercambiadores rotatorios periódicos. En las ruedas deshumidificadoras se busca una carga de calor latente (captura de humedad), y sus velocidades de operación están entre 0.5 y 6 rph [ASHRAE, (2000)].

El funcionamiento y elementos de trabajo que interactúan en el sistema por deshumidificación se describen a continuación haciendo referencia a la figura 30.

El aire húmedo o aire de proceso (1) es succionado por el deshumidificador a través del pre filtro (2) hacia el plenum (3) para posteriormente pasar a través del rotor o rueda desecante (4) donde la humedad es absorbida por el desecante, el aire deshumidificado pasa al plenum (5,10) y es descargado por medio del ventilador de aire de proceso (6).



El aire de reactivación (7) es succionado a través de un pre-filtro (8) y calentado por medio del calentador de reactivación (9) que puede ser eléctrico, de vapor o de gas, pasando después por la sección del rotor (4) al plenum aislado (11), calentando el aire de reactivación se reduce la humedad relativa del mismo y se aumenta su capacidad de absorción de humedad, así cuando pasa a través del rotor desecante, absorbe la humedad retenida en el mismo y esta es descargada al exterior por medio de un ventilador de aire de reactivación (12).

Cuando el deshumidificador está operando, la rueda gira por medio del motorreductor y banda (13) haciendo que la humedad adsorbida por la misma en la sección del proceso sea cedida al aire de reactivación, siendo este un proceso continuo.

El rotor desecante puede exponerse a un ambiente de humedad relativa del 100% sin dañar su estructura ni su operación. Debido a esta característica el rotor puede lavarse con agua caliente, con detergente e inclusive con solventes sin recibir ningún daño o pérdida del desecante.

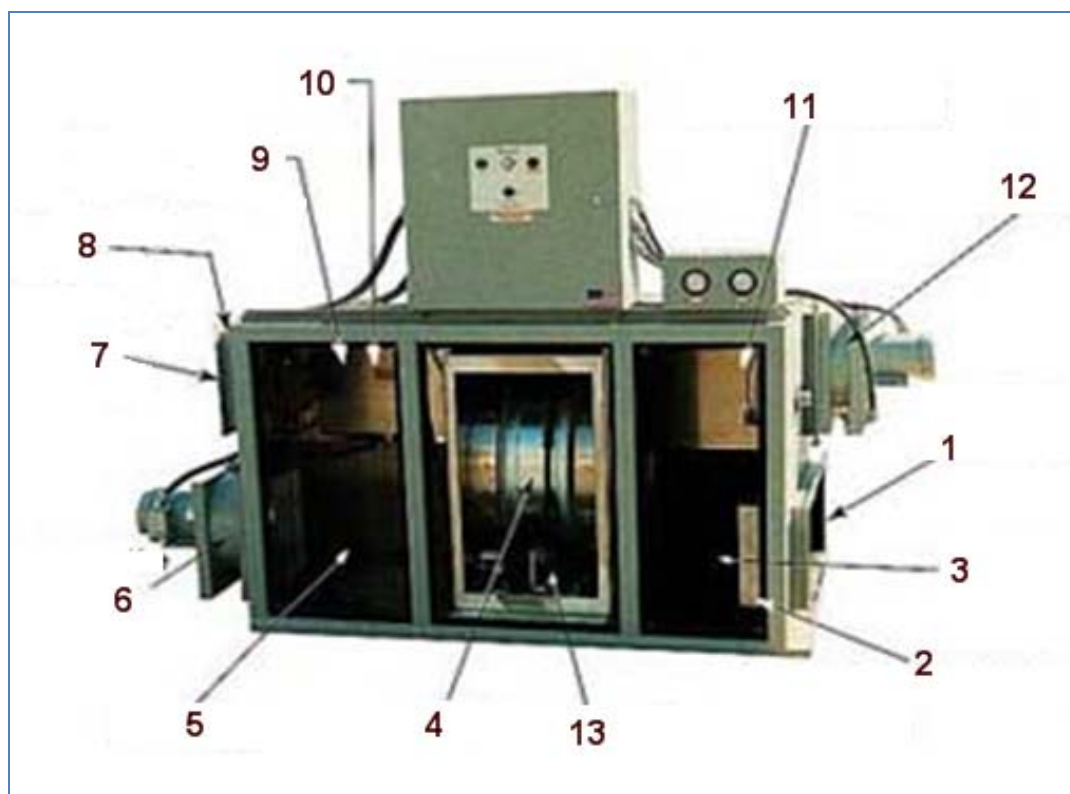


Figura 30. Deshumidificador comercial VAMSA



En la figura 31 se muestra un deshumidificador comercial de la marca Seibu Giken DST con el principio de deshumidificación por adsorción en el cual el rotor gira y adsorbe la humedad. La humedad es descargada mediante la salida del aire húmedo. Este modelo en particular se utiliza normalmente para bajas temperaturas de regeneración, por ejemplo cuando se tiene exceso de calor o para deshumidificar un aire muy húmedo. Este modelo es acompañado por un diagrama psicrométrico observándose la pérdida o ganancia de humedad y de temperatura. Partiendo de las condiciones iniciales de humedad del aire de la succión de la corriente (A) e impulsada hacia la rueda deshumidificadora resultando la corriente (B) con una mayor temperatura y menor contenido de humedad, por otra parte en la sección destinada a la regeneración, se crea la corriente (E) debida a la succión del ventilador (con un caudal de aire mayor disminuye la temperatura) que obliga a la corriente (C) a pasar sobre el calentador de regeneración (donde se eleva la presión del vapor del aire mediante la adición de calor (observándose un incremento en la temperatura del aire hasta 140°C , manteniendo el contenido de humedad). El calentar el aire es un método para reducir el porcentaje de humedad creando la corriente (D) que atravieza la sección de regeneración de la rueda deshumidificadora y mediante el aire caliente la presión del vapor del material desecante se aumenta de tal forma que se libera el agua de este y es arrastrada por medio de la fuerza de la corriente de aire (E) en donde el contenido de humedad es mucho mayor en comparación con las condiciones del aire de los puntos (A) y (C). La disminución de temperatura se debe a la fuerza de la corriente del aire del ventilador y por el efecto refrigerante del vapor de agua en las condiciones atmosféricas presentes en este.

Se puede mencionar que este tipo de deshumidificador es adecuado donde no hay gran diferencia de temperatura entre el aire de proceso y el aire de regeneración, presentando los modelos de mayor capacidad limites de rendimiento con caudal de aire de proceso de $50,000\text{ m}^3/\text{h}$ para conseguir aire seco con 2 g/kg cuando el aire de proceso entra a $10^{\circ}\text{C}/100\% \text{ HR}$ y el aire de regeneración entra a $30^{\circ}\text{C}/16\text{g/kg}$, el flujo de aire húmedo es de 40% del flujo de aire de proceso. La temperatura de regeneración es de 140°C .



CONSORB DC

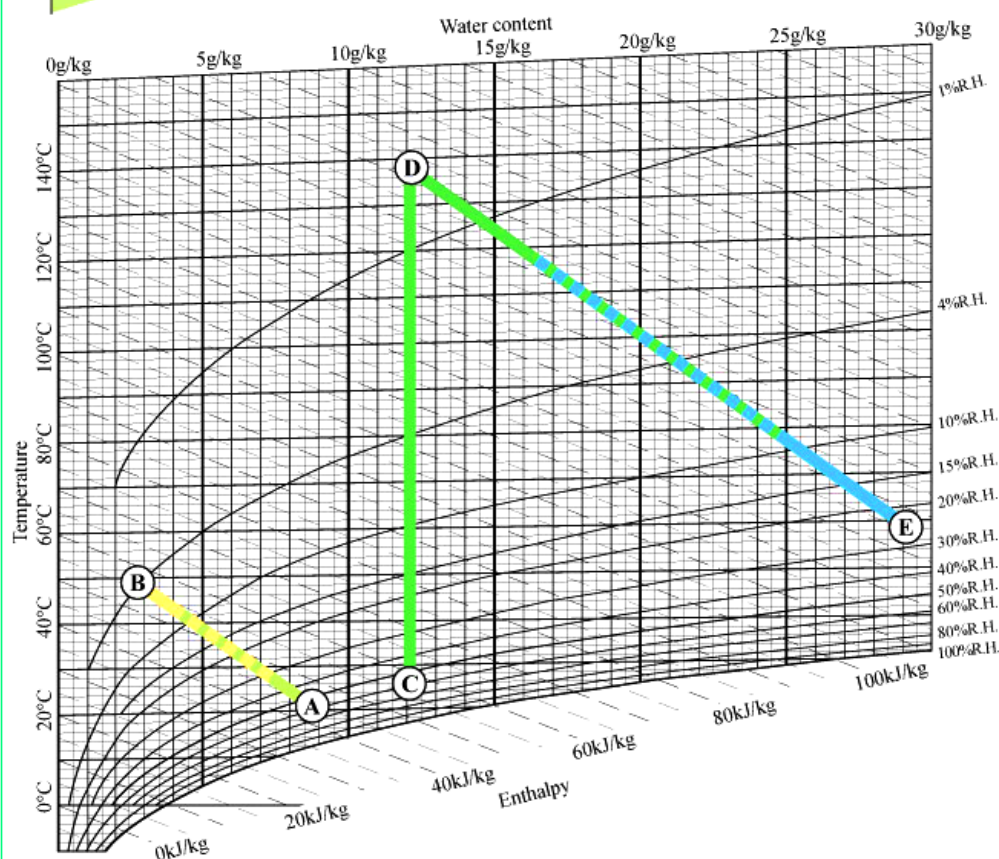
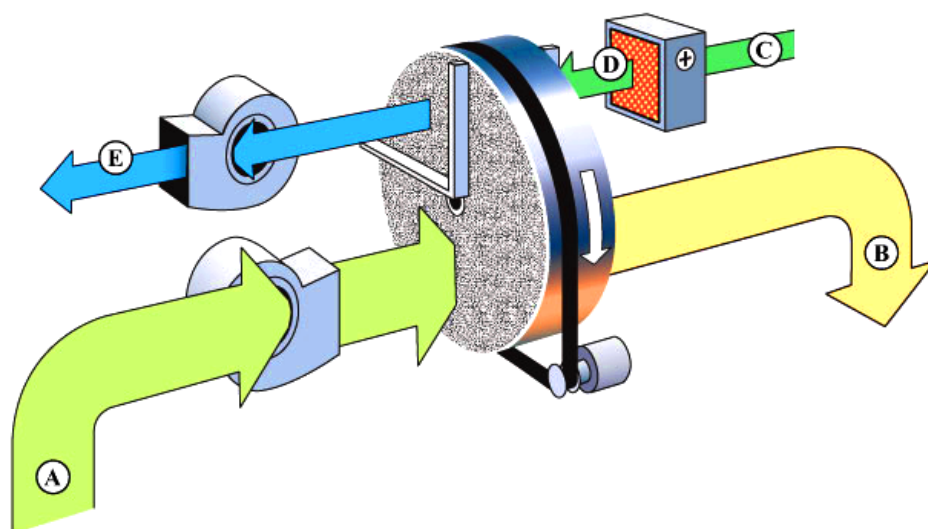


Figura 31. Deshumidificador CONSORB DC (Seiubu Giken DST)



1.10. Psicrometría y Secado

En las operaciones de secado, las propiedades del aire húmedo cambian en función del tiempo. El mayor cambio se refiere a la cantidad de agua que es eliminada del producto mientras el aire pasa a través del sistema. Es conveniente expresar las propiedades del cambio de humedad del aire en términos de aire seco, [Pita (2000)]. La velocidad y uniformidad de secado, son dos factores importantes que afectan la calidad del proceso y evitan pérdidas físicas, estructurales, químicas y nutricionales del producto. Un proceso de secado es óptimo cuando el tiempo en el que se lleva a cabo es el mínimo, estrechamente relacionado con la eficiencia energética del secador empleado.

1.10.1. Psicrometría

La **psicrometría** estudia las propiedades termodinámicas de mezclas de gas con vapor. La mayoría de su aplicaciones se refieren al aire húmedo, considerado como la mezcla de aire seco y vapor de agua. La psicrometría resulta útil en el diseño y análisis de sistemas de almacenamiento y procesado de alimentos, diseño de equipos de refrigeración, estudio del secado de alimentos, estudios de aire acondicionado y climatización, torres de enfriamiento, y en todos los procesos industriales que exijan un fuerte control del contenido de vapor de agua en el aire.

1.10.2. Temperatura (T)

La temperatura es el parámetro más significativo en el control ambiental, sin embargo, su consideración no resulta tan sencilla, ya que cada componente del sistema (aire, producto agrícola, etc.) tiene su propia temperatura y además, es un parámetro variable que depende de otros factores ambientales, como el contenido de humedad del aire.

La temperatura desempeña un papel importante en los procesos de secado. En general, conforme se incrementa su valor se acelera la eliminación de humedad dentro de los límites posibles. En la práctica del secado, la elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración las especies que se vaya a someter al proceso



instrumentación ordinaria como un termómetro de mercurio. Con la finalidad de relacionar la temperatura del aire con su contenido de humedad se define, también, llamada temperatura del bulbo húmedo (TBH), esta es la temperatura de equilibrio dinámico obtenida por una superficie de agua cuando la velocidad de transferencia de calor por convección a la misma, es igual a la transferencia de masa que se aleja de la superficie.

1.10.3. Humedad (H)

La humedad es el parámetro ambiental que más impacta sobre la fisiología de las especies y propiedades de los productos agrícolas.

La humedad del aire se refiere a dos formas:

- a). Humedad absoluta: es la masa de vapor de agua contenida en un metro cúbico de aire húmedo, se expresa de la siguiente forma:

$$HA = \frac{m_w}{v} \quad (1)$$

Donde:

m_w = Masa de vapor de agua, kg

v = volumen total de aire húmedo, m³

- b). Humedad relativa: es la relación de la humedad absoluta del aire no saturado a la máxima humedad absoluta posible del aire a la misma temperatura y presión. Se expresa como:

$$HR = \frac{HA}{HA_{max}} \times 100 = \frac{P_v}{P_{v_{max}}} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

HA = Humedad absoluta, kg/m³

HA_{max} = Humedad absoluta máxima, kg/m³

P_v = Presión de vapor actual, Pa

$P_{v_{max}}$ = Presión de vapor máxima o de saturación, Pa

La cantidad máxima que puede contener el aire a determinada temperatura hasta alcanzar su saturación puede ser calculada mediante la siguiente expresión



$$q_{sat} = \frac{622 * \left(6.11 * 10^{\left(\frac{7.38T}{T+273.3} \right)} \right)}{p - \left(6.11 * 10^{\left(\frac{7.38T}{T+273.3} \right)} \right)} \quad (3)$$

Donde:

p =Presión, hPa

T =Temperatura del bulbo seco °C

Generalmente, la humedad relativa se expresa en porcentaje (%), a medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad viceversa. Cuando el aire contiene su máxima capacidad, se dice que se trata de un aire completamente saturado y por lo tanto incapaz de absorber más humedad, por el contrario, un aire no saturado tiene la posibilidad de absorber una cantidad determinada de humedad hasta lograr su saturación o equilibrio.

De las anteriores expresiones se puede decir que si se tiene aire con un contenido de humedad constante se calienta la humedad relativa decrecerá. Sin embargo, si el mismo aire se enfría la humedad relativa aumentará. En el caso que si el aire a una temperatura constante es deshumidificado, la humedad relativa disminuirá si ese mismo aire se humidifica, la humedad relativa aumentará. Los contenidos de humedad posible en el aire a temperaturas determinadas pueden obtenerse diagramas psicométricos, como el de la figura 32 Mediante el diagrama de la figura 32, esta muestra la dependencia de la humedad relativa del aire respecto a la temperatura y al contenido absoluto de agua, se puede determinar una de las magnitudes mencionadas, en tanto sean conocidas dos parámetros.

La característica del aire de absorber humedad es tanto más pronunciada, cuando más seco se encuentre. Por ello, el aire muy seco absorbe realmente toda la humedad existente hasta el equilibrio con las condiciones ambientales. Cuanto más caliente está el aire, tanta más agua podrá absorber. Y cuanto más húmedo está, tanto menor es su capacidad de absorber humedad adicional.

1.10.4. Velocidad del aire

La velocidad del aire tiene como función el transmitir la energía para calentar el agua contenida en el material facilitando su evaporación y transportar la humedad saliente del material. La velocidad del aire desempeña un papel importante sobre



todo cuando el material contiene un alto contenido de humedad. A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado y viceversa, si la velocidad del aire disminuye la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta, por ello para asegurar un secado rápido y uniforme es indispensable una circulación de aire fuerte y regular. Se utilizan velocidades superiores a 3 m/s en casos cuando el material se encuentra muy húmedo, pero en general, la velocidad se considera entre 2 m/s a 3 m/s, En algunos casos, es recomendable utilizar velocidades de secado altas al inicio del proceso de secado, pero a medida que disminuye la humedad se sugiere disminuir la velocidad [Mujumdar (200)].

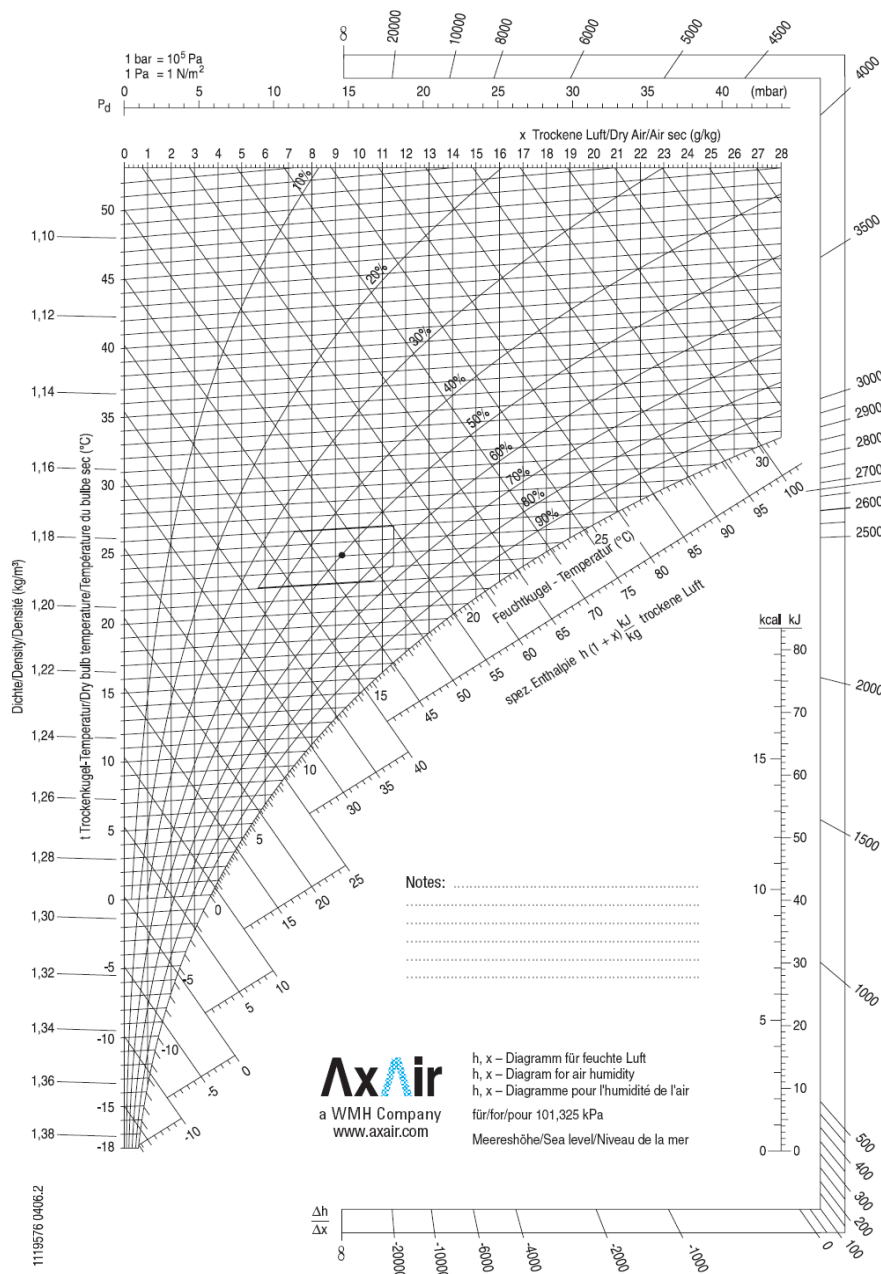


Figura 32. Diagrama psicrométrico.

2. DISEÑO CONCEPTUAL

Se empleo la metodología de diseño la norma Cubana NC 02-01-01:78 “Sistema Único de Documentación de Proyecto” y el QFD (Despliegue de la función calidad). Para determinar los requerimientos del cliente.



2.1. Revisión de Información.

Se realizó una exhaustiva búsqueda de información en fuentes que van desde textos, patentes, folletos de información técnica y manuales de operación y mantenimiento; con el propósito de tener el pleno dominio del estado actual del desarrollo científico y tecnológico del problema planteado.

Se buscó el contacto directo con el problema, mediante entrevistas con productores de zona de estudio, mediciones directas en campo, tanto de los requisitos técnicos y tecnológicos que debe cumplir el desarrollo tecnológico planteado, como de las condiciones socioeconómicas de los productores investigar la tecnología disponible en la zona de estudio y las posibilidades de inversiones necesarias para la implementación del proyecto.

2.2. Objetivo de elaboración

El problema que se aborda, es generado por la necesidad de un desarrollo tecnológico para secar la tuna (por aire deshumidificado) para poder desespinarla mecánicamente a tempranas horas del día.

Su competitividad deberá ser proyectada mediante un proceso de ingeniería retomando principios mecánicos establecidos en máquinas de construcción rudimentaria, sin involucrar incrementos sustanciales de costos de inversión, logrando una enmarcada disminución en los costos de producción con relación a máquinas existentes en diferentes unidades de producción.

2.3. Denominación

El secador Sectuna se relaciona con el proceso diseño y construcción de maquinaria agrícola.

2.4. Alcance

Se busca un sistema capaz de realizar la operación recepción, deshumidificado, limpieza, transporte y descarga de la tuna, incrementando la productividad y ofrecer un producto terminado con excelentes índices de calidad,



2.5. Especificaciones

El desarrollo tecnológico propuesto del sistema de secado en máquinas desespadoras de tuna responde a las necesidades de los productores de ofrecer un sistema mas adecuado para la eliminación de ahuate de la tuna que en los últimos años ha tenido una relevante importancia el desespado ya que se requiere del procesamiento de un gran volumen(2 t/h) realizándose de forma mecánica donde se ha obtenido buenos resultados en comparación de realizar dicha operación de forma manual que aún se lleva a cabo en pequeñas unidades de producción, El tiempo de permanencia de la tuna en la sección de secado será menor a 4 minutos, se considera indispensable que la temperatura del aire de secado sea lo mas próxima a las presentes en el ambiente.

El planteamiento de los objetivos del desarrollo tecnológico de la maquina desespadora delimita los alcances del proyecto y lo posiciona en un ámbito de aplicación real, que corresponde ampliamente a las condiciones existentes en la zona de estudio. Situación que proporciona las características de explotación, constructivas y dimensionales, que debe cumplir del desarrollo tecnológico.

En busca de principios de solución que cumplan con los requisitos técnicos planteados en la estructura del proyecto el desarrollo tecnológico se divide en sistemas y se establece el esquema de Sub-funciones de las máquinas desespadoras de tuna (Figura 33), así como su complementación en las especificaciones de los requerimientos deseables (D) y obligatorios o demandas (W), obteniéndose 4. Este análisis permite tener una amplia gama de soluciones, eliminar preferencias personales y generar alternativas de solución que estén acordes con los alcances del proyecto. De igual manera organiza la lluvia de ideas generadas para la solución tanto del desarrollo tecnológico, como para los sistemas individuales que lo componen.

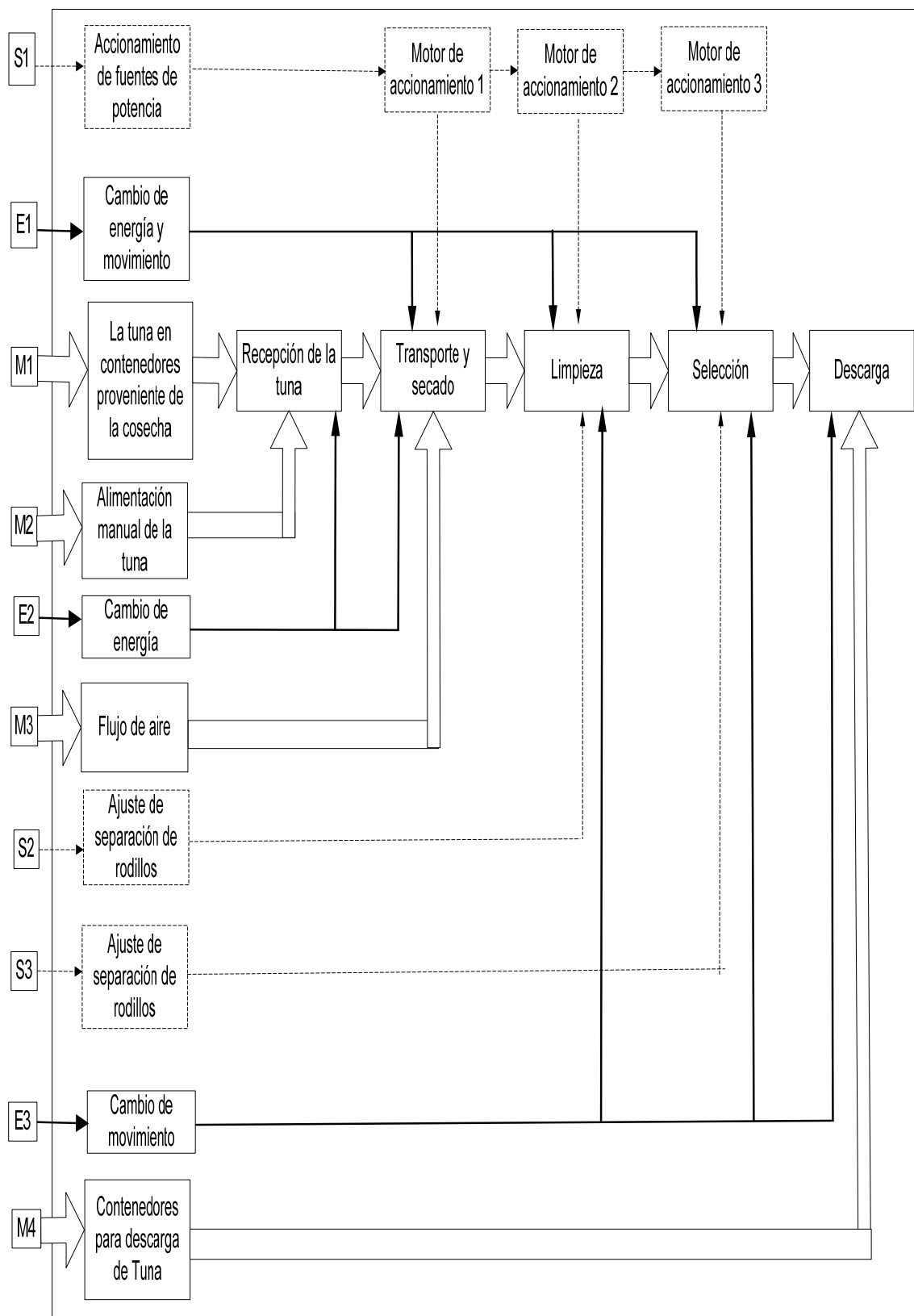


Figura 33. Esquema de Sub-funciones de la máquina desespinaadora.



Cuadro 1. Búsquedas de principios de solución

Sub-función		Principio de Solución		
		1	2	3
1	Tolva de recepción	Disposición fija	Disposición articulada	
2	Sistema de secado	Flujo de aire en condiciones ambientales	Aire caliente	Aire deshumidificado
3	Generador del flujo de aire	Ventilador axial	Soplador de aire caliente	Ventilador centrífugo
4	Sección de secado	Sistema de pre-limpia con rodillos simples	Ttransportador de rodillos	
5	Disposición del sistema de secado	Parte superior	Parte inferior	
6	Sistema de limpieza	Rodillos simples a igual velocidad de rotación (140-170 rpm)	Rodillos simples con velocidad variable alternados (146 y 120 rpm)	Rodillos simples de transporte en la cama inferior y rodillos superiores.
7	Apoyo del sistema de limpieza	Cepillos rectangulares dispuestos en la parte superior	Rodillos superiores de igual velocidad de rotación (175-200 rpm)	Mechudos rotatorios en la parte superior (150 rpm)
8	Sistema de selección	Manual	Automática	
9	Sistema de transporte de la selección	Banda transportadora	Banda transportadora dividida en secciones longitudinales	
10	Sistema de descarga	Mediante tolvas	Sistema mediante canales de conducción	



2.6. Combinación de principios de solución

De acuerdo con los principios de trabajo encontrados se proyecta la solución de un sistema de trabajo, sin embargo la solución de estos mismos sobre la funcionalidad o relación con respecto de otros se plantean las siguientes combinaciones de principios de solución para su posterior evaluación.

Variante 1:

1.1-2.1-3.1-4.2-5.1-6.1-7.2-8.1-9.2-10.1

Variante 2:

1.2-2.2-3.2-4.1-5.1-6.2-7.2-8.1-9.2-10.1

Variante 3:

1.1-2.3-3.3-4.2-5.1-6.2-7.3-8.1-9.2-10.1

Variante 4:

1.2-2.3-3.3-4.1-5.1-6.2-7.2-8.1-9.2-10.1

Variante 5:

1.2-2.3-3.2-4.2-5.1-6.1-7.1-8.1-9.2-10.1

Variante 6:

1.2-2.3-3.2-4.1-5.1-6.1-7.1-8.1-9.2-10.1

Variante 7:

1.2-2.1-3.2-4.1-5.1-6.2-7.3-8.2-9.1-10.2

Variante 8:

1.2-2.3-3.2-4.1-5.1-6.2-7.2-8.2-9.1-10.2

Variante 9:

1.2-2.2-3.2-4.1-5.1-6.2-8.1-9.2-10.1

Variante 10:

1.2-2.3-3.2-4.2-5.1-6.1-7.2-8.2-9.1-10.2

Cuadro 2. Selección de la combinación más conveniente

Variante de Solución		A	B	C	D	E	F	G	Observación	Dedición
V1	1	-	-	+	-	?	-	¿		-
V2	2	-	-	+	-	-	-	¿		-
V3	3	+	+	+	-	+	-	i		+
V4	4	+	+	+	+	-	-	¿		+
V5	5	+	+	-	-	-	-	¿		-
V6	6	+	+	+	-	-	-	¿		-
V7	7	+	+	-	-	+	-	i		-
V8	8	+	+	+	-	+	+	¿		+
V9	9	+	+	¿	+	-	-	¿		+
V10	10	-	+	-	-	-	+	-		-

Parámetros de evaluación de acuerdo con la siguiente nomenclatura.



- A= Compatible con la tarea global
B= Cumple con los requisitos de la especificación
C=Realizable en principio.
D=Dentro de los costos permisibles
E=Incorpora directamente medidas de seguridad.
F= Preferida por la compañía del diseño
G= Información adecuada

Criterios de selección

(+) Si	(-) Solución eliminada
(-) No	(?) Colectar información (re-evaluar solución)
(?) Falta de información	(i) Comprobar especificación para cambios.
(i) Comprobar especificación	
Criterio de Dedición:	
(+) Solución perseguida	

Ante la necesidad de proponer soluciones prometedoras antes de ser descubierta, es necesario la combinación de las variantes obtenidas con el fin de proponer un modelo donde se combinan elementos de trabajo como una variante adicional que no se haya percibido en el planteamiento de las variables obtenidas en la combinación de los principios de decisión. Al final de acuerdo con la metodología propuesta se pueden realizar un determinado número de dibujos, simulaciones computacionales o bien presentar el principio físico que responde a las necesidades que satisfagan la función global.

2.7. Evaluación de las variantes de concepto

A continuación se presenta la clasificación jerárquica (esquema siguiente) donde se presentan aspectos de la ponderación de los requerimientos del cliente mediante el establecimiento del árbol de objetivos para facilitar y tener una mejor coordinación de los factores de ponderación y parámetros de las variantes.

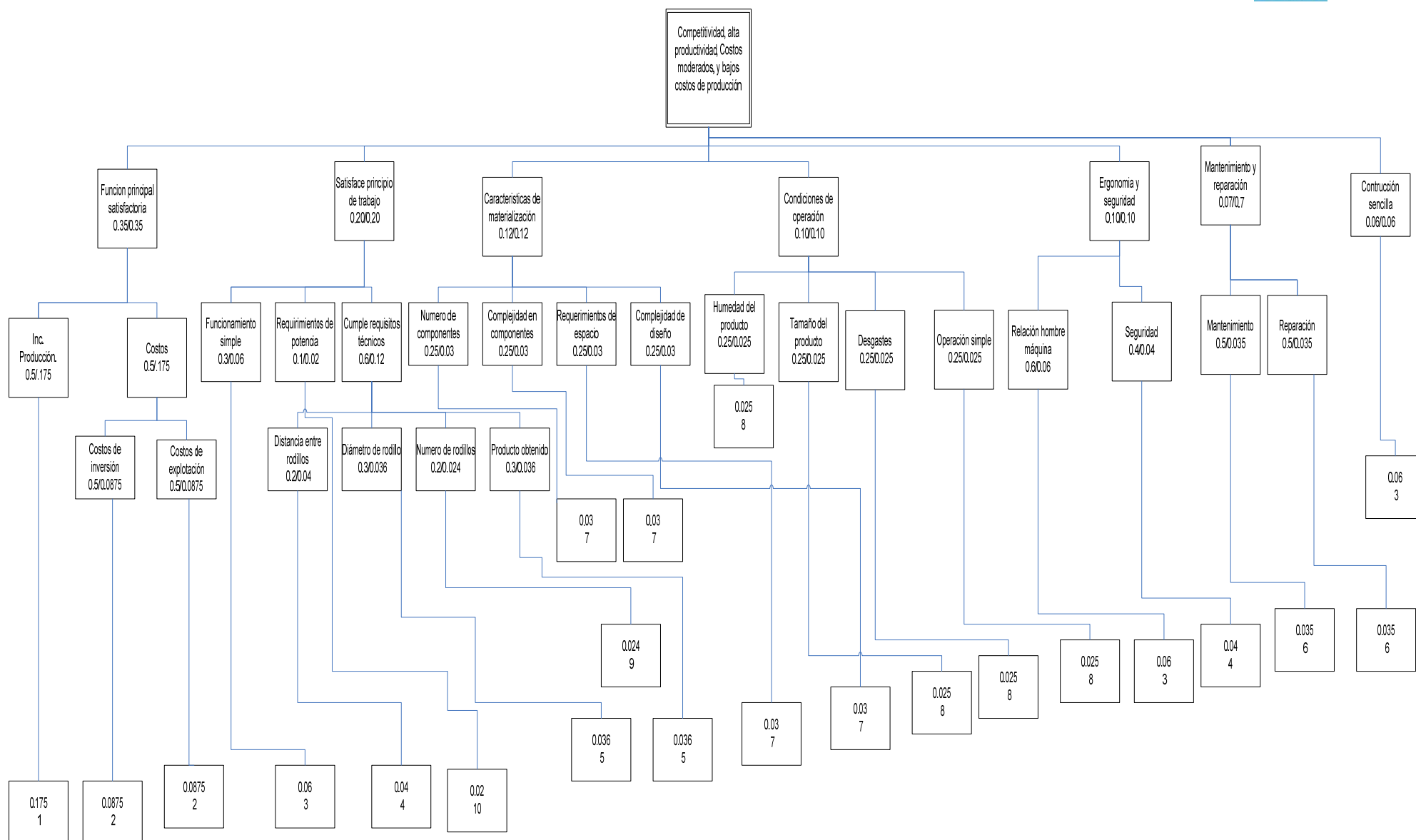


Figura 34. Árbol de objetivos



Cuadro 3. Carta de evaluación

Criterio de evaluación			Parámetro	Variante1		Variante 2	
#	Denominación	W	Nombre	Valor	V. Ponderado	Valor	V. Ponderado
1	Incremento de productividad	0.175	Kg/h	7	1.225	8	0.14
2	Costo de inversión	0.0875	Costo (\$)	8	0.7	8	0.6125
3	Costo de explotación	0.0875	Costo (\$)	7	0.6125	7	0.7
4	Funcionamiento simple	0.06	-----	7	0.42	8	0.42
5	Relación Hombre-máquina	0.06	Ergonomía	8	0.48	7	0.48
6	Construcción sencilla	0.06	Construcción	8	0.48	9	0.42
7	Distancia entre rodillos	0.04	Distancia (m)	8	0.32	8	0.36
8	Seguridad	0.04	Seguridad	7	0.28	8	0.32
9	Diámetro de rodillos	0.036	Diámetro (m)	7	0.252	9	0.288
10	Producto obtenido	0.036	Índice de calidad	8	0.288	7	0.324
11	Mantenimiento	0.035	Mantenimiento	8	0.28	7	0.245
12	Reparación	0.035	Reparación	7	0.245	7	0.245
13	Numero de componentes	0.03	Diseño	6	0.18	7	0.21
14	Complejidad de componentes	0.03	Diseño	7	0.21	7	0.21
15	Requerimiento de espacio	0.03	Espacio (m)	6	0.18	7	0.21
16	Complejidad de diseño	0.03	Diseño	7	0.21	7	0.21
17	Humedad del producto	0.025	Agua en la cubierta (g/kg)	8	0.2	9	0.225
18	Tamaño del producto	0.025	Tamaño (m)	8	0.2	8	0.2
19	Desgastes	0.025	Vida explotativa (años)	8	0.2	8	0.2
20	Operación simple	0.025	Operación	8	0.2	7	0.175
21	Numero de rodillos	0.024	Cantidad	9	0.216	7	0.164
22	Requerimientos de potencia	0.02	kW, hP	7	0.0.14	7	0.14
Σ		1		164	7.5185	167	7.7625



Cuadro 4. Carta de evaluación (Continuación.....)

Criterio de evaluación			Parámetro	Variante3		Variante 4	
#	Denominación	W	Nombre	Valor	V. Ponderado	Valor	V. Ponderado
1	Incremento de productividad	0.175	Kg/h	8	1.4	9	1.575
2	Costo de inversión	0.0875	Costo (\$)	7	0.6125	8	0.7
3	Costo de explotación	0.0875	Costo (\$)	9	0.7875	8	0.7
4	Funcionamiento simple	0.06	-----	8	0.48	9	0.54
5	Relación Hombre-máquina	0.06	Ergonomía	8	0.48	8	0.48
6	Construcción sencilla	0.06	Construcción	7	0.42	8	0.48
7	Distancia entre rodillos	0.04	Distancia (m)	8	0.32	9	0.36
8	Seguridad	0.04	Seguridad	8	0.32	8	0.32
9	Diámetro de rodillos	0.036	Diámetro (m)	9	0.324	7	0.252
10	Producto obtenido	0.036	Índice de calidad	9	0.324	9	0.324
11	Mantenimiento	0.035	Mantenimiento	8	0.28	8	0.28
12	Reparación	0.035	Reparación	8	0.28	8	0.28
13	Numero de componentes	0.03	Diseño	9	0.27	9	0.27
14	Complejidad de componentes	0.03	Diseño	7	0.21	9	0.27
15	Requerimiento de espacio	0.03	Espacio (m ²)	8	0.24	8	0.24
16	Complejidad de diseño	0.03	Diseño	7	0.21	9	0.27
17	Humedad del producto	0.025	Agua en la cubierta (kg/h)	7	0.175	9	0.225
18	Tamaño del producto	0.025	Tamaño (m)	8	0.2	8	0.2
19	Desgastes	0.025	Vida explotativa (años)	9	0.225	8	0.2
20	Operación simple	0.025	Operación	9	0.225	9	0.225
21	Numero de rodillos	0.024	Cantidad	8	0.192	9	0.216
22	Requerimientos de potencia	0.02	kW, h.p.	7	0.14	8	0.16
Σ		1		176	8.115	185	9.527



Cuadro 4 Especificaciones de la máquina desespinaadora

Requisito	Requerimiento
Composición y requisitos	
D	Máquina móvil
D	Altura de recepción: 0.75-0.90m
D	Altura de descarga a la banda transportadora: 1.20m
D	Numero de arrancadores: 3
W	Alimentación, Selección y descarga automática
W	Color llamativo y atractivo
W	Elementos componentes comerciales de renombre y presencia comercial
W	Garantizar el intercambio de piezas y componentes.
W	Requisitos de protección para evitar la interferencia entre elementos.
Parámetros técnicos	
D	Productividad superior a 2 toneladas/hora
W	Obtener la tuna con índices de calidad aceptables sin presencia de ahuate u otra impureza.
D	Fuente energética: motores eléctricos de 1, 1.5 y $\frac{3}{4}$ de Hp.
W	Vida explotativa a 10 años de acuerdo con características obtenidas de máquinas similares.
W	Las operaciones de ajuste y calibración de forma manual.
W	La proyección de los elementos deberá de estar dispuestos de tal forma que no provoquen vibraciones y ruidos.
D	Se busca en todo momento que los elementos componentes tengan el mínimo rozamiento, sobre la superficie de apoyo.
Requisitos tecnológicos	
D	rodillos limpiadores :15 como mínimo
W	Inclinación de la línea de rodillos de limpieza: 15°-30°
W	Longitud de rodillos: 600-1000mm
D	Separación entre las cerdas de los rodillos superiores: 200-350mm
W	Separación entre las cerdas de rodillos superiores e inferiores: 20-30mm
D	Separación entre cerdas rodillos inferiores: 10mm.
W	Longitud de las cerdas de los rodillos superiores: 120mm.



Cuadro 5. Especificaciones de la máquina desespinaadora (Continuación...)

Requisito	Requerimiento
D	Longitud de cerdas rodillo inferior: 25mm.
D	Velocidad de rotación de rodillos superiores: 100-150 rpm.
D	Velocidad de rotación rodillos inferiores: 80-125 rpm.
W	Tipo de cerda: • Sintética de Nylon • Cerdas de crin de caballo
W	
D	Sistema de secado: Flujo de aire sin humedad.
W	Sistema de desalojamiento de ahuate: Mediante la acción del flujo del aire con sistema separador.
D	Sistema de selección, transporte y descarga: • Mediante banda transportadora, con selección manual, y dispositivos de descarga. • Mediante banda transportadora, con selección automática y descarga libre.
W	
	Condiciones de explotación.
D	Diámetro ecuatorial de la tuna: > 41mm de diámetro ecuatorial [6]
W	Humedad de la cubierta de la tuna: humedad de rocío sin llegar a ser agua condensada presente en forma de fluido líquido.
D	Tolva receptora volumen: mantenido entre 22-50 kg
D	Personal diestro en la alimentación, selección, y manejo del producto.
W	Características del producto: • Fuerza de adherencia del ahuate: 0.15-0.39 N. • Carga máxima a la compresión: 100-299 N • Masa específica: 1.06 g/cm³
W	
W	
	Índices económicos.
	Precio límite: \$200 mil pesos

2.8. Materialización del desarrollo tecnológico

De las alternativas de solución se sugiere como la más la que presenta elementos de trabajo compuesta por la combinación de diversas alternativas de



solución para establecer un desarrollo tecnológico aproximado para satisfacer la necesidad de los productores de tuna. La selección de la combinación es adecuada y esta compuesta por los siguientes elementos de trabajo.

- ◆ Tolva de recepción: Disposición articulada
- ◆ Sistema de secado: Flujos de aire descendente
- ◆ Generador de flujo de aire: Ventilador centrífugo y separador de partículas
- ◆ Sección de secado: Sistema pre-limpia de rodillos simples y/o aditamentos montados sobre sistema transportador.
- ◆ Disposición del sistema de secado: Parte superior.
- ◆ Sistema de limpieza: Rodillos simples, en este apartado se menciona la posibilidad en aplicar sistemas de rodillos simples colocados en aditamentos de transporte y rodillos superiores.
- ◆ Apoyo del sistema de limpieza: Rodillos superiores girando a una velocidad mayor, calibrados a distancia respecto a rodillos anteriores de tal manera de no causar impulso sobre la tuna.
- ◆ Sistema de selección: manual (proyectándose un sistema de selección automática).
- ◆ Sistema de transporte de la sección de selección: Banda transportadora dividida en secciones longitudinales. no obstante queda de antemano la proyección de bandas transportadoras con un ancho máximo de .40 m, con luminarias a una altura no mayor de la visión del operador a fin de no causar deslumbramientos.
- ◆ Sistema de descarga: Tolvas dispuestas en la parte final de la sección de selección (con sistema de amortiguaron de caída).

3. BANCO DE PRUEBAS DESHUMIDIFICADOR

3.1. Ensamble de los elementos mecánicos del prototipo

Para realizar la proyección del sistema se construyó un banco de prueba que consiste en tres matrices de 10, 30, 50 mm de espesor y 0.30 m de diámetro, estas matrices están confinadas entre dos placas perforadas de 3/16 in de diámetro de orificio separados 1/8 in, junto con superficies filtrantes de aire con 0.001m de



espesor, el conjunto es montado sobre el tonel (0.005 m de espesor, 0.30 m de diámetro, 0.015 m de estructura) junto al soporte de $2 \frac{3}{8}$ in y eje pivotante dispuesto al centro del soporte, dos toneles (0.30 m de diámetro, 0.10 m de espesor y 0.015 de estructura) llamados admisión y de vacío, en su parte media se coloca un PTR de 1 in, con perforaciones adecuadas para sujetar el eje pivotante del conjunto, (Ver figura 35). Los elementos de sellado consisten en cintas elásticas planas y configuración geométrica como el que se muestra en la figura 37, la disposición de estos elementos de sellado es entre la rueda deshumidificadora y los dos toneles tanto el de admisión como el de vacío. Los sellos planos se colocan sobre las placas divisoras de las secciones y la rueda deshumidificadora.



Figura 35. Banco de pruebas del deshumidificador

Mediante un motor que entrega 50 rpm y 75 rpm junto al sistema de transmisión y reducción (Figura 36), se logra el accionamiento de la rueda deshumidificadora, dentro de este sistema de transmisión se tienen dos elementos de 7 y 6 cambios de variación con la que amplía el rango de velocidad en la rueda deshumidificadora



Figura 36. Transmisión rueda deshumidificadora



Figura 37. Sello rueda deshumidificadora



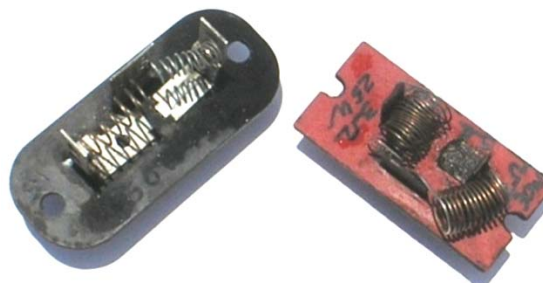
Figura 38. Componentes banco de pruebas

3.2. Ensamble circuito electrónico

En la figura anterior (Figura 38), también se muestra una resistencia de 927 W a 127 V $\pm 10\%$, se colocó a la entrada del tonel de admisión en la sección de regeneración sujeta con soportes aislantes al tonel de admisión y un Dimmer (600 W a 120 VAC/VCA 60 Hz) hace variar la resistencia eléctrica cambiando la temperatura del flujo de regeneración. Mediante un termómetro (DHP 40°C a 120 °C) se mide la temperatura del flujo antes mencionado, es colocado al interior del tonel de admisión entre la resistencia de regeneración y la rueda deshumidificadora. Los flujos de aire de deshumidificado y de regeneración son producidos por medio de ventiladores centrífugos accionados por una fuente de energía (12 V y 350 A) mantenida por un generador de corriente alterna y controlando el nivel de carga



mediante un circuito eléctrico. Por medio de resistores (Figura 39) se hace variar la velocidad angular de los motores variándose el caudal del aire que entrega el ventilador. Mediante el anemómetro de cazoletas manual se mide la velocidad del aire (m/s), y este es colocado a la salida de cada ventilador.



(50W 0.5Ω, 40W 1Ω, 30W 2Ω y 30W 2Ω, 25W 3Ω, 15W 5Ω)

Figura 39. Resistencias para variar potencia en ventiladores

3.3. Sistemas de monitoreo y adquisición de datos.

Por medio de un programa de adquisición de datos (Figura 40) donde se registran y almacenan los datos arrojados por el dispositivo TAI-8540 (Figura 41), basado en el sensor de humedad HIH-400 (Honeywell), mediante un convertidor 1-wire A/D se mantiene la conectividad al puerto USB de la computadora. El modulo también cuenta con un sensor de Temperatura. Los 3 módulos y el convertidor se conectan entre si en serie por medio de cable telefónico. Dos modulos son colocados a la salida de lo ventiladores tanto de regeneración como de deshumidificación y el ultimo se encuentra en contacto directo con el aire atmosférico.

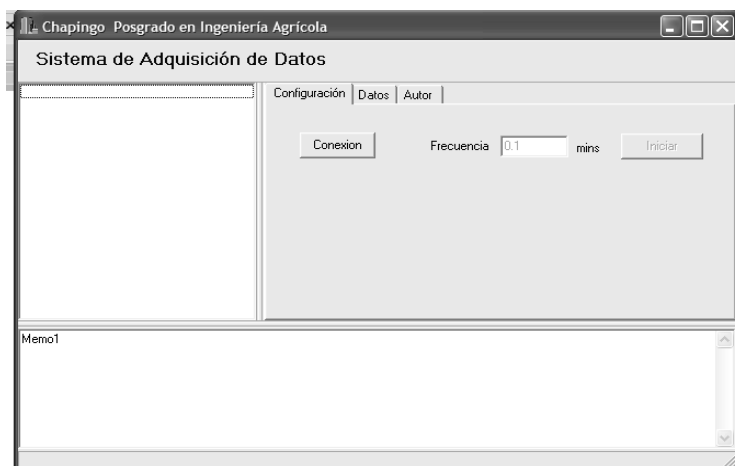


Figura 40. Sistema de adquisición de Datos



Figura 41. Sensor de Humedad relativa y temperatura



3.4. Material desecante

El material desecante utilizado en la rueda deshumidificadora es Silica gel en perlas blancas. Sus propiedades típicas de este desecante son provistas por el distribuidor Quimigel, S. A. de C.V., las cuales se presentan en el siguiente cuadro 6.

Cuadro 6. Propiedades típicas de la Silica gel en perlas blancas

Densidad de Masa	0.75-0.76 g/l
Área de superficie específica	700 m ² /g
Diámetro nominal del poro	2.0 mm
Volumen del poro	0.4 ml/g
pH (en suspensión al 10%)	5-6
Tamaño de partícula	3-5 mm
Humedad residual a 160 °C	3.5%
Capacidad de absorción de agua	
Humedad relativa (RH) 20 %	Más de 11.5
Humedad relativa (RH) 50 %	Más del 24
Humedad relativa (RH) 90 %	Más del 34.5
Composición química típica	
SiO ₂ (Dióxido de Silicio)	98.5%
Indicador de humedad	0.8%

Fuente: Quimigel S.A. de C.V.

Cabe mencionar que dentro de las propiedades antes mencionadas proporcionadas por el proveedor no hay relación con unidades manejadas en cuanto a la densidad de masa ya que en mediciones realizadas con el material desecante en peso y volumen resulta 820 g/l, resultando que las dimensiones referidas son gramos y centímetros cúbicos (g/cc). La cantidad contenida del material desecante en los toneles de las ruedas deshumidificadoras son: 710 g para el tonel de 1 cm de espesor, 2010 g para el tonel de 3 cm y 3300g para el tonel de 5 cm de espesor. Para el peso del material se utilizó una balanza electrónica marca TORREY clase III y para la determinación del volumen se utilizó una probeta graduada con capacidad de 1 l.



4. PRUEBA Y/O EVALUACIÓN EN LABORATORIO

4.1. Metodología de prueba

4.1.1. Caracterización del material de estudio

Se seleccionó un lote de tunas con características semejantes en cuanto a peso, madurez y color, este lote se dividió en tres grupos de 10 tunas con 4 repeticiones del experimento.

4.1.1.1. Nombre y variedad del cultivo

La variedad del cultivo es tuna blanca o alfajayucan (*opuntia amycleae*). Las tunas fueron colectadas en la zona de estudio (cerro de Paula, Temascalapa Estado de México).

Las características de la parcela son: alta pedregosidad, suelo delgado, relieve abrupto, la edad de la parcela es de 5 años.

La planta tiene una altura aproximada de 2 m en un marco de siembra de tresbolillo de 4 m x 3 m.

4.1.1.2. Dimensiones y grado de madurez

Cuadro 7. Propiedades físicas de la tuna blanca o “alfajayucan”(opuntia amycleae)

No	Propiedad	Promedio
1	Dimensiones , mm	
	Diámetro ecuatorial	55.74
	Diámetro polar	78.62
2	Masa, g	155.9
3	Densidad, g/cm ³	1.06
7	Daño por golpeadura, %	
	Superficie metálica (altura 25 cm)	33
	Superficie metálica (altura 50 cm)	66
	Superficie de hule (altura 50 y 100 cm)	0



La instrumentación empleada para determinar los parámetros principales del fruto son: Bascula electrónica marca Tor Rey clase III, para determinar el peso de los frutos.

El grado de madurez se determinó de manera visual tomando como referencia el llenado del fruto, un color amarillo claro. En el cuadro 7 se muestran los valores promedio obtenidos en el experimento.

4.1.1.3. Contenido de humedad de la cubierta del fruto

Este parámetro se determinó directamente en la parcela de prueba, donde se seleccionaron 20 tunas al azar, se marcaron y ubicaron en un croquis de localización dentro de la parcela, se les eliminaron las espinas sin llegar a ser cortadas de la planta un día antes de realizar el experimento. El día del experimento por un medio adsorbentes previamente pesado y contabilizadas cubrían las tunas adsorbiendo completamente el agua depositada en la cubierta, posteriormente las servilletas son colocadas en contenedores, para ser pesadas de nueva cuenta. Se realizaron 5 muestreos y al final del experimento las tunas fueron cosechadas y se les determinó sus propiedades físicas. En el cuadro 8 se muestran los valores promedio obtenidos en el experimento.

Cuadro 8. Contenido de agua en la cubierta de latuna

# de tunas	T °C ambiente	Cantidad de agua en la cubierta (g)	Fecha de muestra	Peso de las tunas (g)
20	15	4.87	12 de agosto 2007	2,857
20	15.8	4.52	13 de agosto 2007	
20	14.9	5.7	15 de agosto 2007	2,931
20	16	5.83	16 de agosto 2007	
20	15.53	5.03	18 de agosto 2007	

4.1.2. Prueba de secado

Para validar el experimento se compararon 3 métodos de secado, en los cuales se determinaron los siguientes parámetros: Tiempo de secado, temperatura del bulbo seco, temperatura del bulbo húmedo, velocidad del aire y humedad relativa.



4.1.2.1. Secador con aire caliente

En el banco de pruebas se montó un ventilador centrífugo, en la succión de este se colocó una resistencia eléctrica (927 W a 127 V $\pm 10\%$). Con la ayuda de un termómetro (marca dhp) se determinó la temperatura del aire caliente a la salida del ventilador centrífugo y controlada mediante el dimmer (600 W a 120 VAC/VCA 60 Hz). Con un anemómetro se determinó la velocidad del aire y se igualó con relación al método de secado tradicional (6 m/s) de la máquina de la Finca Otumba.

Obtenidos los regímenes de trabajo (temperatura de trabajo y velocidad del aire), las tunas húmedas son colocadas en un dispositivo de agitación (Figura 42) ubicado a la salida del conducto del ventilador donde se hacen girar continuamente a 60 rpm.

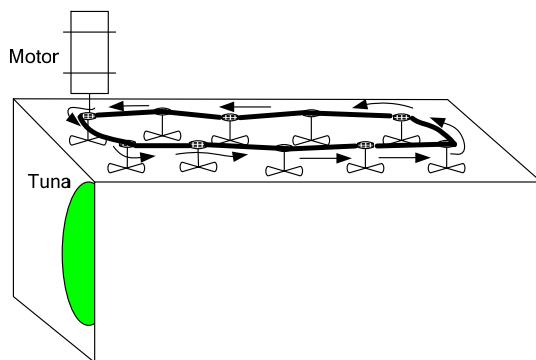


Figura 42. Dispositivo de soporte y rotación de la tuna

Se determinó el tiempo de secado para cuando las espigas y ahuates son desprendidos por la fricción de las cerdas de una brocha de 1 pulgada de ancho.

4.1.2.2. Secado por deshumidificación de aire

Se tienen tres ruedas deshumidificadoras de 1 cm, 3 cm y 5 cm de espesor. La cantidad contenida de material desecante en las ruedas deshumidificadoras son: 710 g para 1 cm, 2010 g para el de 3 cm y 3300 g para el de 5 cm de espesor respectivamente. La velocidad angular de las ruedas deshumidificadoras, la temperatura del aire de regeneración y caudales de aire de regeneración y de deshumidificación son las variables que se ajustaran continuamente hasta encontrar el rendimiento máximo en cuanto al contenido de agua en el aire deshumidificado.



Las tunas húmedas son colocadas en el dispositivo de agitado (Figura 42) que se encuentra a la salida del aire deshumidificado, que girar a 60 rpm.

Se determinó el tiempo de secado del fruto para cuando las espigas y ahuates son desprendidos por la fricción de las cerdas de una brocha de 1 pulgada de ancho.

4.1.2.3. Secado con aire en condiciones naturales

Se utilizó el banco del secado de aire caliente del cual no se activo la resistencia, los parámetros de trabajo son los mismos y se determino el tiempo de secado de manera análoga a este.

4.1.2.4. Prueba de vida de anaquel del producto

Para la determinación de este parámetro se toman las tunas provenientes de cada método de secado y mediante el dispositivo impactador (Figura 43) que se muestra en la figura siguiente se le provocan daños no aparentes a simple vista, las tunas son almacenadas en condiciones ambientales colocadas en posición vertical, tomando como base la corona de la tuna. Cada 24 horas se examinaron los cambios presentes en el producto tomando como criterios el cambio de coloración en la zona afectada, cambios en la estructura de la cubierta de la tuna como son: arrugamientos e incidencia de puntos de coloración rojiza.

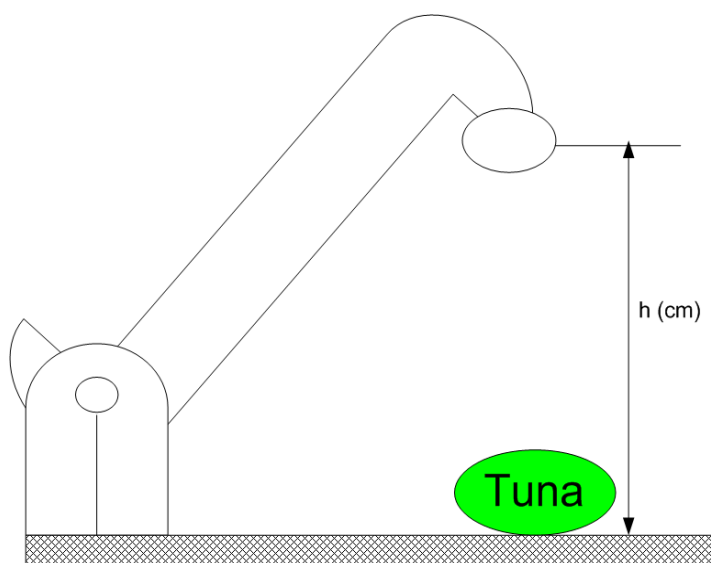


Figura 43. Dispositivo impactador



4.2. Resultados de las pruebas

De la máquina desespinaadora de la Finca Otumba se obtiene los principales parámetros (figura 44), como son velocidad y caudal del aire para realizar las pruebas al banco de secado tradicional (aire caliente y atmosférico).

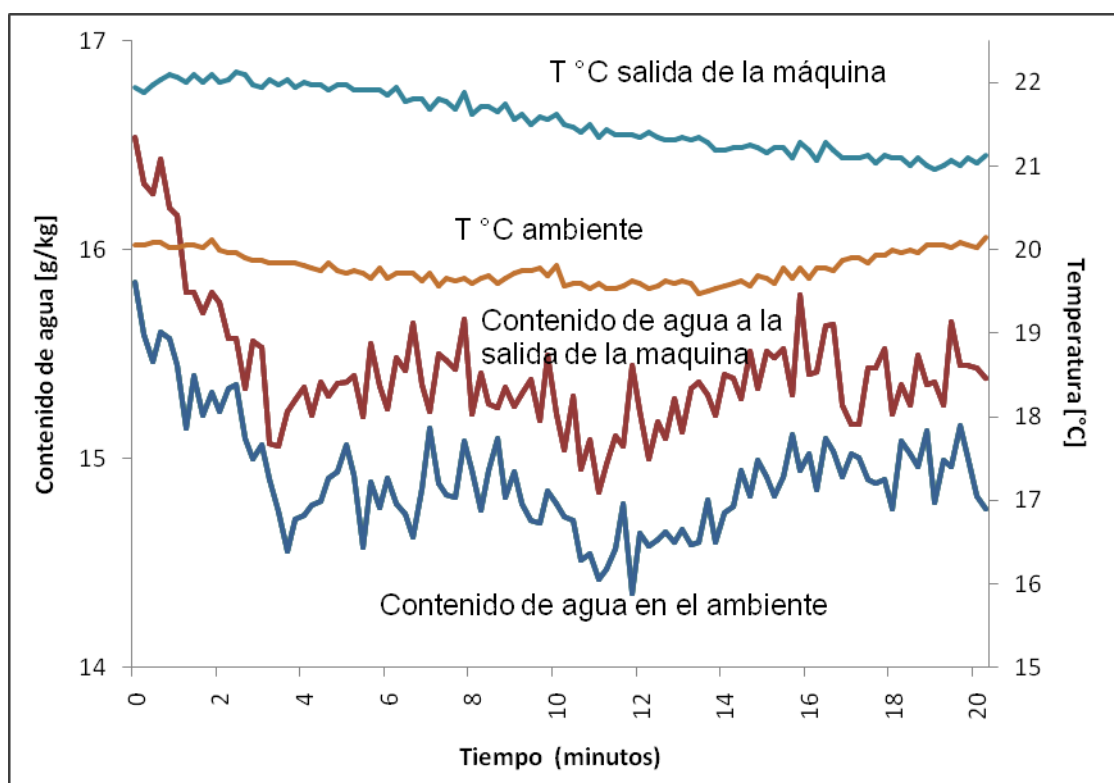


Figura 44. Sistema de secado, máquina Finca Otumba.

4.1.1. Secado por aire caliente

Los tiempos de secado en minutos obtenidos durante los ensayos se presentan en el cuadro 9 a una temperatura de 60 °C y una velocidad del aire de 6 m/s.

Cuadro 9. Tiempo (minutos) de secado con aire caliente

Tipo de secado	Numero de ensayo				$\bar{X}$	σ	C.V.
	1	2	3	4			
Aire caliente	2.87	3.01	2.91	3.5	3.07	0.29101833	0.09



4.1.2. Secado por deshumidificación de aire

A continuación se presentan los resultados para obtener las configuraciones geométricas y parámetros de funcionamiento del sistema deshumidificador de aire que permita llevar a cabo el experimento de secado.

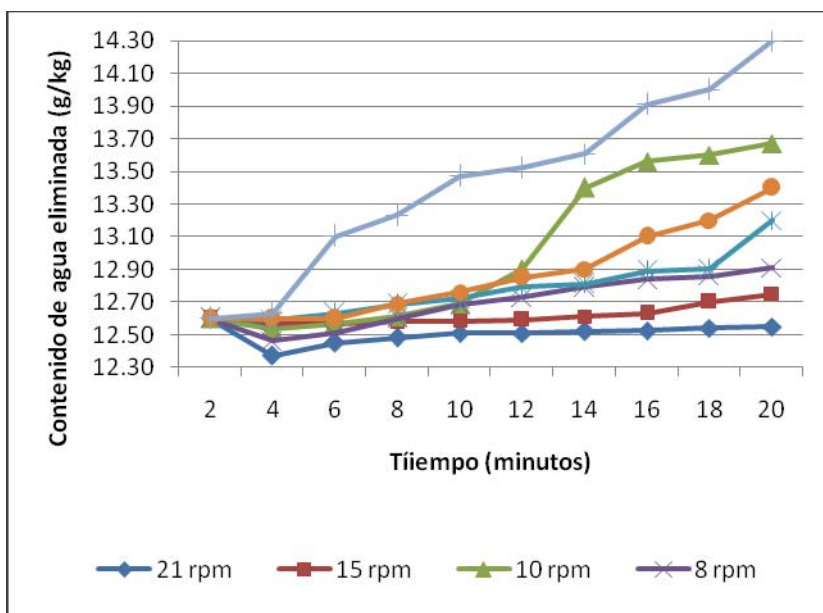
Del banco de pruebas (Figura 45), se presentan la figura 46 de acuerdo con la matriz de 1 cm de espesor que contiene 710 g de material desecante, los parámetros de variación son referidos al giro de la rueda deshumidificadora (21 a 3.33 rpm) y una temperatura de regeneración con la máxima potencia ofrecida por la resistencia eléctrica y una velocidad del aire a la salida de la deshumidificación de 6.5 m/s y de 6.3 m/s en la regeneración.

El ensayo inició con la velocidad de 21 rpm y culminó con 3.33 rpm, no obstante la tensión de vapor de la regeneración y deshumidificación se encontró por encima del contenido de humedad en el ambiente. La temperatura a la salida de la deshumidificación se encontró en 55 °C y 62 °C, con un rango de variación de la temperatura de regeneración desde 80 a 110 °C.

Esta matriz no garantiza la deshumidificación de acuerdo con los parámetros mínimos y máximos de operación del ventilador y la resistencia eléctrica.



Figura 45. Banco de prueba del deshumidificador



**Figura 46. Rueda deshumidificadora de 1 cm de espesor
 $V=6\text{ m/s}$ y $T=100^{\circ}\text{C}$**

En la figura 46 se muestra el efecto de la velocidad angular de la rueda deshumidificadora, representándose una mayor eliminación de agua a velocidades bajas, caso contrario al efecto de una alta velocidad debido a las cargas latentes y sensibles de la sílica gel.

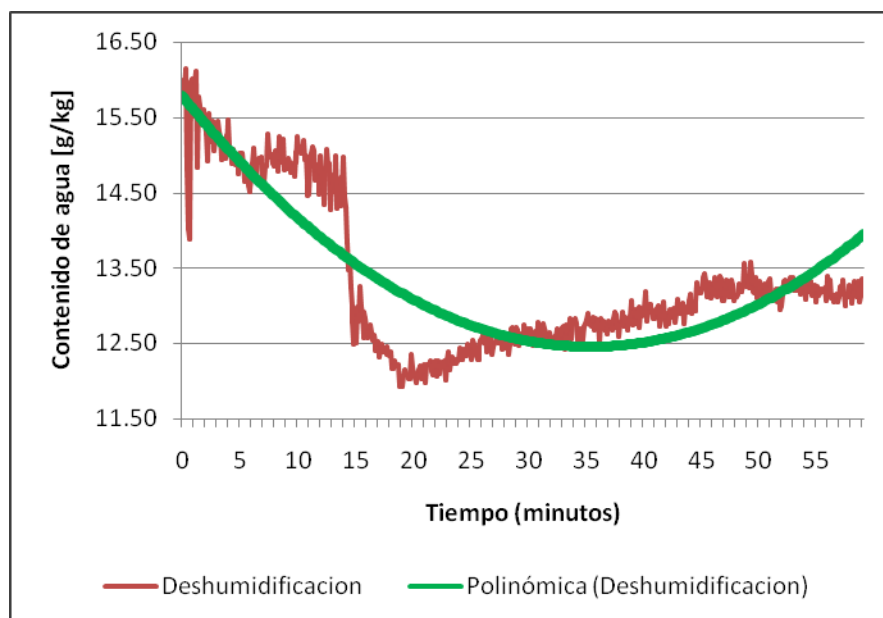


Figura 47. Regeneración y saturación de la rueda deshumidificadora.



De la figura 47 se observa que al transcurrir el tiempo en la regeneracion existe una disminucion marcada en la regeneracion, ocasionando una caída súbita en el contenido de agua, a partir de este punto existe la tendencia a aumentar el nivel de contenido de agua hasta estabilizarse y no tender al aumento a los niveles iniciales. De lo anterior se concluye que se necesitan 33 minutos hasta el punto de saturacion, calculandose una velocidad angular de la rueda deshumidificadora de 1.1rph (revoluciones por hora), con una velocidad en el aire deshumidificado de 6 m/s y 6.5 m/s en la regeneración.

Un ensayo adicional se realizó para encontrar el comportamiento del sistema cuando el aire de regeneración es sometido a altas temperaturas arriba de 100 °C, (Figura 48). Pudiéndose rescatar del experimento la falla de trabajo de la resistencia eléctrica de la regeneración en un lapso de tiempo corto durante el desarrollo de este, descubriéndose accidentalmente que se requieren temperaturas de trabajo en la regeneración por debajo de los 100 °C.

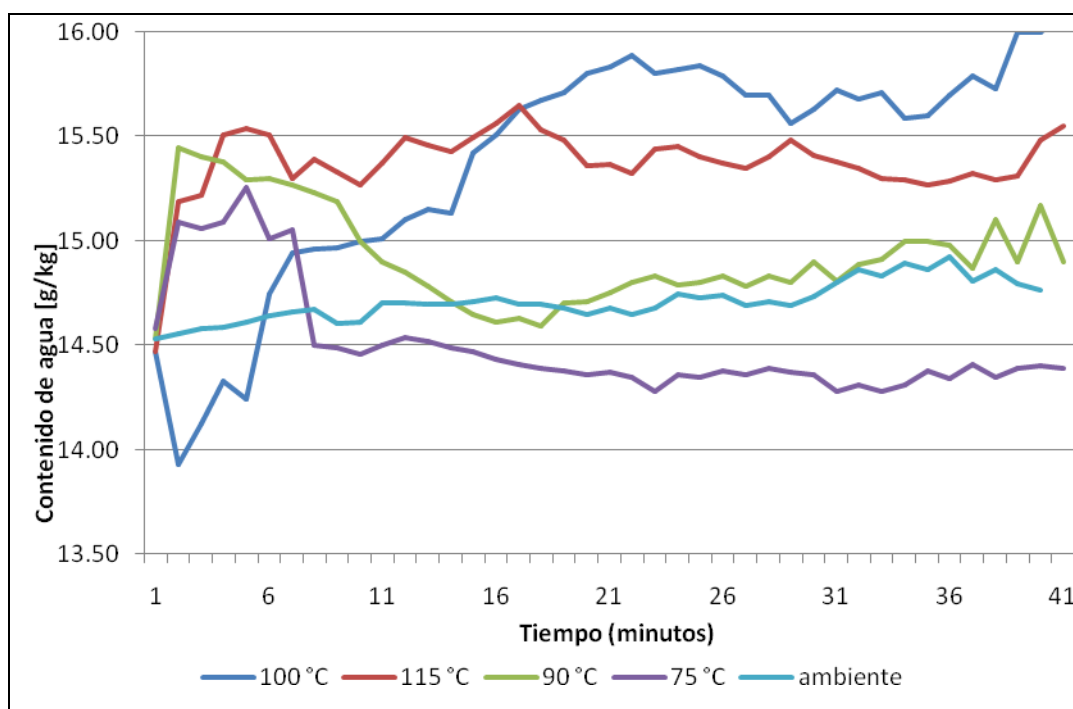


Figura 48. Rueda deshumidificadora sometida a diferentes temperaturas de regeneración V= 6.5 m/s y 35 rph

En cuanto a la evaluación de la rueda deshumidificadora de 3 cm de espesor en el banco de pruebas, el rendimiento máximo obtenido en cuanto a la eliminación



de agua en el aire se muestra en la figura 49. El contenido de material desecante dentro de la rueda deshumidificadora es de 2010 g. De la figura 50 se observa que la regeneración del material desecante ocurre a los 5 minutos. A partir de este momento la tensión de vapor de deshumidificación disminuye mientras que el de regeneración aumenta. El sistema trabaja por encima de las 23 rph, con una temperatura de trabajo en la regeneración de 93 °C y temperaturas del aire deshumidificado de 57 °C.

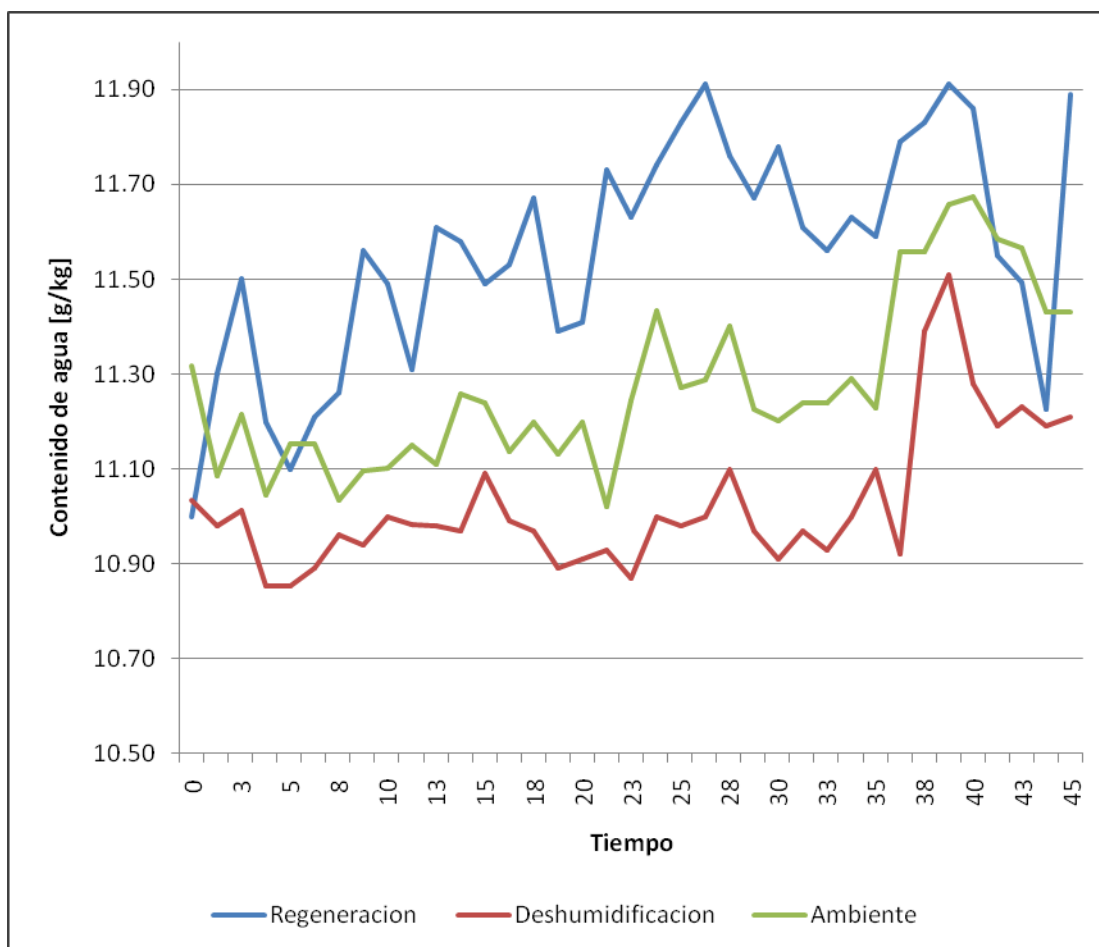


Figura 49. Rendimiento máximo obtenido de la rueda deshumidificadora de 3 cm de espesor, $T_r = 93^\circ\text{C}$ y $V_{\text{aire de regeneración}} = 6 \text{ m/s}$

En cuanto a la evaluación de la rueda deshumidificadora de 5 cm de espesor en el banco de pruebas, el rendimiento máximo obtenido en cuanto a la eliminación de agua en el aire se muestra en la figura 50. Las velocidades de los flujos de aire se encuentran en 5.5 m/s de aire deshumidificado y de 5 m/s del aire de regeneración y



de 3 rph de velocidad angular de la rueda deshumidificadora, cabe mencionar la igualdad en las secciones expuestas a los flujos de de aire tratado.

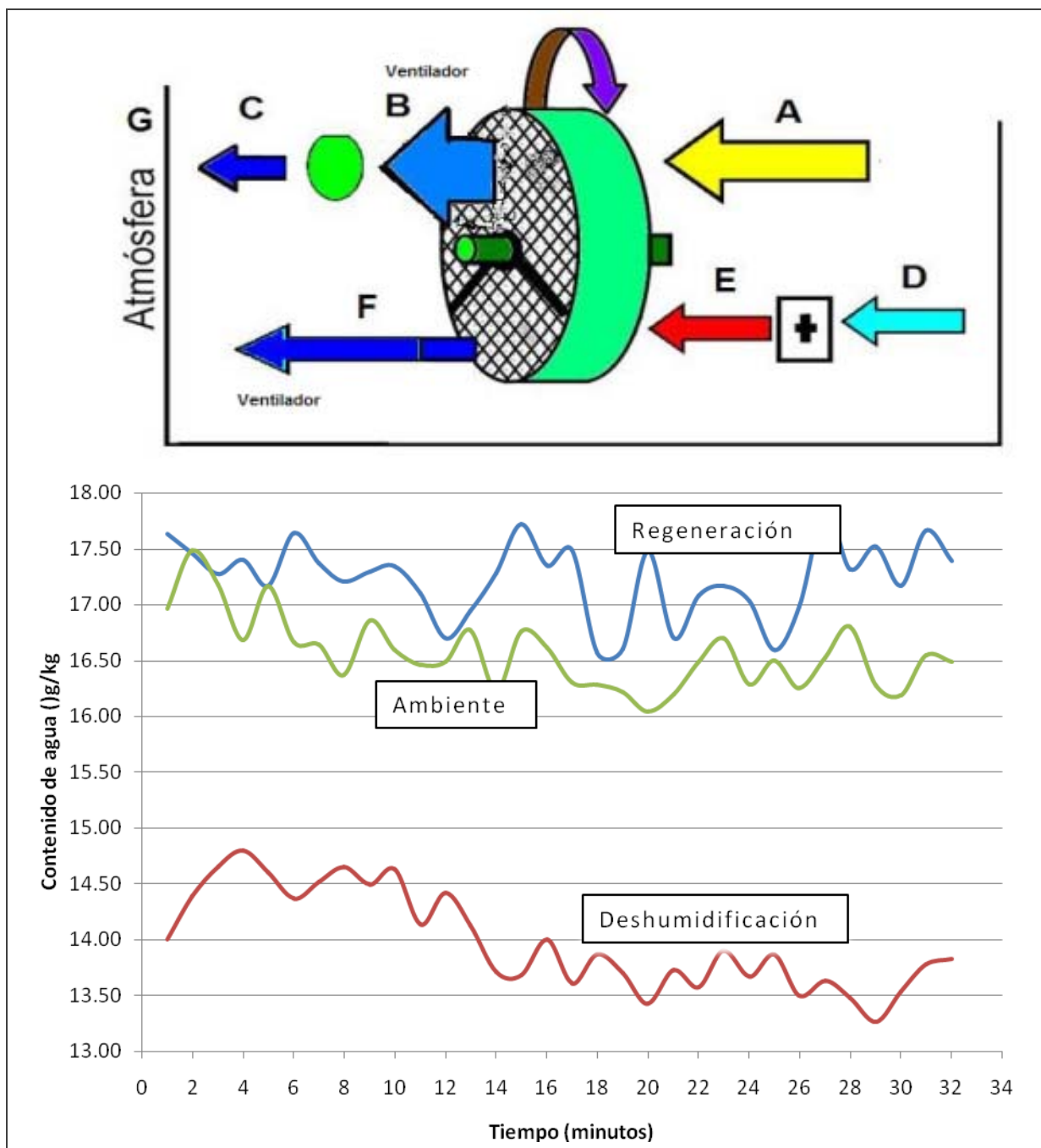


Figura 50. Rueda deshumidificadora de 5 cm de espesor

En la figura 50 se muestran las curvas en el que se obtuvo el mayor rendimiento, de agua eliminada de 3 g/kg por cada kg de aire procesado. La toma de datos se



realizó cada 30 segundos. La temperatura de trabajo de la regeneración es de 75 °C. El sistema es capaz de procesar 178 m³/h a una velocidad de 5.5 m/s y eliminar 640 g de agua con una temperatura del aire deshumidificado de 30 a 33 °C, muy por debajo del sistema de secado por calor aplicado en máquinas desespadoras. La temperatura del aire en condiciones naturales durante el periodo de prueba es de 25 °C y una humedad relativa del 47 %. En el cuadro 10 se muestran los tiempos de secado utilizando aire deshumidificado en las condiciones anteriormente mencionadas.

Cuadro 10. Tiempo de secado con aire deshumidificado

Tipo de secado	Número de ensayo				$\bar{X}$	σ	C.V.
	1	2	3	4			
aire deshumidificado	4.89	4.76	5.15	4.92	4.93	0.162	0.033

4.1.3. Secado por aire en condiciones ambientales.

Los tiempos de secado en minutos obtenidos durante los ensayos de secado utilizando aire a una velocidad de 6 m/s y en condiciones atmosféricas a una temperatura de 23 °C y una humedad relativa del 46 % se presentan en el cuadro 11.

Cuadro 11. Tiempo de secado con aire en condiciones ambientales

Tipo de secado	Número de ensayo				$\bar{X}$	σ	C.V.
	1	2	3	4			
aire en condiciones ambientales	8.11	7.89	7.67	7.51	7.80	0.262	0.034

4.1.4. Vida de anaquel de la tuna

En el cuadro 11 se presenta un resumen de la vida de anaquel de la tuna (días) en los diferentes métodos de secado de los cuales se obtuvo la media, desviación estándar y el coeficiente de variación. Los criterios a considerar para el fruto dañado



son: coloración en la zona dañada por el dispositivo impactador, textura, consistencia y cambio de pigmentación en general del fruto.

Cuadro 12. Vida de anaquel de la tuna (días)

Tipo de secado		Numero de ensayo			
		1	2	3	4
Aire Caliente	$\bar{X}$	3.3	3.2	3.2	3.4
	σ	0.674	0.632	0.632	0.516
	C.V.	0.205	0.197	0.198	0.152
deshumidificado	$\bar{X}$	4.9	4.8	4.4	4.9
	σ	0.994	0.919	1.174	0.876
	C.V.	0.203	0.191	0.2668	0.179
Aire en condiciones ambientales	$\bar{X}$	5.1	5	4.6	5
	σ	0.994	0.943	1.075	0.943
	C.V.	0.195	0.186	0.234	0.189

4.3. Analisis de resultados

4.3.1. Contenido de humedad en la cubierta de la tuna.

De acuerdo con el estudio realizado en cuanto a contenido de agua que existe en la cubierta de las tunas se encontró que en 20 tunas existe 5.7 g de agua sin existir diferencia significativa en 5 muestreos realizados, en correlación con el rendimiento de las maquinas desespadoras de 1,2000 kg/h se han de eliminar 2,115 g de agua, este hecho se presenta de forma ideal si no se pierde agua en la manipulación de las tunas.

4.3.2. Sistemas de secado.

De los sistemas evaluados (Cuadro 8 y 9) el que muestra un coeficiente de variación más amplio es el sistema que funciona con aire caliente, teniendo una diferencia de 1.86 minutos entre el sistema de aire caliente y el de aire



deshumidificado. En el sistema de aire deshumidificado obtuvo un tiempo de secado de 4.93 minutos. Con respecto al secado del aire en condiciones naturales hubo una disminución de 2.87 minutos en el tiempo de secado. En el sistema por deshumidificación se obtuvo una velocidad del aire de 5.5 m/s.

El parámetro que diferencia a los sistemas de secado es la intensidad del brillo en la cubierta de la tuna, sobre todo en el secado por aire caliente.

4.3.3. Vida de anaquel de la tuna

En la figura 51 se muestra la curva de distribución de la vida de anaquel de la tuna (días), en la que se observan que los coeficientes de variación se mantienen constantes. Existe una diferencia significativa entre los tratamientos sistema de aire deshumidificado y aire caliente en cuanto al tiempo de secado de 1.6 días y entre este y el aire en condiciones ambientales de 1.8 días.

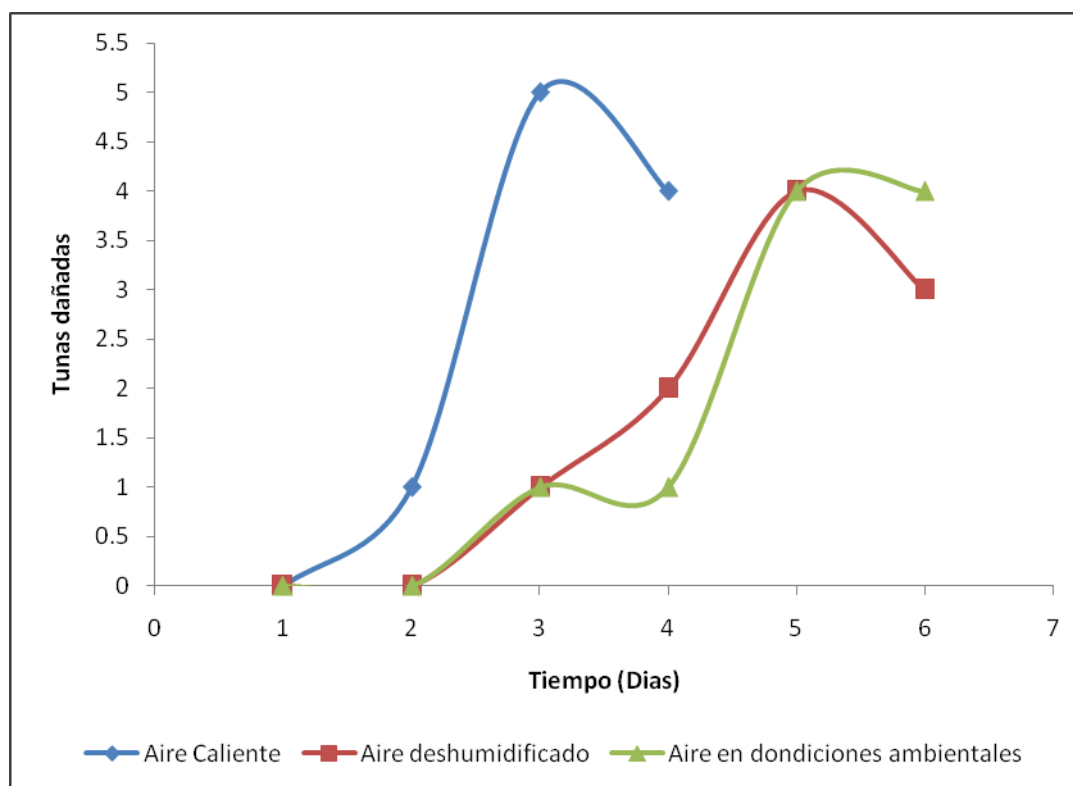


Figura 51. Distribución de la vida de anaquel de la tuna



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El nivel tecnológico presente en la zona de producción del municipio de Temascalapa Estado de México a pesar de encontrarse en la zona de producción más relevante a nivel nacional, se encuentra retraído, presentando bajos niveles y avances tecnológicos respecto al desespinado, empaque y logística en el proceso de cosecha.
2. Los parámetros de trabajo del sistema deshumidificador son: velocidad angular de la rueda deshumidificadora de 3 rph, velocidad del aire de regeneración de 5 m/s (temperatura de 75 °C), velocidad del aire deshumidificado de 5.5 m/s (temperatura entre 30 y 33 °C), el sistema es capaz de procesar 178 m³/h y eliminar 640 g de agua. La rueda deshumidificadora tiene un espesor de 5 cm y contiene 3 300 g de material desecante.
3. La aplicación de la rueda deshumidificadora en el acondicionamiento de aire para el secado de tuna es una alternativa prometedora de acuerdo con los datos experimentales, se obtuvo un aumento en la vida de anaquel de 1.6 días con respecto al tratamiento por aire caliente y una reducción en el tiempo de secado con respecto al tratamiento de secado por aire en condiciones ambientales de 3 minutos.
4. Aplicar el sistema de secado por deshumidificación en condiciones de explotación reales permitirá la reducción del tamaño en las máquinas desespadoras, ventaja significativa ya que permitirá la movilidad de la máquina disminuyendo maniobras y costos en la producción.
5. Se recomienda planear el sistema de separación y limpieza en cuanto al principio de soporte y transporte (Figura 52), apoyados con un sistema superior en la limpieza y pulido, para disminuir daños a la tuna.

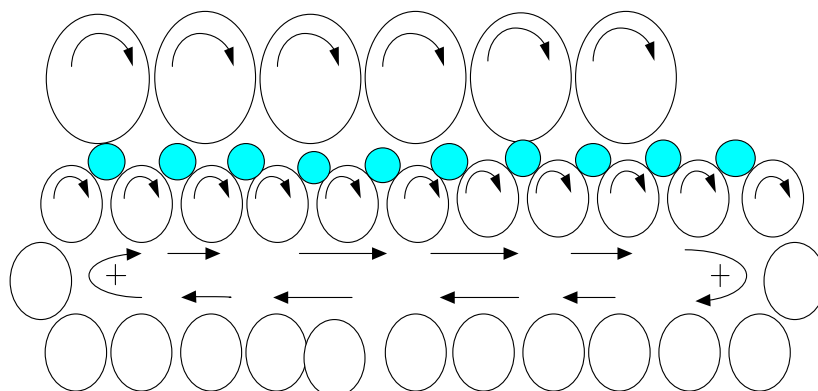


Figura 52. Sistema de limpieza basado en el soporte y transporte

6. Se recomienda que el aire deshumidificado sea distribuido en la parte superior de la sección destinada al secado y mediante un extractor ubicado en la parte inferior evitar la concentración de humedad y la dispersión de la espina y ahuate en el ambiente (Figura 53).

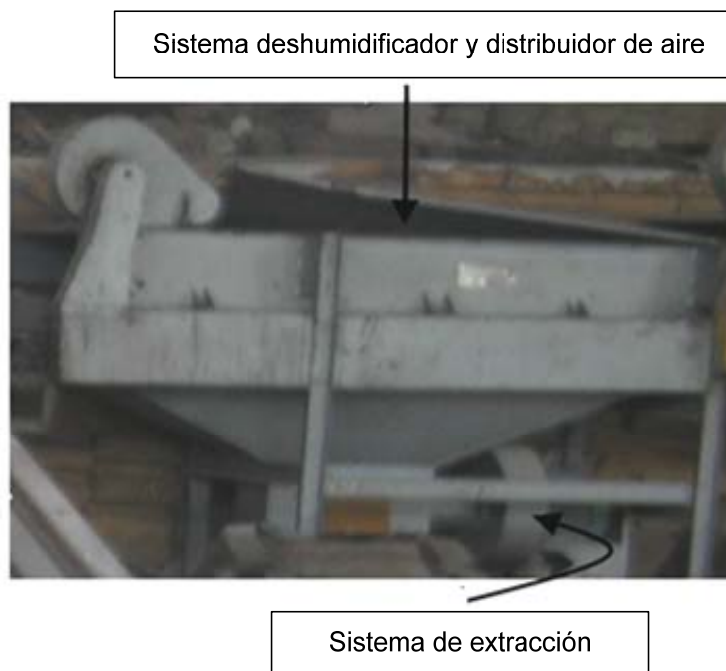


Figura 53. Aplicación del sistema por deshumidificación en máquina desespadoras



BIBLIOGRAFÍA

1. Adame Z. M, Avila C. 1995. Complementación del diseño de un equipo para separar el ahuate de la tuna. Tesis profesional. Chapingo México.
2. ASHRAE, 2000. Handbook, HVAC Systems and Equipment. Atlanta, ASHRAE
3. Builes, D. et. al. 2004. Acondicionamiento de aire utilizando ruedas deshumidificadoras. Instituto de Energía y Termodinámica. Universidad Pontificia Bolivariana. Revista Información Tecnológica, Vol. 15 N° 5, págs.:103-110
4. Bula S. A., Juvinao J. 2004. Comportamiento del Gel de Sílice como filtro deshumidificador en sistemas de acondicionamiento de aire por compresión de vapor. Revista Facultad de Antioquia, Junio, N° 031. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.
5. Cantwell, M. 1999. Manejo postcosecha de tunas y nopalitos. pp. 126-143. In: G. Barbera, P. Inglese y E. Pimienta, eds. Agroecología, cultivo y usos del nopal. *Estudio FAO Producción y Protección Vegetal*, 132. Roma.
6. Chavez E. R. 1997. Muños M. Construcción de un equipo para separar el ahuate de la tuna. Tesis profesional. Chapingo México.
7. CONAZA, 1992. *El nopal tunero*. (Mimeografiado). Saltillo, Coah. México.
8. Estrada C. E. 2000 Evaluación de máquinas desespadoras de Tuna (*Opuntia Spp*) en la región centro-norte de México. Tesis profesional. Chapingo México
9. García T. G. 2006 Comunicado 0820. Teotihuacán, Estado de México.
10. López G. G. 1996. Manual de Practicas de Manejo Postcosecha de los productos Hortícolas a Pequeña Escala (traducción). Series de Horticultura



Postcosecha N°. 8S, January, 1996. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México.

11. Martina, P. *et al.* 2000. Algunos ensayos sobre la regeneración de silica gel y sus aplicaciones de secado del aire. Universidad de Nordeste. Chaco, Argentina.
12. Martínez, S. *et al.* 1999. Evaluación de la vida de anaquel de tuna (*Opuntia ficus-indica*). pp. 26-27. *In*: Memoria VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento de el nopal. San Luis Potosí. México
13. Mujumdar, S. 2000. Handbook of industrial Drying. Marcel Dekker. Inc, E.U.A.
14. Pita G. E. 2000. Acondicionamiento de aire principios y sistemas. 2^{da} Ed. México.
15. Rios R. J., Quintana M. 2004 Manejo General Del Cultivo Del Nopal. COLEGIO DE POSTGRADUADOS. Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas México-Puebla-San Luis Potosí-Tabasco-Veracruz-Córdoba. Secretaria De La Reforma Agraria. Diciembre.
16. Sáenz C, *et al.* 2006. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 162. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.
17. SAGARPA. 1999. Sistema de Información Agrícola y Pesquera SIAP. Mexico D.F.
18. Sánchez P. R. 2002. Deshumidificación y Enfriamiento. Universidad de Guadalajara, Jalisco, México.
19. Sudzuki, F., Muñoz, C y Berger, H. 1993. El cultivo de la tuna (Cactus Pear). Departamento de Reproducción Agrícola. Universidad de Chile.
20. Valde F. *et al.* 1995. Mercado Mundial de la tuna. Chapingo México.