



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DE UN SECADOR DE BANDEJAS PARA LA
DESHIDRATACIÓN DEL PLÁTANO (*Musa aab*) EN LA EMPRESA
LA MOLIENDA “SAN LUIS”**

Trabajo de Integración curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: BRAYAN STALIN NONO YUQUILEMA

DIRECTORA: Ing. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA, Msc.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, **Brayan Stalin Nono Yuquilema**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Brayan Stalin Nono Yuquilema, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 22 de noviembre de 2023




Brayan Stalin Nono Yuquilema

C. I: 060582103-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UN SECADOR DE BANDEJAS PARA LA DESHIDRATACIÓN DEL PLÁTANO (*Musa aab*) EN LA EMPRESA LA MOLIENDA “SAN LUIS”**, realizado por el señor: **BRAYAN STALIN NONO YUQUILEMA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Camilo Pavel Haro Barroso, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-11-22
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinuesa, Mgs. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-11-22
Ing. Cesar Arturo Puente Guijarro, PhD. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-11-22

DEDICATORIA

A Dios

Porque tu mejor que nadie conoce mi vida, mi corazón, mis luchas y mis anhelos, sé que todo lo bueno que hay en mi vida y en este mundo provienen de ti, hoy miro atrás y tengo tanto que agradecerte en cada paso que daba estabas tú Dios motivándome a seguir adelante a pesar de mis caídas y fracasos nunca me abandonaste.

Brayan

AGRADECIMIENTO

A mis padres Miguel e Aniceta por su apoyo emocional, económico y consejo continuo, a mis hermanos por sus buenos deseos con especial agradecimiento a mi hermano mayor Maicol y su esposa quien con su bondad y trabajo duro me brindaron su apoyo, a mis compañeros de clase y amigos por su colaboración y amistad ya que hicieron de esta etapa de mi vida una experiencia que recordare el resto de mi vida y a mi tutor y asesor del Trabajo de Integración Curricular por haberme guiado y brindado sus conocimientos.

Brayan

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del Problema.....	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes de investigación.....	5
2.2. Referencias, teóricas.....	6
2.2.1. <i>Origen y distribución histórica del plátano</i>	6
2.2.2. <i>Taxonomía del plátano</i>	7
2.2.3. <i>Clasificación de las especies de plátano y banano</i>	7
2.2.4. <i>Características bioquímicas del plátano</i>	8
2.2.4.1. <i>Agua</i>	8
2.2.4.2. <i>Carbohidratos</i>	9
2.2.4.3. <i>Pigmentos</i>	9
2.2.4.4. <i>Compuestos aromáticos</i>	9
2.2.4.5. <i>Fenoles</i>	10
2.2.4.6. <i>Pectinas</i>	10
2.2.4.7. <i>Lípidos</i>	10
2.2.4.8. <i>Proteínas</i>	10
2.2.4.9. <i>Otros constituyentes</i>	11

2.2.5.	Valor nutricional del plátano	11
2.2.6.	Secado	12
2.2.6.1.	Importancia del secado	12
2.2.6.2.	Factores que actúan en el proceso de secado.	13
2.2.6.3.	Mecanismo del secado	14
2.2.6.4.	Métodos generales de secado	14
2.2.7.	Humedad	15
2.2.7.1.	Base seca	15
2.2.7.2.	Base húmeda	15
2.2.7.3.	Humedad de equilibrio	15
2.2.7.4.	Humedad libre	16
2.2.7.5.	Humedad Ligada	16
2.2.7.6.	Humedad desligada	16
2.2.7.7.	Humedad Crítica	16
2.2.8.	Cinética de secado	17
2.2.8.1.	Velocidad del periodo antecrítico (W_c)	18
2.2.8.2.	Velocidad del periodo poscrítico (WD)	19
2.2.8.3.	Tiempo de secado en el periodo antecrítico (θ_a)	19
2.2.8.4.	Tiempo de secado en el periodo poscrítico (θ_p)	20
2.2.8.5.	Cálculo del tiempo total (θ_T)	21
2.2.9.	Secador de bandejas	22
2.2.9.1.	Configuración básica	23
2.2.9.2.	Transferencia de calor	24
2.2.9.3.	Ventajas	25
2.2.10.	Diseño	25

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	27
3.1.	Localización del proyecto	27
3.2.	Ingeniería del proyecto	28
3.2.1.	Tipo de proyecto	28
3.2.2.	Técnicas	29
3.2.3.	Muestreo	29
3.3.	Caracterización de la materia prima	29
3.3.1.	Caracterización física de la materia prima	29
3.4.	Simulación del proceso de secado para el plátano	33

3.5.	Proceso a nivel de laboratorio	34
3.5.1.	<i>Recepción de la materia prima</i>	35
3.5.2.	<i>Pelado</i>	35
3.5.3.	<i>Picado</i>	35
3.5.4.	<i>Pesado</i>	36
3.5.5.	<i>Secado</i>	36
3.5.5.1.	<i>Balance de masa en el secado.</i>	36
3.6.	Datos experimentales del proceso de secado del plátano.	37
3.6.1.	<i>Determinación de la Humedad de base seca</i>	38
3.6.2.	<i>Determinación de la Humedad media</i>	40
3.6.3.	<i>Determinación de la Variación del tiempo</i>	41
3.6.4.	<i>Determinación de la Velocidad de secado</i>	43
3.6.5.	<i>Determinación de la Velocidad antecrítica gráfica</i>	48
3.6.6.	<i>Determinación de la velocidad antecrítica analítica</i>	49
3.6.7.	<i>Determinación de la Velocidad poscrítica</i>	49
3.6.8.	<i>Determinación del Tiempo antecrítico</i>	49
3.6.9.	<i>Determinación del Tiempo poscrítico gráfico</i>	49
3.6.10.	<i>Determinación del Tiempo poscrítico analítico</i>	50
3.6.11.	<i>Determinación del Tiempo total de secado.</i>	51
3.7.	Balance de energía.	51
3.7.1.	<i>Constante de calorimetría</i>	51
3.7.2.	<i>Capacidad específica del plátano.</i>	52
3.7.3.	<i>Flujo de calor del proceso</i>	52
3.7.4.	<i>Caracterización fisicoquímica del plátano deshidratado en forma de harina.</i>	53
3.8.	Dimensionamiento.	58
3.8.1.	<i>Determinación de la Carga del sólido en las bandejas</i>	59
3.8.2.	<i>Determinación del Área total de las bandejas</i>	59
3.8.2.1.	<i>Determinación del Área para una bandeja.</i>	60
3.8.3.	<i>Determinación del Espesor de las bandejas</i>	60
3.8.4.	<i>Determinación del Volumen de las bandejas</i>	61
3.8.5.	<i>Determinación de la Masa de las bandejas</i>	63
3.8.6.	<i>Determinación de la Altura de la cámara interna</i>	63
3.8.7.	<i>Determinación del Área de la cámara interna</i>	64
3.8.8.	<i>Determinación del Volumen de la cámara interna</i>	64
3.8.9.	<i>Determinación de la Longitud en la cámara externa</i>	64
3.8.10.	<i>Determinación del Ancho de la cámara externa</i>	65
3.8.11.	<i>Determinación de la Altura de la cámara externa</i>	65

3.8.12.	<i>Determinación del Área de la cámara externa</i>	65
3.8.13.	<i>Determinación del Volumen de la cámara externa</i>	66
3.9.	Cálculos de ingeniería	66
3.9.1.	<i>Determinación del Calor necesario para calentar el sólido en el secador</i>	66
3.9.2.	<i>Determinación de la cantidad de energía eléctrica</i>	67
3.9.3.	<i>Determinación de la Potencia de la resistencia</i>	67
3.9.4.	<i>Determinación de la Resistencia convección al desprenderse vapor de agua del material a secar</i>	67
3.9.5.	<i>Determinación de la Resistencia a la conducción del acero</i>	68
3.9.6.	<i>Determinación de la resistencia a la conducción aislante térmico lana de vidrio</i> ...	68
3.9.7.	<i>Determinación de la Velocidad de transferencia de calor (1-2)</i>	68
3.9.8.	<i>Determinación de la Velocidad de transferencia de calor (1-3v)</i>	69
3.9.9.	<i>Determinación del Calor útil</i>	69
3.10.	Validación económica para la producción industrial plátano deshidratado en forma de harina	69
3.10.1.	<i>Inversión fija</i>	70
3.10.2.	<i>Determinación de egresos</i>	71
3.10.3.	<i>Costos totales de inversión fija y egresos</i>	72
3.10.4.	<i>Determinación de ingresos anuales</i>	72
3.10.4.1.	<i>Costos de producción por unidad producida</i>	72
3.10.4.2.	<i>Precio de venta unitario al público</i>	73
3.10.5.	Cálculo de la viabilidad del proyecto	73
3.10.5.1.	<i>Valor Actual Neto (VAN)</i>	73
3.10.5.2.	<i>Tasa Interna de Retorno</i>	74
3.10.5.3.	<i>Periodo de recuperación (PDR)</i>	75

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	76
4.1.	Resultados de la caracterización de la materia prima	76
4.1.1.	<i>Resultados obtenidos de la caracterización física de la materia prima</i>	76
4.1.2.	<i>Resultados de la obtención de plátano deshidratado a nivel laboratorio</i>	78
4.1.2.1.	<i>Resultados del balance de materia</i>	78
4.1.2.2.	<i>Resultado del balance de energía</i>	78
4.1.3.	<i>Resultados de la caracterización fisicoquímica del plátano deshidratado en forma de harina</i>	78
4.2.	Resultado del dimensionamiento del secador de bandejas.	79

4.2.1.	<i>Resultados de los cálculos de ingeniería</i>	80
4.3.	Resultados de la validación económica del proceso a nivel industrial.	81

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1.	Conclusiones	82
5.2.	Recomendaciones	84

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Clasificación de las especies de plátano y banano	7
Tabla 2-2:	Aporte nutricional del plátano	12
Tabla 3-1:	Ubicación geográfica de la ESPOCH.....	27
Tabla 3-2:	Ubicación geográfica de La Molienda “San Luis”	28
Tabla 3-3:	Disposiciones relativas a la calidad.....	29
Tabla 3-4:	Clasificación.....	30
Tabla 3-5:	Disposiciones relativas a la clasificación por calibres.....	31
Tabla 3-6:	Disposiciones relativas a las tolerancias.....	32
Tabla 3-7:	Tolerancias de calibre.....	33
Tabla 3-8:	Requerimientos en el proceso.....	34
Tabla 3-9:	Datos experimentales del proceso de secado del plátano	37
Tabla 3-10:	Datos experimentales del proceso de secado del plátano	38
Tabla 3-11:	Humedad en base seca.....	38
Tabla 3-12:	Humedad media.....	41
Tabla 3-13:	Variación de tiempo	41
Tabla 3-14:	Datos de la Variación de Humedad.....	42
Tabla 3-15:	Velocidad de Secado 70 °C	43
Tabla 3-16:	Velocidad de Secado 60 °C	44
Tabla 3-17:	Velocidad de secado 50 °C.....	45
Tabla 3-18:	Velocidad de secado 40 °C.....	46
Tabla 3-19:	Datos obtenidos de la curva de velocidad de secado de la gráfica	48
Tabla 3-20:	Requisitos físicos.....	53
Tabla 3-21:	Requisitos de la sémola, harina, griz del maíz	53
Tabla 3-22:	Caracterización fisicoquímica del plátano deshidratado en forma de harina	54
Tabla 3-23:	Requisitos microbiológicos	58
Tabla 3-24:	Contaminantes	58
Tabla 3-25:	Consideraciones para el dimensionamiento	58
Tabla 3-26:	Características mecánicas del acero AISI 304.....	60
Tabla 3-27:	Propiedades físicas del plátano.....	66
Tabla 3-28:	Propiedades físicas del agua.....	66
Tabla 3-29:	Magnitudes aproximadas de algunos coeficientes de transferencia de calor	66
Tabla 3-30:	Recursos materiales.....	70
Tabla 3-31:	Inversión de recursos humanos para área de producción	71
Tabla 3-32:	Costos totales de inversión fija de la empresa.....	71

Tabla 3-33:	Costos de materiales e insumos para la obtención de plátano deshidratado en forma de harina.....	71
Tabla 3-34:	Costo de servicios básicos requeridos	71
Tabla 3-35:	Costos de mano de obra directa.....	72
Tabla 3-36:	Total de egresos anuales.....	72
Tabla 3-37:	Costos totales de inversión fija y egresos.....	72
Tabla 3-38:	Ingresos anuales	73
Tabla 3-39:	Cálculo del VAN.....	74
Tabla 3-40:	Cálculo del TIR	75
Tabla 3-41:	Cálculo del PDR.....	75
Tabla 4-1:	Resultados de la caracterización física de la materia prima	76
Tabla 4-2:	Disposiciones relativas a la clasificación por calibres.....	77
Tabla 4-3:	Resultados del balance de materia.....	78
Tabla 4-4:	Resultados del balance de energía.....	78
Tabla 4-5:	Requisitos físicos y químicos de la harina obtenida.....	78
Tabla 4-6:	Requisitos microbiológicos para plátano deshidratado en forma de harina	79
Tabla 4-7:	Contaminantes	79
Tabla 4-8:	Resultados del Dimensionamiento de las bandejas	79
Tabla 4-9:	Resultados del dimensionamiento de la cámara interna del secador	80
Tabla 4-10:	Resultados del dimensionamiento de la cámara externa del secador	80
Tabla 4-11:	Resultado de los cálculos de ingeniería.....	80

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Curva de secado $X = f(\theta)$	17
Ilustración 2-2:	Curva de velocidad de secado	17
Ilustración 2-3:	Cálculo del tiempo poscrítico por el método gráfico.	20
Ilustración 2-4:	Secador de bandejas.	23
Ilustración 2-5:	Configuración básica de un secador.	24
Ilustración 3-1:	Ubicación Geográfica ESPOCH	27
Ilustración 3-2:	Ubicación Geográfica de La Molienda “San Luis”	28
Ilustración 3-3:	Recepción de la materia prima	35
Ilustración 3-4:	Pelado de la materia prima	35
Ilustración 3-5:	Picado de la materia prima	35
Ilustración 3-6:	Pesado de la materia prima	36
Ilustración 3-7:	Secado de la materia prima	36
Ilustración 3-8:	Curva de humedad (70 °C)	39
Ilustración 3-9:	Curva de humedad (60 °C)	39
Ilustración 3-10:	Curva de humedad (50 °C)	40
Ilustración 3-11:	Curva de humedad (40 °C)	40
Ilustración 3-12:	Curva de velocidad de secado (70 °C)	44
Ilustración 3-13:	Curva de velocidad de secado (60 °C)	45
Ilustración 3-14:	Curva de velocidad de secado (50 °C)	46
Ilustración 3-15:	Curva de velocidad de secado (40 °C)	47
Ilustración 3-16:	Curvas que más se asemejan al fenómeno de secado (50 °C)	48
Ilustración 3-17:	Inverso de la Velocidad vs Humedad media	50

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL PLÁTANO DESHIDRATADO EN FORMA DE HARINA
- ANEXO B:** CÁMARA INTERNA DEL SECADOR DE BANDEJAS
- ANEXO C:** CÁMARA EXTERNA DEL SECADOR DE BANDEJAS
- ANEXO D:** BANDEJA
- ANEXO E:** TAPA DEL SECADOR DE BANDEJAS
- ANEXO F:** SECCIONES DEL EQUIPO

RESUMEN

La empresa la molienda “San Luis” obtiene diferentes tipos de harina (machica trigo, machica morocho, machica cebada, machica mix, haba, arveja, soya, quinua, plátano, centeno, frejol, yuca, arroz, almendras, avena, garbanzo y amaranto), para lo cual realizan el proceso tradicional de tostado el cual no siempre disminuye eficientemente el porcentaje de humedad para ciertas materias primas, como es el caso del plátano lo que genera dificultad en la molienda, debido al mal secado el motor tiende a sufrir un recalentamiento lo que genera pérdidas económicas y tiempos muertos. Por lo tanto, el objetivo del presente proyecto fue diseñar un secador de bandejas para la deshidratación del plátano (*Musa aab*) en la empresa la molienda “San Luis”, el cual fue elaborado a nivel de laboratorio para su posterior dimensionamiento, se comenzó realizando la simulación del secado a 40 °C , 50 °C, 60 °C y 70 °C, determinando que la temperatura ideal para un secado eficiente es a 50 °C y así encontrándose la humedad de equilibrio 0,028 kg agua/kg sólido seco y la humedad crítica 0,282 kg agua/kg sólido seco, con estos resultados se realizó el dimensionamiento del equipo para una carga de 15 kg de plátano y se dedujo que el secador tendrá de alto 0,952 m, de longitud 0,984 m y ancho 0,686 m el cual constara de 5 bandejas, de largo 0,85 m y de ancho 0,54m, de acuerdo con los cálculos de ingeniería la resistencia requerida para la calefacción del aire será de una potencia de 981,6 W y mediante un ventilador de 1700 rpm se dará la circulación del aire en el interior de la cámara del secador, como aislante se utilizara lana de vidrio dándonos un calor útil de 98074,4 W, se recomienda no ignorar la temperatura a la cual se debe secar la materia prima para obtener un producto de calidad.

Palabras clave: <PLÁTANO (*Musa aab*)>, <HUMEDAD>, <SIMULACIÓN>, <TOSTADO>, <DESHIDRATACIÓN>, <SECADOR DE BANDEJAS>.

2087-DBRA-UPT-2023

The image shows a handwritten signature in blue ink on the left and an official circular stamp on the right. The stamp contains the text 'UNIVERSIDAD DE LA GUAYANA' and 'FACULTAD DE INGENIERIA' around a central emblem.

ABSTRACT

The milling company "San Luis" obtains different types of flour (machica wheat, machica morocho, machica barley, machica mix, bean, pea, soybean, quinoa, banana, rye, beans, cassava, rice, almonds, oats, chickpea and amaranth), For this purpose, the traditional roasting process is carried out, which does not always efficiently reduce the percentage of humidity for certain raw materials, as is the case of plantain, which generates difficulties in milling, and due to poor drying, the motor tends to overheat, which generates economic losses and downtime. Therefore, the objective of this project was to design a tray dryer for the dehydration of plantain (*Musa aab*) in the milling company "San Luis", which was developed at laboratory level for subsequent sizing; the simulation of drying at 40 °C, 50 °C, 60 °C and 70 °C was started, determining that the ideal temperature for an efficient drying is 50 °C and thus finding the equilibrium humidity 0.028 kg water/kg dry solid and the critical humidity 0.282 kg water/kg dry solid; with these results the dimensioning of the equipment for a load of 15 kg of banana was made and it was deduced that the dryer will have a height of 0.952 m, length 0.984 m and width 0.686 m which will consist of 5 trays, length 0.85 m and width 0.54 m. According to the engineering calculations, the resistance required for air heating will have a power of 988.6 W and by means of a fan of 1700 rpm the air will circulate inside the drying chamber, 54m. According to the engineering calculations the resistance required for the air heating will be of a power of 981.6 W and by means of a fan of 1700 rpm; the air circulation will be given inside the dryer chamber, as insulator glass wool will be used giving a useful heat of 98074.4 W. It is recommended not to ignore the temperature at which the raw material must be dried to obtain a quality product.

Keywords: <PLANTAIN (*Musa aab*)>, <HUMIDITY>, <SIMULATION>, <ROASTING>, <DEHYDRATION>, <TRAY DRYER>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 1103696132

INTRODUCCIÓN

El secado es una operación unitaria simultánea de transferencia de calor y de masa, el calor es necesario para evaporar la humedad, la cual es removida de la superficie del producto por medio de un agente secador externo generalmente aire. Adicionalmente ayuda a la conservación de las proteínas y a dar estabilidad a los productos a secar, y a evitar el crecimiento de hongos y bacterias. En definitiva, el secado permite obtener un producto más estable (Porru 2020).

El presente proyecto propone utilizar la operación unitaria de secado para el correcto procesamiento del plátano en la empresa la molienda “San Luis”, esto mejorara distintos problemas que se presentaban en esta etapa como mejorar el tiempo de secado, porcentaje de humedad requerido, una molienda sin dificultades, el motor del molino no tiende a sufrir recalentamientos por ende la empresa no tendría pérdidas económicas ni tiempos muertos con el diseño de un secador de bandejas para la deshidratación del plátano (*Musa aab*) en la empresa la molienda “San Luis”.

Según un estudio realizado por la Asociación de Exportadores de Banano Ecuador, (A.E.B.E), nuestro país es el primer exportador de banano a nivel mundial desde 1952, siendo imprescindible resaltar la solidez de la actividad bananera en el contexto de la economía del país, en el mundo existe una tendencia a consumir productos elaborados a base de productos naturales, como es el caso de la harina de plátano, siendo el principal exportador de harina de plátano en cantidades, es India quien exportó en 2011, 14890 toneladas métricas. Ecuador en igual año exportó apenas 285 toneladas métricas (CHAFLA 2013, pp. 1-2). Con este trabajo se espera que se pueda incentivar a las diferentes industrias a la producción de la harina de plátano en mayor cantidad ya que el país consta con la materia prima necesaria para dicho objetivo.

El presente proyecto, consta de cinco capítulos, en el capítulo I se detalla el diagnóstico del problema en donde se definirán los objetivos a desarrollarse en el trabajo de integración curricular, en el capítulo II marco teórico se habla sobre los fundamentos teóricos utilizados como referencia para el proyecto, en el capítulo III marco metodológico se detalla el proceso que se siguió para el secado de la materia prima y posterior obtención de la harina de plátano así como también el dimensionamiento del equipo y la validación técnica y económica, en el capítulo IV se detalla los resultados obtenidos que se describen en la metodología del proyecto, como punto final tenemos el capítulo V en donde se describe las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

En la ciudad de Riobamba como en otras partes del país existen muchas empresas donde se reutilizan este tipo de equipos para el secado de alimentos pero también en la actualidad se conoce que todavía se realiza esta operación de secado de manera rudimentaria es decir exponiendo el producto al sol durante largos periodos de tiempo por ende el uso de esta técnica acarrea elevadas pérdidas, puesto que los alimentos quedan expuestos, durante lapsos prolongados, a condiciones adversas y a la acción de depredadores (Saiz Jiménez, Cornejo Royo 2014, p. 236).

La empresa la molienda “San Luis” obtiene diferentes tipos de harina (machica trigo, machica morocho, machica cebada, machica mix, haba, arveja, soya, quinua, plátano, centeno, frejol, yuca, arroz, almendras, avena, garbanzo y amaranto) para lo cual realizan el proceso tradicional de tostado que consiste en someter los granos a una fuente de calor que aumenta progresivamente hasta temperaturas que oscilan entre 200 y 230 ° C durante 12-15 minutos, para disminuir el porcentaje de humedad de su materia prima, ya que no cuenta con un secador para realizar esta operación unitaria (Quispe Capajaña 2021, p. 3).

Al realizar el tostado no siempre disminuye eficientemente el porcentaje de humedad para ciertas materias primas como es en el caso del plátano ya que los productores al vender su producción no conocen el porcentaje de humedad del producto, ni el porcentaje de impureza de este, de acuerdo a (Carrillo-Carrillo et al. 2020, p. 19), la humedad inicial del plátano es de 57,23%, al realizar el tostado este porcentaje disminuye no muy considerablemente, lo que genera dificultad en la molienda, debido al mal secado el motor tiende a sufrir un recalentamiento lo que genera pérdidas económicas y tiempos muertos.

El secado de alimentos si se lo hace de una manera correcta aplicando buenas prácticas de manufactura durante el proceso mejorara distintos problemas que se presentaran como mejorar el tiempo de secado, porcentaje de humedad requerido, una molienda sin dificultades, el motor del molino no tiende a sufrir recalentamientos por ende la empresa no tendría pérdidas económicas ni tiempos muertos con el diseño de un secador de bandejas para la deshidratación del plátano (*Musa aab*) en la empresa la molienda “San Luis”.

1.2. Justificación

Al hablar de secado podemos confirmar que es un proceso de transferencia simultánea de calor y masa en donde el calor necesario para evaporar la humedad, que se elimina de la superficie del producto mediante un medio de secado externo, generalmente es el aire. Es importante mencionar que ayuda con la conservación de las proteínas y permite estabilización en los productos deshidratados, así como también previniendo el crecimiento de hongos y bacterias, permitiendo obtener un producto más estable (Porru 2020).

Al diseñar un equipo que pueda resolver el problema del secado el procesamiento de la materia prima va a ser mucho más sencillo, las harinas van a tener un tiempo mayor de duración así como también una elevada calidad y su almacenamiento sería más eficaz, la calidad de un buen secado en los alimentos es primordial para las empresas que expenden este tipo de productos, así como, para los pequeños y grandes agricultores, ya que estos alimentos son ricos en vitaminas del tipo B esenciales para que funcionen bien las enzimas que se encuentran en nuestros organismos, es importante mencionar que este tipo de alimentos eran consumidos por nuestros antepasados y por la comunidad andina de Chimborazo (PROBELTE PHARMA 2023).

Es importante mencionar que durante la etapa de secado el proceso debe cumplir con todas las normas y condiciones para que de esta manera se pueda mantener todas las características tanto físicas como químicas de cada alimento como su valor nutricional, la tecnología, así como la calidad de estos productos avanza cada día, hacen que la ciencia relacionada con la elaboración de este tipo de equipos de secado logre avanzar significativamente permitiendo diseñar equipos que se ajusten a las diferentes necesidades de cada microempresario (Battle et al. 2016, p. 4).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un secador de bandejas para la deshidratación del plátano (*Musa aab*) en la empresa la molienda “San Luis”

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la materia prima bajo la norma INEN 2801:2013 norma para el banano (plátano) (codex stan 205-1997, MOD).

- Identificar las variables del proceso de secado y realizar los cálculos de ingeniería óptimos para el diseño de un secador de bandeja y su respectivo dimensionamiento.
- Realizar la validación técnica y económica del producto según la norma INEN 2051:2013 cereales y leguminosas. maíz molido, sémola, harina, gritz. requisitos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

La operación unitaria del secado ha sido utilizada desde los tiempos más arcaicos, como un medio de conservación de alimentos y además es un proceso muy manejado a nivel mundial, principalmente en la industria farmacéutica y alimenticia por los beneficios que proporciona. En Nuestro País se utiliza este proceso en gran proporción para la producción de harinas, frutas y vegetales deshidratados, y un sin número de medicamentos, etc. El secado en la industria alimenticia está cada vez más en auge en nuestro país donde el ritmo de vida de sus habitantes requiere el consumo de productos que duren una mayor cantidad de tiempo conservando sus propiedades nutricionales en su mayor parte (CRUZ 2014, pp. 15-16).

Desde el principio de los tiempos, el secado se ha utilizado para conservar los alimentos ya que estos pueden perder agua durante este proceso de secado, deshidratación o concentración debido a factores ambientales o por una serie de técnicas que involucran el uso de medios como calor, aire, frío y ósmosis. Se puede eliminar hasta un 15 por ciento (%) del agua de forma natural o mediante secado al sol, que a veces es suficiente. Para lograr esto, se requiere un espacio lo suficientemente amplio, y no se debe olvidar que los alimentos expuestos al sol son endebles a la contaminación y pérdida por polvo, insectos entre otros factores ambientales. Debido a los factores antes mencionados, el secado al sol cambió, moviéndose al interior donde las condiciones podrían controlarse de manera más efectiva, el término "deshidratación de alimentos" hoy en día se refiere al secado artificial cuidadosamente regulado. El objetivo es evitar en la medida de lo posible cambios en el alimento durante esta eliminación casi total del agua para obtener productos lo más parecidos a los alimentos originales más adelante durante la reconstitución. Dependiendo del producto, los niveles de humedad residual oscilan entre el 1 y el 5 por ciento. En términos generales, el costo del proceso utilizado está inversamente relacionado con la calidad del producto deshidratado (CRUZ 2014, pp. 15-16).

Existen numerosas técnicas de aplicación de secado, e incluso más variaciones de estas técnicas, el método seleccionado dependerá del alimento que se deshidrate, la calidad que se pueda obtener y el costo que se pueda justificar. Hay más variaciones para cada una de estas técnicas que se pueden usar para cumplir con diferentes requisitos de volumen y especificaciones del producto. Desde 1950, el proceso de secado se ha utilizado en la industria química porque consume menos

energía y es más eficiente gracias a los avances tecnológicos en secadores que tienen controladores integrados (Ruiz 2016, p. 3).

Sin embargo, se sabe muy poco sobre este proceso en la empresa de molienda de San Luis, cabe señalar que la producción de banano es constante en el país, sugiriendo una buena alternativa para la transformación del banano en subproductos, siendo una excelente opción para diversificar la exportación de este dándole valor agregado. El secador de bandejas ha sido seleccionado como la tecnología de elección para la deshidratación de plátano porque ofrece un buen rendimiento económico y que puede ser utilizado por las pequeñas y medianas empresas, teniendo en cuenta que este tipo de secador es el más sencillo y económico de construir, así como su sencillo manejo y control aportando calidad al producto (Ruiz 2016, pp. 3-4).

Debido a las ventajas que ofrece, el secado se ha utilizado como método de conservación de alimentos desde los albores de la civilización. Esto es especialmente cierto en las industrias alimentaria y farmacéutica. Para la elaboración de harinas, frutas y verduras deshidratadas, diversas medicinas, etc., este proceso es muy utilizado en nuestra nación. Como el ritmo de vida de los ciudadanos de nuestra nación exige el consumo de bienes que duren más tiempo, preservando en su mayoría sus propiedades nutricionales, el secado en la industria alimentaria está expandiéndose a un ritmo cada vez más rápido (Ruiz 2016, pp. 3-4).

2.2. Referencias, teóricas

2.2.1. Origen y distribución histórica del plátano

Los bananos se originaron en el sudeste de Asia y el Pacífico, donde se pueden encontrar en los bosques de vegetación natural como especímenes ancestrales. Los lugareños aprendieron que estas plantas tenían frutos comestibles y podían ser multiplicadas vegetativamente por hijuelos, y de esta manera se seleccionaban cruces superiores comestibles que luego se cultivaban, multiplicaban y distribuían localmente como cultivo de subsistencia (Ruiz 2016, p. 7).

En áreas alejadas de sus principales centros de origen, los plátanos han llegado a tener una importancia significativa como alimento o cultivo comercial. Las exportaciones de banano eran una industria importante para América Central y el Caribe a fines del siglo XIX y aumentaron significativamente con la llegada del transporte refrigerado, Esto se dio en unos pocos cultivares de plátano selectos (*M. acuminata*) de los cuales el 95% son del tipo *Cavendish* (Ruiz 2016, p. 7).

2.2.2. Taxonomía del plátano

Conocida como hierba gigante, el plátano es una planta clasificada como planta herbácea, dado que el verdadero tallo es corto y subterráneo y no emerge mucho del suelo hasta la floración, con frecuencia se le llama rizoma o, más exactamente, bulbo, los cuales son técnicamente incorrectos de acuerdo con los estándares botánicos, pero, sin embargo, se usan en casi todas las naciones tropicales. Este pequeño tallo subterráneo libera lo que se conoce como retoños, que son ramas laterales que crecen desde el suelo cercano. El bulbo también produce una gran cantidad de raíces cordadas que son tiernas y están cubiertas de pequeños pelos radiculares (Ruiz 2016, p. 8).

El meristema terminal del tallo genera hojas jóvenes con partes basales bien desarrolladas, a las que nos referimos como vainas foliares. Con el tiempo, comienzan a aparecer hojas en forma de hélice, junto con una fuerte imbricación de las vainas, pero esto es solo un falso tronco de plátano. En ocasiones puede alcanzar alturas de 6 u 8 metros y es cilíndrico, recto y rígido. La parte superior de la vaina se estrecha en un robusto pecíolo que se prolonga por una nervadura central, en cuyos lados se extienden las dos partes simétricas conocida como limbo, formando un gran conjunto ovoide. En la parte superior del falso tronco brotan hojas frescas que luego maduran (Ruiz 2016, p. 8).

2.2.3. Clasificación de las especies de plátano y banano

Tabla 2-1: Clasificación de las especies de plátano y banano

Familia: Musaceae				
Género: Musa				
Sección: Eumusa				
Especie	Grupo	Subgrupo	Clones	Otros nombres
Musa acuminata	Diploide AA	Sucrier	Baby banana	Lady´SFinger
		Gros michel	Gros michel	Orito
	Triploide AAA	Cavendish	Gran Naine	Gran enano
			Dwarf Cavendish	Cavendish
			Valery	Rubusta
			Lacatan	Filipino

			Williams	
			Rojo y Rojo-verde	Morado
Musa Balbisiana	Triploide AAB	Plantain	French plantain	Dominico
			Hornplantain	Barraganete
			Dominico Harton	
			Maqueño	
			Manzano	
			Limeño	
	Triploide ABC	Plantain	Cuatrofilios	
			Pelipita	
	Tetraploide AAAB		FHIA4	
			FHIA 21	

Fuente: (Legiscomex 2012, p. 3)

Realizado por: Nono Brayan 2023

La firmeza del banano es un aspecto crucial de la calidad de la cosecha. Podría emplearse como un índice de madurez/maduración. Además, podría simplificar la comparación de la rapidez con que se ablandan los plátanos.

2.2.4. Características bioquímicas del plátano

2.2.4.1. Agua

La pulpa y la piel del banano contienen la mayor cantidad de agua por peso, y el banano tiene un mayor contenido de agua que el plátano. Debido a la degradación del almidón provocada por la respiración y el movimiento osmótico del agua desde la piel hacia la pulpa durante la maduración, aumenta la cantidad de agua en la pulpa. En comparación con el 66 por ciento de los plátanos, el

agua constituye el 75 por ciento de la masa de la pulpa en un plátano completamente maduro (Ruiz 2016, p. 10).

2.2.4.2. Carbohidratos

La conservación del almidón en azúcares durante la maduración de la fruta es el principal cambio en la pulpa de la fruta, y el tono de la piel está estrechamente relacionado con la relación azúcar/acidez. Cuando la fruta está madura, el contenido de almidón cae del 20 al 23 % en la cosecha al 1 al 2 %. La tasa de aumento de los azúcares es aproximadamente la misma. La relación de azúcares (sacarosa: glucosa: fructosa) es de aproximadamente 65:20:15 al inicio de la etapa de maduración, lo que indica que primero aparece la sacarosa y luego los azúcares tipo hexano. 2 días después del pico de etileno, se produce la cantidad máxima de almidón que se puede convertir en azúcar (Ruiz 2016, p. 10).

En comparación con las bananas, los plátanos para cocinar contienen más almidón. El almidón ha desaparecido casi por completo de los plátanos cuando alcanzan la madurez completa, pero durante la senescencia de la fruta, la degradación del almidón y la síntesis de azúcar continúan incluso después de que la fruta ha alcanzado la madurez completa (Ruiz 2016, p. 10).

2.2.4.3. Pigmentos

Debido a la descomposición de la clorofila, que revela gradualmente los pigmentos carotenoides también presentes en la piel, el color de la piel cambia durante la maduración de verde oscuro a amarillo brillante. Estos procesos pueden ocurrir con facilidad a temperaturas de maduración de 16 a 18 °C, pero cuando la maduración natural tiene lugar a temperaturas superiores a 25 °C, la degradación de la clorofila se detiene mientras la pulpa madura rápidamente (Ruiz 2016, p. 10).

2.2.4.4. Compuestos aromáticos

Una combinación de numerosos compuestos volátiles que aún no se entienden completamente es lo que les da a los plátanos maduros su aroma distintivo. Siguiendo varios procesos metabólicos, como la formación de ésteres, acetatos, alcoholes y compuestos carbonílicos, estas sustancias se producen durante el proceso de maduración. A medida que la fruta envejece, los aromas se liberan con más frecuencia hasta que la piel se vuelve marrón, momento en el que se vuelven menos perceptibles. Se ha observado que la maduración de la fruta del banano produce un total de 300 componentes aromáticos (Ruiz 2016, p. 11).

2.2.4.5. *Fenoles*

Ciertas reacciones que dan como resultado el pardeamiento son causadas por compuestos fenólicos. La dopamina es el principal compuesto fenólico que sufre oxidación enzimática durante el proceso de pardeamiento, que es llevado a cabo por la enzima polifenoloxidasas. La piel tiene el doble de polifenoles que la pulpa en el momento de la cosecha. La condición conocida como "decoloración interna de la piel" es provocada por el oscurecimiento excesivo de fenoles en los vasos laticíferos de la piel que es provocado por temperaturas inferiores a 13°C (Ruiz 2016, p. 11).

2.2.4.6. *Pectinas*

Entre el 0,5 y el 0,7% de la pulpa madura está compuesta por pectina. La pulpa se ablanda a medida que la fruta madura como resultado de un aumento de pectinas solubles en agua y una disminución de pectinas insolubles. La pectinmetilesterasa, cuya actividad es constante a lo largo de la maduración, cataliza estos cambios (Ruiz 2016, p. 11).

2.2.4.7. *Lípidos*

A lo largo del proceso de maduración, el contenido de lípidos es en gran parte constante. Para la piel fresca de banano y plátano, los lípidos constituyen aproximadamente el 1% del peso y entre el 0,2% y el 0,5% de la pulpa. La pequeña cantidad de lípidos que están presentes se componen principalmente de ácidos grasos poliinsaturados, especialmente ácido linolénico, y no contienen colesterol (Ruiz 2016, p. 11).

2.2.4.8. *Proteínas*

Algunos aminoácidos esenciales significativos, incluida la lisina, están presentes en los plátanos maduros a pesar de que su contenido de proteínas es solo alrededor del 11 % de su composición total. Cuando una banana Cavendish está demasiado madura, su pulpa contiene de 2700 a 3500 mg/100 g de aminoácidos libres, frente a los 330 a 375 mg/100 g cuando aún está verde. La histidina, la asparagina y la glutamina son los tres aminoácidos principales en estado completamente maduro (Ruiz 2016, p. 12).

2.2.4.9. Otros constituyentes

Los tres ácidos orgánicos primarios son málico, cítrico y oxálico. Mientras que la acidez libre de la pulpa aumenta a medida que madura (pH 4 en plena madurez), el pH desciende durante la maduración.

La pulpa y la piel de los plátanos tienen un poco más de 0,8 por ciento de fibra. La mayor parte de la fibra se compone de polisacáridos no celulósicos insolubles.

La vitamina C, o ácido ascórbico, es abundante en los plátanos. La pulpa también contiene vitaminas A y B, pero la vitamina B6 (ácido pantoténico y piridoxina), que es menos común en otras frutas además de la pulpa, es particularmente importante (Ruiz 2016, p. 12).

2.2.5. Valor nutricional del plátano

El plátano es un alimento saciante y energizante. Tiene niveles más bajos de lípidos y proteínas que otras frutas, a pesar de tener niveles más altos de estos nutrientes en general. Su alto contenido en hidratos de carbono queda patente en su composición. El principal carbohidrato de los plátanos verdes es el almidón, pero a medida que maduran, este almidón se convierte en azúcares simples como sacarosa, glucosa y fructosa. Mientras está maduro, el plátano es una fruta blanda y muy digerible. Y por ello, además de por su contenido en potasio, se aconseja en diversas patologías gastrointestinales, incluidas las úlceras. Sin embargo, el almidón del plátano verde lo hace difícil de digerir, lo que provoca indigestión y flatulencia y dispepsia (Ruiz 2016, pp. 12-13).

Sin embargo, a pesar de tener un alto contenido de carbohidratos, los plátanos son seguros para los diabéticos porque sus azúcares se absorben gradualmente y no provocan un aumento brusco de los niveles de glucosa en sangre. El plátano también contiene inulina y otros frutos oligosacáridos que pueden pasar por el tracto final del intestino y mejorar el tránsito intestinal porque no son digeridos por las enzimas intestinales. A través de la producción de compuestos a partir de la fermentación del colon, la estimulación del sistema inmunitario, la mejora del metabolismo de los minerales y los lípidos y el aumento de la biodisponibilidad de los nutrientes, la inulina puede ayudar a reducir el riesgo de enfermedades degenerativas como las enfermedades cardiovasculares, la diabetes tipo II, la obesidad, la osteoporosis o el cáncer (Ruiz 2016, pp. 12-13).

Además de tener un alto contenido de potasio, el plátano también tiene un alto contenido de magnesio. Esto último la convierte en una fruta perfecta para recuperarse de la actividad deportiva porque ayuda a prevenir los calambres y además te da energía. También contiene muy poco sodio.

El plátano es un alimento adecuado en casos de hipertensión por su alto contenido en potasio y bajo en sodio. En cuanto a las vitaminas, el plátano es una buena fuente de vitamina B6 y vitamina C (Ruiz 2016, pp. 12-13).

Tabla 2-2: Aporte nutricional del plátano

	Por 100 g de porción comestible
Energía (Kcal)	94
Proteínas (g)	1,2
Lípidos totales (g)	0,3
AG saturados (g)	0,11
AG monoinsaturados (g)	0,04
Colesterol (mg/1000 kcal)	0
Hidratos de carbono (g)	20
Fibra (g)	3,4
Agua (g)	75,1
Calcio (mg)	9
Hierro (mg)	0,6
Magnesio (mg)	38
Zinc (mg)	0,23
Sodio (mg)	1
Potasio (mg)	350
Fosforo (mg)	28
Tiamina (mg)	0,06
Riboflavina (mg)	0,07
Vitamina B6 (mg)	0,51
Vitamina C (mg)	10
Vitamina E (mg)	0,2

Fuente: (Aucal Bushines School 2016)

Realizado por: Nono Brayan 2023

2.2.6. Secado

El proceso de secado consiste en la eliminación o reducción de la humedad en forma de vapor presente en un material u otras sustancias mediante la evaporación con una corriente gaseosa, típicamente aire, lo que implica transporte de masa y transferencia de calor. Para evitar la putrefacción, las enfermedades o la pérdida de los ingredientes activos de una planta, es necesario secar la planta hasta un nivel que se considere seguro. El secado también permite el almacenamiento de la planta durante un período de tiempo predeterminado antes de su uso. Dado que de él depende que el producto esté en condiciones de ser vendido, consumido y conservado durante mucho tiempo, el secado es el paso más crucial para lograr un producto de la más alta calidad (CRUZ 2023, p. 17).

2.2.6.1. Importancia del secado

El secado de alimentos se realiza por una variedad de razones, incluida la conservación, pero también existen las siguientes.

- Adquirir un producto que tenga la cantidad de humedad necesaria para su comercialización.
- Evitar alteraciones físicas o químicas provocadas por la alta humedad.
- Reducir el precio de manipulación, envío, embalaje y almacenamiento.
- Modificar el material para procesos posteriores.
- Eliminación de la humedad acumulada en operaciones anteriores.
- Recoger los productos de desecho.
- Adquirir bienes que beneficien al cliente.

Por ejemplo, los cereales solo están permitidos con un máximo del 15 % de humedad, aunque las condiciones climáticas permiten productos con un 18 % o incluso más de humedad. Las normas de comercialización establecen límites máximos de contenido de humedad para los productos alimenticios y, en muchos casos, se requiere el secado para alcanzar valores predeterminados(CRUZ 2023, pp. 17-18).

La humedad puede fomentar cambios físicos o químicos como el color, la textura e incluso el sabor en los productos de panadería o confitería, incluso si no se producen cambios microbiológicos que, de otro modo, deteriorarían los productos. Los productos que han sido deshidratados ocupan menos espacio y pesan menos que sus contrapartes originales, lo que generalmente reduce los costos de manejo en beneficio tanto del vendedor como del comprador(CRUZ 2023, pp. 17-18).

Los huevos naturales pesan una quinta parte y ocupan una sexta parte del espacio que los huevos deshidratados, que se pueden almacenar a temperatura ambiente sin refrigeración. Si bien su consumo diario es generalmente bajo, el manejo de las materias primas implica contar con cantidades adecuadas. El uso de productos secos permite extraer solo una parte del material manteniendo las condiciones originales de almacenamiento(CRUZ 2023, pp. 17-18).

2.2.6.2. Factores que actúan en el proceso de secado.

Temperatura del aire: Se debe tener muy en cuenta las especies que se expondrán al secado al elegir la temperatura adecuada. A lo largo del proceso de secado técnico, se mantienen estos distintos niveles de temperatura. A medida que disminuye el contenido de humedad, se crea un gradiente de temperatura con respecto al espesor del material durante el secado(Duran, Rodriguez 2021, pp. 10-11).

Humedad relativa del aire: La relación entre la presión actual del vapor de agua y la presión de saturación del vapor de agua a la misma temperatura se conoce como humedad del aire. Su

capacidad de absorción de humedad se expresa en porcentaje (%), y aumenta en proporción a la temperatura del aire(Duran, Rodriguez 2021, pp. 10-11).

Velocidad del aire: Tiene dos propósitos cruciales: primero, transmite el calor necesario para calentar por evaporación el agua presente en la sustancia y, segundo, transporta la humedad liberada por la sustancia. Se recomienda circulación de aire regular para un secado rápido y uniforme(Duran, Rodriguez 2021, pp. 10-11).

2.2.6.3. *Mecanismo del secado*

Durante el secado, se transfiere calor al sólido al mismo tiempo que se transfiere agua del sólido al fluido de secado. Debido a que tanto la resistencia a la transferencia de calor como la de masa son sustanciales, ambos fenómenos regulan el proceso de secado en su totalidad(Ríos, Castro, Gonzáles 2010, p. 5).

Las siguientes son las formas en que se transmite el calor.

- Convección del gas a la superficie del sólido, resultando en un coeficiente de transferencia de calor de h . El espacio exterior será crucial porque el calor se transmite a través de la superficie. La forma del sólido y el grado de agregación tienen un impacto en esto.
- Tanto las dimensiones como la conductividad k del sólido afectarán la capacidad del sólido para conducir electricidad desde su superficie hacia su interior(Ríos, Castro, Gonzáles 2010, p. 5).

Con el tiempo, el secado puede cambiar la conductividad del sólido. Con frecuencia se produce contracción, endurecimiento o ambos, especialmente en los alimentos.

Los mecanismos de transferencia de masa del agua son:

- Convección de la superficie de un sólido a un gas. Como resultado, aparecerá el coeficiente de transferencia de convección en kg . De manera similar a lo dicho para el calor, también se tienen en cuenta los factores restantes.
- El interior del interior del sólido se difunde con agua líquida, agua vaporizada o ambas. Las difusividades asociadas se vuelven visibles.
- Dependiendo del alimento o sólido de que se trate, se puede utilizar la capilaridad para su transporte(Ríos, Castro, Gonzáles 2010, p. 5).

2.2.6.4. *Métodos generales de secado*

Evaporación

Cuando la presión del vapor en la superficie del sólido es igual a la de la atmósfera, esto sucede. Esto se debe a que la temperatura del líquido aumenta hasta el punto en que hierve. Si el material

que se seca es sensible al calor, la reducción de la presión (evaporación al vacío) reducirá la temperatura a la que se produce la evaporación(Stage 2021).

Vaporización

El secado se logra por convección, lo que implica soplar aire caliente sobre el producto. A medida que la humedad se transfiere al aire, el aire enfriará el producto. En este caso, la presión del vapor sobre el sólido es menor que la del aire circundante(Stage 2021).

Liofilización

Directamente del material congelado, el agua se sublima(Stage 2021).

2.2.7. Humedad

2.2.7.1. Base seca

$$X_{BS} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{masa del sólido seco}}$$

Ecuación 1

Dónde:

X_{BS} =Representa la Humedad del sólido-base seca en: (kg agua/kg sólido seco).

2.2.7.2. Base húmeda

$$X_{BH} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{masa del sólido húmedo}}$$

Ecuación 2

Dónde:

X_{BH} = Representa la Humedad del sólido-base húmeda en: (kg agua/kg sólido seco).

La humedad del suelo, los materiales de construcción y el aire se determinan usándolo(Ruiz 2016, p. 18).

2.2.7.3. Humedad de Equilibrio

Las condiciones de equilibrio entre el aire y el sólido húmedo se alcanzarán cuando el aire esté en contacto con un sólido húmedo y tenga una temperatura y humedad conocidas y constantes. Se puede utilizar de muchas formas para manipular, almacenar y secar productos agrícolas(Ruiz 2016, p. 18).

2.2.7.4. *Humedad libre*

La diferencia que existe entre las humedades de sólido y la de equilibrio del aire bajo las condiciones es lo que se llama humedad libre. El sólido puede perder humedad después de un período de contacto con el aire en condiciones predeterminadas y constantes.

$$HL=X-X^*$$

Ecuación 3

Dónde:

HL= Representa la Humedad libre en: (Kg de agua/Kg de sólido seco).

X= Representa la Humedad del sólido en: (Kg de agua/Kg de sólido seco).

X*= Representa la Humedad de equilibrio en: (Kg de agua/Kg de sólido seco).

Los granos libres de humedad tienen una función biológica y pueden promover reacciones enzimáticas (químicas) así como el crecimiento de hongos(Ruiz 2016, p. 18).

2.2.7.5. *Humedad Ligada*

El valor de la humedad de equilibrio del sólido en contacto con el aire saturado, o la cantidad mínima de humedad requerida para que el sólido deje de actuar higroscópicamente.

Este se utiliza en la industria alimentaria; se puede encontrar en alimentos que tienen hidratos ligados a proteínas o agua (agua de cristalización). Incluso a la temperatura que carboniza la comida, parte de ella todavía está unida a la comida(Ruiz 2016, p. 19).

2.2.7.6. *Humedad desligada*

Es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada y representa agua que ha sido absorbida (no adsorbida), retenida, pero que no interactúa con el sólido o la humedad libre del sólido cuando entra en contacto con el aire saturado. No hace falta decir que un sólido actuará húmedo si hay presente humedad no ligada. El agua en los grandes capilares, espacios intercelulares y otros lugares está sujeta a esta humedad, así como lo que está contenido en los geles(Ruiz 2016, p. 19).

2.2.7.7. *Humedad Crítica*

El límite entre las dos fases de secado de secado antecrítico y poscrítico se conoce como la humedad crítica de un sólido.

- *Período antecrítico:* Desde la humedad inicial hasta la humedad crítica, este es el lapso durante el cual la velocidad de secado es constante.
- *Período poscrítico:* El marco de tiempo durante el cual la tasa de secado disminuye hasta llegar a cero. Este lapso comienza en la humedad crítica y termina en la humedad de equilibrio (Ruiz 2016, p. 19).

2.2.8. Cinética de secado

La velocidad de secado se mide por la cantidad de humedad que se elimina de un sólido húmedo en un período de tiempo determinado cuando se expone al aire que tiene temperatura, presión, humedad y velocidad constantes.

$$W = \frac{S}{A} \left(-\frac{dX}{d\theta} \right)$$

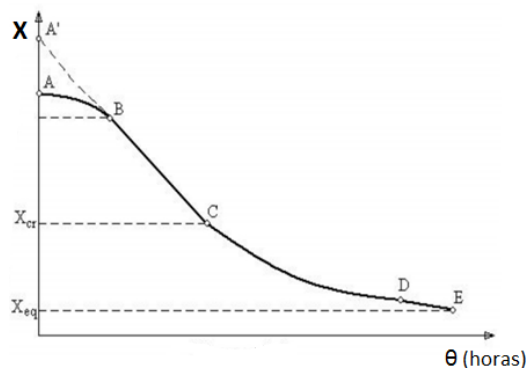


Ilustración 2-1: Curva de secado $X = f(\theta)$

Fuente: (Ruiz 2016, p. 21)

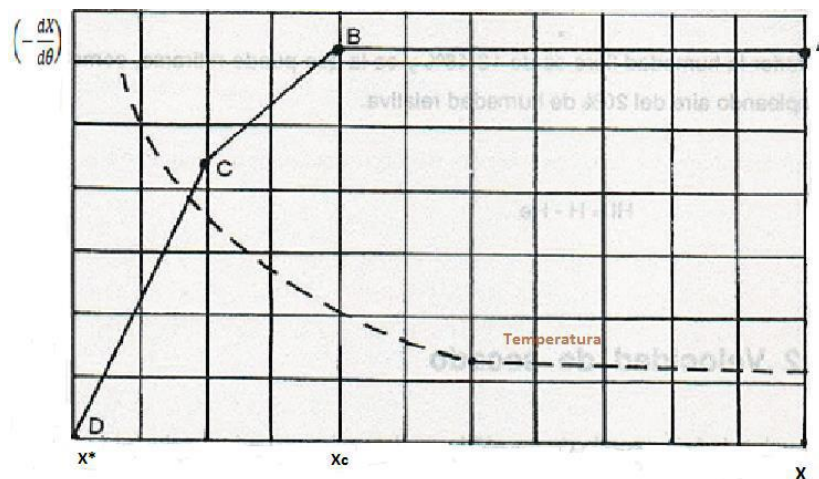


Ilustración 2-2: Curva de velocidad de secado

Fuente: (Ruiz 2016, p. 22)

Tramo A-B: Período de Inducción o Ajuste: La tasa de evaporación aumenta a medida que el sólido comienza a calentarse. Debido a la rapidez con que disminuye con el tiempo, se aprecia la masa del sólido, que está directamente relacionada con X. Una vez que el calor ha llegado al centro, la velocidad está en su punto máximo (Ruiz 2016, p. 22).

Tramo B-C: Representa el Período Antecrítico o también conocido como Velocidad de Secado Constante: Siendo la velocidad de secado constante, así como también máxima. La línea de mayor pendiente es X vs. t. Hay una tasa de secado constante. Esta área tiene humedad libre que se está evaporando. El mecanismo para mover el agua desde el interior del sólido hacia la superficie se mueve a la máxima velocidad posible para compensar la evaporación. Tan pronto como llega suficiente calor a la superficie para vaporizar el agua, se elimina (Ruiz 2016, p. 22).

Como resultado, se identifican los siguientes dos períodos cruciales de secado:

- a) *Período de velocidad constante:* Conocida como período antecrítico.
- b) *Período de velocidad decreciente:* Conocida como período poscrítico.

Tramo C-D: Primer Período Poscrítico: Es el primer período de secado, o período de secado más lento, durante el cual la velocidad de secado varía linealmente con la humedad.

Etapa D-E Segundo Período Poscrítico: En esta etapa se elimina la relación anterior”

Se puede utilizar la cinética de secado para:

- Estabilidad y conservación de productos animales y vegetales para frenar el desarrollo de bacterias y hongos.
- Cambiar a un producto más estable (sales efervescentes, aspirina, penicilinas y ácido ascórbico), polvos higroscópicos y ácido ascórbico). El producto se mantiene a bajos niveles de humedad después de que se haya eliminado el agua con la ayuda de agentes secantes o por la impermeabilidad del envase (Ruiz 2016, p. 22).

Los siguientes parámetros se eligen para analizar el comportamiento de secado a medida que avanza el proceso de secado:

2.2.8.1. Velocidad del periodo antecrítico (W_c)

La evaporación solo se verá afectada por la velocidad de difusión del vapor o por la transferencia de calor a través de la capa límite del aire durante este tiempo porque la superficie del sólido está completamente húmeda y cubierta por una capa líquida. Como resultado del comportamiento de la superficie mojada que imita una superficie de agua libre, el tiempo antecrítico será igual a:

$$W_c = \frac{S}{A} \left(-\frac{X_i - X_c}{\Delta\theta} \right)$$

Ecuación 5

Dónde:

W_c = Representa la Velocidad de secado periodo antecrítico en: (kg/m²h).

A = Representa la Superficie expuesta al secado en: (m²).

S = Representa el Sólido seco en: (kg).

X_i = Representa la Humedad inicial del sólido en: (kg agua/kg sólido seco).

X_c = Representa la Humedad crítica en: (kg agua/kg sólido seco).

$\Delta\theta$ = Representa la Variación del tiempo de secado en: (h)(Ruiz 2016, p. 23).

2.2.8.2. Velocidad del periodo poscrítico (W_D)

El primer período poscrítico, en el que la velocidad de secado varía linealmente con la humedad desde el punto crítico, y el segundo período poscrítico, en el que no se cumple esta variación lineal, se pueden dividir en dos categorías. Sin embargo, no puede mostrar esta división neta entre las dos secciones.

$$W_D = W_c - \frac{X_c - X}{X_c - X_f} (W_c - W_f)$$

Ecuación 6

Dónde:

w_D = Representa la Velocidad de secado poscrítica en: (kg/m²h).

w_c = Representa la Velocidad de secado antecrítico en: (kg/m²h).

X_c = Representa la Humedad crítica en: (kg agua/kg sólido seco).

X = Representa la Humedad en cualquier instante en: (kg agua/kg sólido seco).

X_f = Representa la Humedad final del sólido en: (kg agua/kg sólido seco).

w_f = Representa la velocidad de secado final en: (kg/m²h)(Ruiz 2016, p. 23).

2.2.8.3. Tiempo de secado en el periodo antecrítico (θ_a)

$$\theta_a = \frac{S}{A} \left(-\frac{X_i - X_c}{w_c} \right)$$

Ecuación 7

Dónde:

θ_a = Representa el Tiempo antecrítico en: (h).

w_c = Representa la Velocidad de secado constante en: (kg/m²h).

A = Representa la Superficie expuesta al secado en: (m^2).

S = Representa el Sólido seco en: (kg).

X_i = Representa la Humedad inicial del sólido en: (kg agua/kg sólido seco).

X_c = Representa la Humedad crítica en: (kg agua/kg sólido seco)(Ruiz 2016, p. 24).

2.2.8.4. Tiempo de secado en el periodo poscrítico (θ_p)

$$\theta_p = \frac{S}{A} \int_{X_f}^{X_c} \frac{dx}{W}$$

Ecuación 8

Dónde:

W = Representa la Velocidad de secado constante en: (kg/m^2h).

A = Representa la Superficie expuesta al secado en: (m^2).

S = Representa el Sólido seco en: (kg).

dX = Representa la Variación de la humedad en base seca en: (kg agua/kg sólido seco).

$\Delta\theta$ = Representa la Variación del tiempo de secado en: (s)(Ruiz 2016, p. 24).

Esto se puede hacer por dos métodos:

a) **Método Gráfico:** Este método se utiliza cuando se desconoce la relación analítica $W=f(X)$. La integración de la ecuación debe hacerse gráficamente trazando X contra $1/W$; el valor de esta integral estará ubicado en la pequeña área bajo la curva, donde se encuentran el eje tanto como el de las abscisas como el de las ordenadas extremas X_f y X_c .

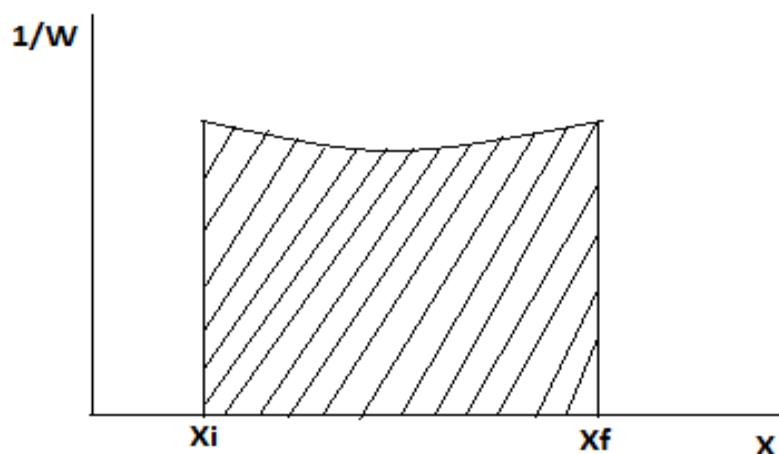


Ilustración 2-3: Cálculo del tiempo poscrítico por el método gráfico.

Fuente:(Ruiz 2016, p. 25)

b) **Método Analítico:** La integración de la ecuación 8 mencionada anteriormente ocurre si la velocidad de secado se altera linealmente con la humedad desde la humedad crítica hasta finalizar con la humedad final.

$$\theta P = \frac{S}{A} \frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} \ln \frac{W_c}{W_f} = \frac{S X_c - X_f}{A W \log}$$

Ecuación 9

Dónde:

θP = Representa el Tiempo de secado en el período poscrítico en: (h).

S = Representa el Peso del sólido seco en: (kg).

A = Representa la Área de la superficie expuesta en: (m^2).

X_f = Representa la Humedad final en: (kg agua/kg sólido seco).

X_c = Representa la Humedad crítica en: (kg agua/kg sólido seco).

W_c = Representa la Velocidad del secado en: (kg/m^2h).

W_f = Representa la Velocidad del secado final en: (kg/m^2h)(Ruiz 2016, p. 26).

La siguiente ecuación aproximada se obtiene cuando se supone que la velocidad de secado varía linealmente desde la humedad crítica hasta la de equilibrio y se desconoce la manera en que lo hace.

$$\theta_p = \frac{S}{A} \left(\frac{X_c - X^*}{w_c} \ln \frac{X_c - X^*}{X_f - X^*} \right)$$

Ecuación 10

Dónde:

θ_p = Representa el Tiempo de secado poscrítico en: (h).

S = Representa el Peso del sólido seco en: (kg).

A = Representa la Área de la superficie expuesta en: (m^2).

X^* = Representa la Humedad de equilibrio en: (kg agua/kg sólido seco).

X_c = Representa la Humedad crítica en: (kg agua/kg sólido seco).

X_f = Representa la Humedad final en: (kg agua/kg sólido seco).

w_c = Representa la Velocidad del periodo constante en: (kg/m^2h)(Ruiz 2016, p. 26).

2.2.8.5. Cálculo del tiempo total (θT).

Como se puede observar el cálculo del tiempo total viene a ser la sumatoria de los tiempos en los períodos antecrítico y poscrítico ya mencionados anteriormente.

$$\theta T = \theta_a + \theta_p$$

Ecuación 11

Dónde:

θT = Representa el Tiempo total de secado.

θ_a = Representa el Tiempo de secado antecrítico.

θ_p = Representa el Tiempo de secado poscrítico.

La elección de los secadores rápidos, su optimización y el diseño del secador tienen en cuenta la velocidad de secado(Ruiz 2016, p. 27).

2.2.9. Secador de bandejas

Los sólidos, que pueden ser pastas o grumos, se disponen en grupos de bandejas, que pueden ser cuadradas o rectangulares y de 10-100 mm de diámetro. Un secador de bandejas, también conocido como secador de bandejas o rejillas, es una unidad completamente cerrada y aislada. Cualquier material que sea apropiado para las condiciones actuales de temperatura y corrosión se puede utilizar para fabricar estos objetos, independientemente de su profundidad(Rodríguez, Velazquez 2014, p. 2).

Para proporcionar una mayor superficie de secado, las bandejas deben tener bases perforadas cuando las propiedades del material y los requisitos de manejo lo permitan. Por lo general, se prefieren las bandejas de metal porque conducen mejor el calor. Las condiciones de secado se pueden cambiar y controlar fácilmente; si el ambiente fuera del equipo permanece igual, cada bandeja experimentará las mismas condiciones de secado. Las bandejas cerca de la entrada de aire, sin embargo, experimentarán condiciones diferentes a las demás. Invertir la ruta del flujo de aire ha resuelto parcialmente este problema. Se usan ventiladores centrífugos o de hélice para mover el aire y, a veces, también se usa calor eléctrico, particularmente cuando la temperatura es baja. Excepto durante la etapa inicial de secado por evaporación instantánea, la recirculación de aire suele oscilar entre el 80 y el 95 por ciento(Rodríguez, Velázquez 2014, p. 3).

La circulación de grandes volúmenes de gas caliente se puede usar para la transferencia directa de calor del gas a los sólidos, o se pueden usar bases o estantes calentados para la transferencia indirecta de calor. El costo de la energía es una consideración importante en el diseño del secador de bandeja. Es posible hacer circular parte del aire para mantener esto(Rodríguez, Velázquez 2014, p. 3).

Se debe mantener una temperatura constante y una velocidad de aire uniforme sobre todo el material que se seca para que los secadores de bandeja funcionen correctamente. Con el fin de aumentar el coeficiente de transferencia de calor de la superficie, es práctico tener circulación de aire a una velocidad de 1 a 10 m/s. La colocación correcta de las derivaciones, un ventilador con suficiente potencia y conductos que puedan soportar cambios bruscos de dirección son necesarios para que este tipo de secadora funcione con un flujo de aire adecuado(Rodríguez, Velázquez 2014, p. 2).

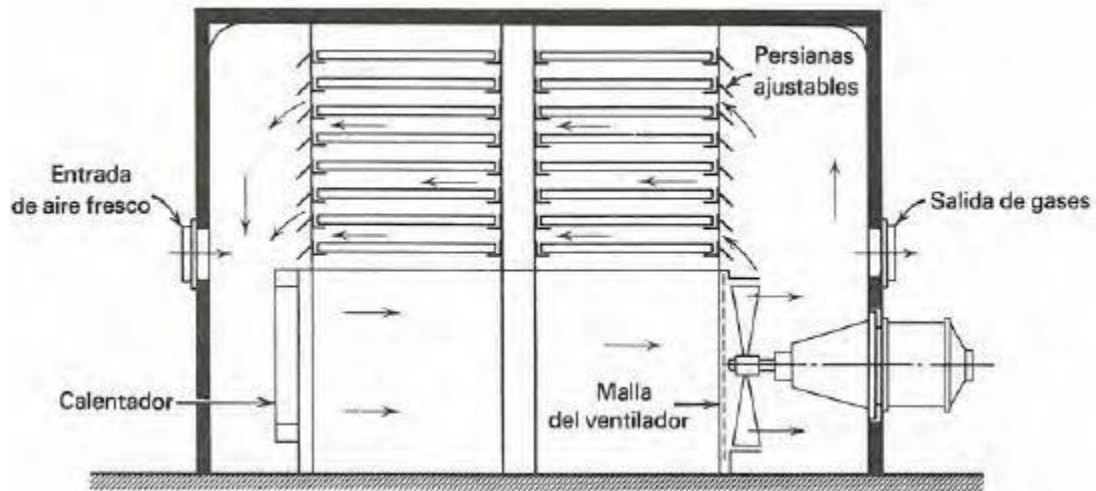


Ilustración 2-4: Secador de bandejas.

Fuente:(Merino 2006, p. 30)

2.2.9.1. Configuración básica

El diseño básico de una secadora de bandejas es una cámara especial donde se coloca la comida. Esta cámara está equipada con un sistema de generación de aire caliente y una serie de conductos que permiten que el aire caliente circule a través y alrededor de los alimentos. Se utiliza una operación para eliminar completamente el agua de la superficie del producto. A medida que ingresa al secador, el aire se calienta directamente con los gases de escape de la combustión o mediante intercambios de calor que utilizan resistencias eléctricas. Este tipo de secadora se utiliza frecuentemente en la producción de galletas, frutas secas y rebanadas de vegetales, entre otros productos.

Consiste en un sistema de producción de aire caliente, el cual puede estar compuesto por un ventilador y varias resistencias eléctricas de Nicromo (Níquel-Cromo) para producir calor. También se requiere un colector y un alimentador. Sin embargo, debido a que las cantidades de alimentos a deshidratar son menores, las secadoras sin alimentador se utilizan con frecuencia con fines educativos(Barbosa-Cánovas, Vega-Mercado 1996, pp. 11-12).

Cada tipo de secador tiene una configuración final particular para estas piezas. El esquema básico de la secadora se muestra en la Figura 5-2.

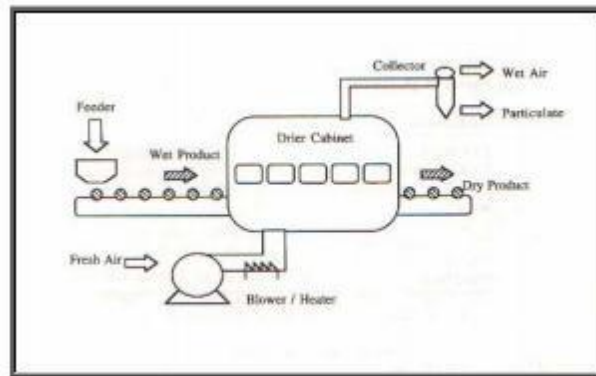


Ilustración 2-5: Configuración básica de un secador.

Fuente: (Barbosa-Cánovas, Vega-Mercado 1996, p. 12)

- *Generador de aire*

Los ventiladores o motores que se usan en los sistemas de refrigeración, así como los extractores que deben tener polarización inversa para funcionar, se usan en los secadores de aire porque deben tener un sistema que permita la entrada de aire a varios caudales la producción de aire(Barbosa-Cánovas, Vega-Mercado 1996, p. 12).

- *Calefactor*

Cuando se combina con los gases de escape de la combustión, se calienta el aire en los calentadores directos. Mediante el uso de placas de resistencia eléctrica, los productos o el aire se calientan en calentadores indirectos. Los calentadores directos son menos costosos que los indirectos, pero algunos productos pueden dañarse o contaminarse con gases(Barbosa-Cánovas, Vega-Mercado 1996, p. 12).

- *Alimentador*

Los transportadores de tornillo, las mesas giratorias y las bandejas vibratorias son los alimentadores que se utilizan con mayor frecuencia en los secadores de sólidos húmedos. Para asegurar una expansión de alimentación uniforme en secadores de lecho ancho, en ocasiones puede ser necesario utilizar alimentadores especializados.

Los termómetros de mercurio, los manómetros, los indicadores de humedad y las básculas que miden la pérdida de agua de los alimentos son algunas piezas adicionales que se utilizan en las secadoras para confirmar las condiciones en su interior(Barbosa-Cánovas, Vega-Mercado 1996, p. 13).

2.2.9.2. *Transferencia de calor*

Muchos materiales sólo pueden secarse calentándolos por encima del punto de ebullición del líquido, aunque la difusión en el sólido a través del gas es frecuentemente complicada. La difusión

ocurre en la fase gaseosa o sólida de la mayoría de los procesos de secado adiabático, pero las velocidades de secado frecuentemente dependen más de los coeficientes de transferencia de calor que de los coeficientes de transferencia de masa. Los siguientes objetivos se aplican a una secadora al calcular el consumo de calor:

- Eleve la temperatura del alimento a un punto de vapor.
- El líquido debe vaporizarse.
- Llevar la temperatura de los sólidos a su nivel ideal.
- Eleve la temperatura del vapor al nivel deseado.

2.2.9.3. Ventajas

- Las condiciones son estables: podemos elegir la temperatura y el tiempo de deshidratación, los cuales no cambian.
- Todas las enzimas y vitaminas termolábiles de los alimentos siguen estando presentes cuando la temperatura se establece entre 40 y 50 °C. No hace falta decir que ningún otro nutriente se modifica, por lo que las proteínas, los carbohidratos, las grasas, los minerales, los oligoelementos y las vitaminas no se modifican. Solo se pierde agua.
- Tenemos una variedad de texturas para elegir, que incluyen texturas suaves y láminas crujientes. Cuando queremos que pare, programamos el deshidratador para que lo haga.
- Bajo consumo de energía, ya que usamos muy poca energía.

2.2.10. Diseño

Antes de considerar las características únicas de un secador en el diseño de un aparato de secado, es necesario realizar un análisis previo de las características físicas y químicas del producto que será sometido al proceso de deshidratación.

Esta presunción nos permite elegir el mejor método de transferencia de calor para el sólido húmedo (conducción, convección o radiación), así como el modo de operación del equipo (directo o indirecto, continuo o intermitente).

Como resultado, se deben considerar una serie de factores para seleccionar la técnica que mejor facilitará el secado de una sustancia.

- La forma en que funciona el dispositivo.
- La naturaleza y calidad del producto, que necesita ser secado.
- Cómo se transmite el calor y desde dónde.

- Seguridad.
- El uso de la electricidad.
- La capacidad de regular la duración del tratamiento.
- Todas estas consideraciones suelen sopesarse al decidir el método de secado.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Localización del proyecto

El actual proyecto de Integración Curricular se realizará en la ciudad de Riobamba en la provincia de Chimborazo, en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, y en la empresa La Molienda “San Luis”, cuya ubicación geográfica típica se muestran a continuación.

Tabla 3-1: Ubicación geográfica de la ESPOCH

PROVINCIA	CHIMBORAZO
CANTÓN	RIOBAMBA
PARROQUIA	LIZARZABURU
ALTITUD	2850 m.s.n.m
DIRECCIÓN	Panamericana Sur, km. 1½

Fuente: (Google 2023a)

Realizado por: Nono Brayan, 2023.

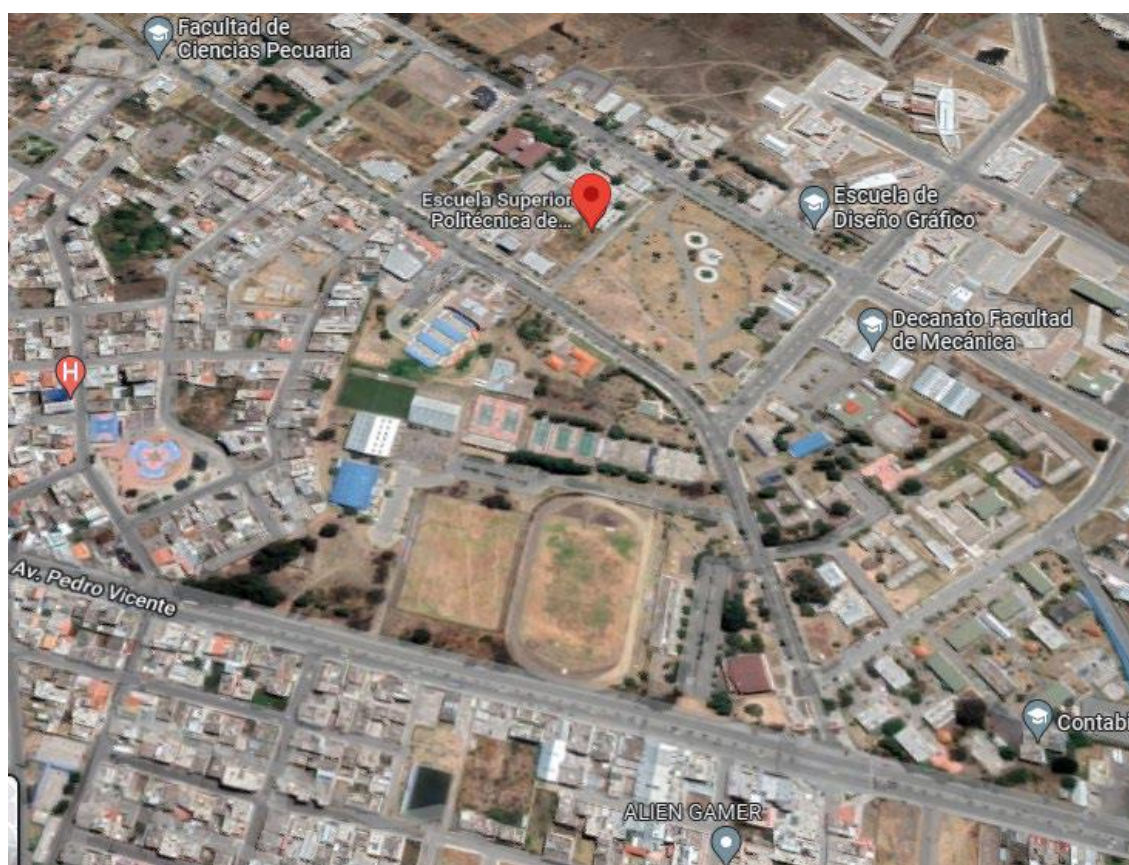


Ilustración 3-1: Ubicación Geográfica ESPOCH

Fuente: (Google 2023a)

Tabla 3-2: Ubicación geográfica de La Molienda “San Luis”

PROVINCIA	CHIMBORAZO
CANTÓN	RIOBAMBA
PARROQUIA	MALDONADO
ALTITUD	2850 m.s.n.m
DIRECCIÓN	Morona y Guayaquil

Fuente: (Google 2023)

Realizado por: Nono Brayan 2023.

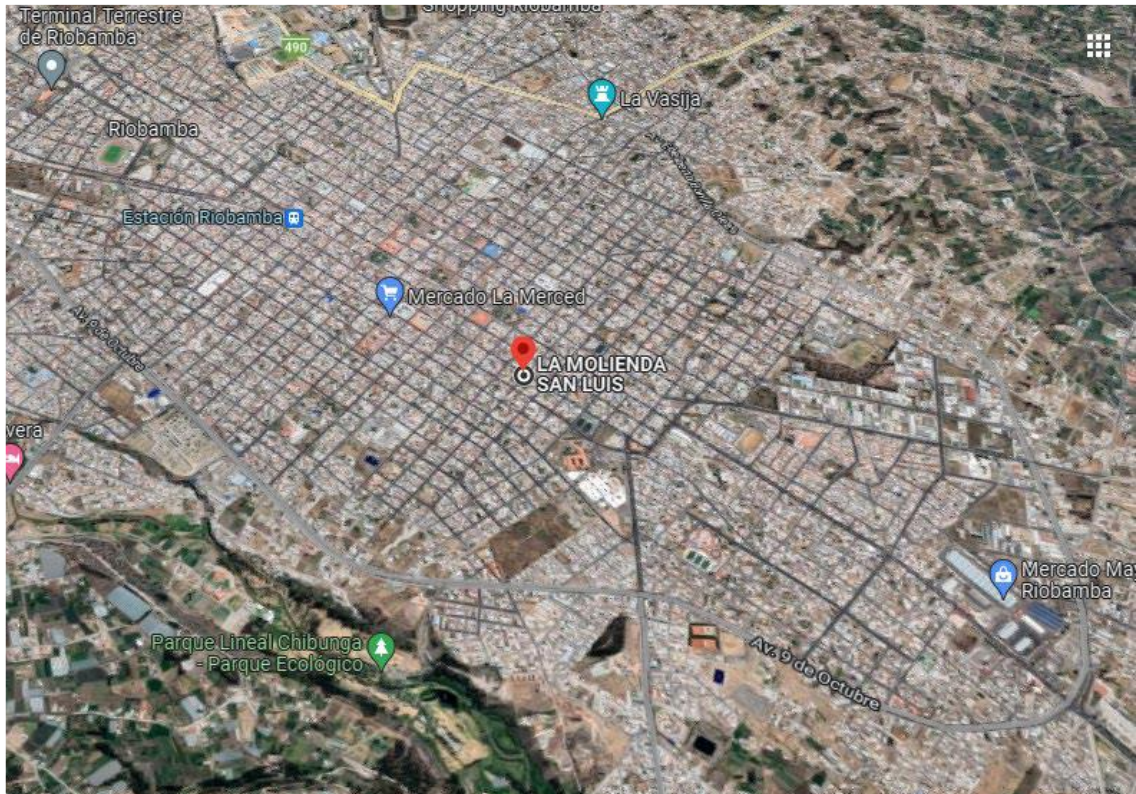


Ilustración 3-2: Ubicación Geográfica de La Molienda “San Luis”

Fuente: (Google 2023).

3.2. Ingeniería del proyecto

3.2.1. Tipo de proyecto

Este proyecto es técnico porque además de diseñar el secador de bandejas, explica cómo se aplican las operaciones unitarias y la transferencia de calor a estos y otros procesos, así como la búsqueda de varias variables operativas en nuestro sistema de secado. Para así desarrollar una metodología precisa y bien sustentada lo cual nos permita implementar el proceso de diseño, selección y uso de cada herramienta potencial para la deshidratación del banano, los recursos utilizados en el presente estudio serán de carácter teórico y experimental, durante nuestro proceso de secado, para explicar cualquier duda o pregunta que pueda presentarse.

3.2.2. *Técnicas*

El presente trabajo será realizado bajo las recomendaciones de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN. Estos estándares se utilizarán en el proceso para determinar el tipo o grado de banano utilizado, muestreo, caracterización de materias primas y productos procesados, asegurando así la calidad del producto.

3.2.3. *Muestreo*

Se tomarán muestras al azar de diferentes proveedores de plátano para ayudarnos a realizar análisis bromatológicos y simular el secado.

3.3. Caracterización de la materia prima

3.3.1. *Caracterización física de la materia prima*

Para aceptar o rechazar la materia prima es necesario cumplir ensayos y requisitos que se encuentren normalizados para ello la materia prima va a ser caracterizada mediante la norma para el banano (plátano) INEN 2801. Mediante los resultados obtenidos aplicando esta norma como referencia se aceptará o rechazará la muestra ya que a través de estos parámetros se determinará si la muestra está apta para su uso o consumo; es importante realizar estos ensayos ya que de estos dependerá la calidad del producto final.

En las siguientes tablas, se detallan los requisitos del plátano para consumo que se deben cumplir al momento de aceptar la materia prima.

Tabla 3-3: Disposiciones relativas a la calidad

REQUISITOS MÍNIMOS	MÉTODO
Estar enteros	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)
Estar sanos	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)
Estar limpios	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)
Estar exentos de plagas	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)
Estar exentos de daños causados por plagas	INEN 2801

	Norma para el banano (plátano)
Estar exentos de humedad externa anormal	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)
Estar exentos de cualquier olor y/o sabores extraños	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)
Ser de consistencia firme	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)
Estar exentos de daños causados por bajas temperaturas	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)
Estar exentos de malformaciones	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)
Estar sin pistilos	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)
Estar con el pedúnculo intacto	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)

Fuente:(NTE- INEN-2801 2013, p. 1)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

La tabla que se encuentra a continuación nos ayudara a clasificar nuestro plátano de acuerdo con las características que posea nuestra materia prima ya sea de categoría “Extra”, categoría I y categoría II

Tabla 3-4: Clasificación

CLASIFICACIÓN	PROCEDIMIENTO	MÉTODO
Categoría “Extra”	Los bananos (plátanos) de esta categoría deberán ser de calidad superior y característica de la variedad y/o tipo comercial. Los dedos de los bananos (plátanos) no deberán tener defectos, salvo defectos superficiales muy leves siempre y cuando no afecten al aspecto general del producto, su calidad, estado de conservación y presentación en el envase.	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)
Categoría I	Los bananos (plátanos) de esta categoría deberán ser de buena calidad y característicos de la variedad. Podrán permitirse, sin embargo, los siguientes defectos leves, siempre y cuando no afecten al aspecto general del producto, su calidad, estado de conservación y presentación en el envase: - defectos leves de forma y color;	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)

	<p>- defectos leves de la cáscara debidos rozaduras y otros defectos superficiales que no superen 2 cm² de la superficie total.</p> <p>En ningún caso los defectos deberán afectar a la pulpa del fruto.</p>	
Categoría II	<p>Esta categoría comprende los bananos (plátanos) que no pueden clasificarse en las categorías superiores, pero satisfacen los requisitos mínimos especificados en la tabla de requisitos mínimos. Podrán permitirse, sin embargo, los siguientes defectos, siempre y cuando los bananos (plátanos) conserven sus características esenciales en lo que respecta a su calidad, estado de conservación y presentación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - defectos de forma y color, siempre y cuando el producto mantenga las características normales del banano (plátano); - defectos de la cáscara debidos a raspaduras, costras, rozaduras, manchas u otros defectos superficiales que no superen 4 cm² de la superficie total. <p>En ningún caso los defectos deberán afectar a la pulpa del fruto.</p>	<p>INEN 2801 Norma para el banano (plátano)</p>

Fuente:(NTE-INEN-2801 2013, pp. 1-2)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

En la siguiente tabla se determinará el calibre de nuestro plátano ya sea este una mano de plátano o un racimo independientemente de la cantidad de materia prima utilizada.

Tabla 3-5: Disposiciones relativas a la clasificación por calibres

Fruto de referencia	Procedimiento	Método
Para las manos, el dedo medio en la hilera exterior de la mano.	Para calibrar los bananos (plátanos), se determina la longitud de los dedos por la curvatura exterior desde el extremo de la flor hasta la base del pedicelo donde la pulpa comestible termina y se define el diámetro como el grosor de la sección transversal entre las caras laterales.	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)

Para los racimos, el dedo junto a la sección de corte de la mano, en la hilera exterior del racimo.	Para calibrar los bananos (plátanos), se determina la longitud de los dedos por la curvatura exterior desde el extremo de la flor hasta la base del pedicelo donde la pulpa comestible termina y se define el diámetro como el grosor de la sección transversal entre las caras laterales.	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)
La longitud mínima no deberá ser menor de 14,0 cm y el grosor mínimo no menor de 2,7 cm.		

Fuente:(NTE-INEN-2801 2013, p. 2)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

En las siguientes tablas de acuerdo con la categoría de nuestro plátano se permitirán tolerancias de calidad y calibre.

Tabla 3-6: Disposiciones relativas a las tolerancias

TOLERANCIAS DE CALIDAD		
Clasificación	Tolerancia	Método
Categoría “Extra”	El 5%, en número o en peso, de los bananos (plátanos) que no satisfagan los requisitos de esta categoría, pero satisfagan los de la Categoría I o, excepcionalmente, que no superen las tolerancias establecidas para esta última.	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)
Categoría I	El 10%, en número o en peso, de los bananos (plátanos) que no satisfagan los requisitos de esta categoría, pero satisfagan los de la Categoría II o, excepcionalmente, que no superen las tolerancias establecidas para esta última.	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)
Categoría II	El 10%, en número o en peso, de los bananos (plátanos) que no satisfagan los requisitos de esta categoría ni los requisitos mínimos, con excepción de los productos afectados por podredumbre, imperfecciones notables, o cualquier otro tipo de deterioro que haga que no sean aptos para el consumo.	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)

Fuente:(NTE-INEN-2801 2013, pp. 2-3)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Tabla 3-7: Tolerancias de calibre

Fruto de referencia	Tolerancia	Método
Para las manos, el dedo medio en la hilera exterior de la mano.	Para todas las categorías, el 10%, en número o en peso, de los bananos (plátanos) que no satisfagan los requisitos relativos al calibre, pero que entren en la categoría inmediatamente superior o inferior a las indicadas.	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)
Para los racimos, el dedo junto a la sección de corte de la mano, en la hilera exterior del racimo.	Para todas las categorías, el 10%, en número o en peso, de los bananos (plátanos) que no satisfagan los requisitos relativos al calibre, pero que entren en la categoría inmediatamente superior o inferior a las indicadas.	INEN 2801 Norma para el banano (plátano)
La longitud mínima no deberá ser menor de 14,0 cm y el grosor mínimo no menor de 2,7 cm.		

Fuente:(NTE-INEN-2801 2013, p. 3)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

3.4. Simulación del proceso de secado para el plátano

Para la simulación del proceso de secado del plátano fue necesario la utilización de un secador tipo armario existente en el laboratorio de Procesos Industriales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. El objeto de esta práctica consistirá en someter la materia prima que en este caso viene a ser el plátano (*Musa aab*), a un secador de bandejas a cierta temperatura para así ir registrando continuamente los datos de la pérdida de humedad en un tiempo determinado hasta llegar a temperatura constante lo cual indica que la materia prima se ha secado por completo.

Con los datos obtenidos mediante la simulación de la operación unitaria de secado se procederá a construir las curvas: Humedad vs tiempo y humedad vs velocidad de secado, las cuales ayudarán a encontrar la humedad crítica y la humedad de equilibrio que presenta el plátano, así como también el tiempo constante.

Se realizaron 4 ensayos a diferentes temperaturas (70, 60,50 y 40 °C) con un espesor uniforme del plátano de 2 mm. Se siguió el siguiente procedimiento:

- Se tomó el plátano aleatoriamente de los diferentes proveedores de la empresa la molienda “San Luis”.

- Fue transportado hasta el laboratorio de procesos industriales de la facultad de ciencias de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.
- A continuación, se procedió a preparar el equipo en este caso el secador tipo armario del cual se tomó una bandeja y se procedió a lavarla para así evitar la contaminación de nuestra materia prima.
- Una vez lavada la bandeja se procede a pesar, luego se peló el plátano y se cortó en rodajas sumamente finas de manera uniforme con un espesor aproximadamente de 2 mm y se colocó sobre la bandeja de manera que quede totalmente cubierto para nuevamente pesar.
- Cuando el secador esté a la temperatura deseada se colocó la bandeja con el plátano dentro del secador y se procedió a realizar mediciones de peso cada 10 minutos utilizando una balanza mecánica calibrada.
- Este proceso se repite hasta obtener un peso constante.
- Se realiza el mismo procedimiento para las diferentes temperaturas.
- Terminado este procedimiento se realiza los análisis bromatológicos del plátano.

3.5. Proceso a nivel de laboratorio

Para iniciar el proceso de deshidratación del plátano a nivel de laboratorio se requiere de: materia prima, sustancias, materiales y equipos los cuales se detallan a continuación:

Tabla 3-8: Requerimientos en el proceso

Materia prima	Sustancias y reactivos	Materiales y equipos
Plátano (Musa aab)	Agua	EPP Balanza mecánica Balanza digital Bandeja de aluminio Secador de bandejas

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Realizados varios ensayos a nivel de laboratorio, a diferentes condiciones, se determinó el proceso adecuado, las condiciones y variables del proceso óptimas para la deshidratación del plátano, a continuación, se describe cada etapa del proceso con sus respectivos balances de masa y energía (secado), tomando como base de cálculo los 842,2 g de materia prima que corresponde a la deshidratación en las diferentes temperaturas.

3.5.1. *Recepción de la materia prima*

Una vez realizadas las pruebas correspondientes y verificado que la materia prima cumple con los requisitos, se receipta el plátano que se encuentra en óptimas condiciones para iniciar el proceso.



Ilustración 3-3: Recepción de la materia prima
Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

3.5.2. *Pelado*

Una vez receiptada la materia prima se procede a pelar el plátano para su posterior tratamiento.



Ilustración 3-4: Pelado de la materia prima
Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

3.5.3. *Picado*

Se cortó en rodajas sumamente finas de manera uniforme con un espesor aproximadamente de 2 mm.



Ilustración 3-5: Picado de la materia prima
Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

3.5.4. *Pesado*

Una vez realizado el picado, se realiza el pesado de la materia prima seleccionada, se pesó 159,8 g de plátano y se colocó sobre la bandeja de manera que quede totalmente cubierto.



Ilustración 3-6: Pesado de la materia prima

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

3.5.5. *Secado*

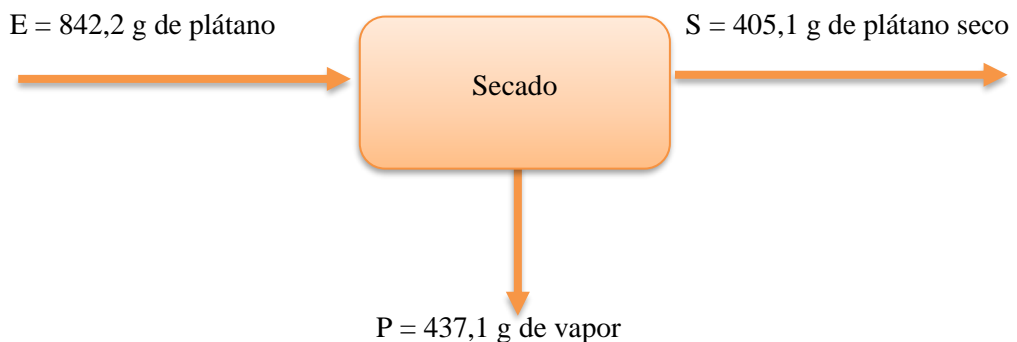
Cuando el secador esté a la temperatura deseada se colocó la bandeja con el plátano dentro del secador y se procedió a realizar mediciones de peso cada 10 minutos utilizando una balanza mecánica calibrada.



Ilustración 3-7: Secado de la materia prima

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

3.5.5.1. *Balace de masa en el secado.*



$$E = S + P$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{platano seco}}{\text{platano}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{405,1 \text{ g}}{842,2 \text{ g}} * 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 48,10 \%$$

3.6. Datos experimentales del proceso de secado del plátano.

Tabla 3-9: Datos experimentales del proceso de secado del plátano

Tiempo(h)	Peso de la muestra (kg)			
	70 °C	60 °C	50 °C	40 °C
0,000	0,2760	0,2230	0,1598	0,1834
0,167	0,2440	0,1965	0,1529	0,1759
0,333	0,2235	0,1530	0,1473	0,1669
0,500	0,2115	0,1296	0,1403	0,1594
0,667	0,1990	0,1152	0,1343	0,1534
0,833	0,1865	0,1036	0,1273	0,1469
1,000	0,1740	0,0953	0,1213	0,1419
1,167	0,1660	0,0829	0,1143	0,1359
1,333	0,1615	0,0758	0,1063	0,1294
1,500	0,1579	0,0693	0,1023	0,1264
1,667	0,1569	0,0653	0,0983	0,1219
1,833	0,1555	0,0623	0,0943	0,1189
2,000	0,1550	0,0603	0,0913	0,1149
2,167	0,1500	0,0601	0,0898	0,1134
2,333	0,0000	0,0594	0,0883	0,1119
2,500	0,0000	0,0593	0,0868	0,1104
2,667	0,0000	0,0592	0,0865	0,1103
2,833	0,0000	0,0591	0,0863	0,1102
3,000	0,0000	0,0590	0,0861	0,1100

Realizado por: Nono, Brayan, 2023

Tabla 3-10: Datos experimentales del proceso de secado del plátano

T	70 °C	60 °C	50 °C	40 °C
S	0,150	0,059	0,086	0,110
A	0,19	0,19	0,19	0,19

Realizado por: Nono,Brayan, 2023

Dónde:

T: Temperatura (°C)

S: Peso del sólido seco (kg)

A: Área de secado (m^2)

Se realiza los cálculos demostrativos para la temperatura de 50 °C.

3.6.1. Determinación de la Humedad de base seca

$$X_{BS} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa del solido seco}}$$

$$X_{BS} = \frac{0,1598 - 0,086}{0,086}$$

$$X_{BS} = \left(\frac{\text{kg agua}}{\text{Kg solido seco}} \right)$$

Tabla 3-11: Humedad en base seca

θ (h)	70 °C		60 °C		50 °C		40 °C	
	msh	X_{BS}	Msh	X_{BS}	Msh	X_{BS}	msh	X_{BS}
0,000	0,2760	0,840	0,2230	2,779	0,1598	0,858	0,1834	0,667
0,167	0,2440	0,627	0,1965	2,331	0,1529	0,778	0,1759	0,599
0,333	0,2235	0,490	0,1530	1,593	0,1473	0,713	0,1669	0,517
0,500	0,2115	0,410	0,1296	1,196	0,1403	0,631	0,1594	0,449
0,667	0,1990	0,327	0,1152	0,953	0,1343	0,562	0,1534	0,395
0,833	0,1865	0,243	0,1036	0,756	0,1273	0,480	0,1469	0,335
1,000	0,1740	0,160	0,0953	0,615	0,1213	0,410	0,1419	0,290
1,167	0,1660	0,107	0,0829	0,405	0,1143	0,329	0,1359	0,235
1,333	0,1615	0,077	0,0758	0,285	0,1063	0,236	0,1294	0,176
1,500	0,1579	0,053	0,0693	0,175	0,1023	0,189	0,1264	0,149
1,667	0,1569	0,046	0,0653	0,107	0,0983	0,143	0,1219	0,108
1,833	0,1555	0,037	0,0623	0,056	0,0943	0,097	0,1189	0,081
2,000	0,1550	0,033	0,0603	0,022	0,0913	0,062	0,1149	0,045
2,167	0,1500	0,000	0,0601	0,019	0,0898	0,044	0,1134	0,031
2,333	0,0000	0,000	0,0594	0,007	0,0883	0,027	0,1119	0,017

2,500	0,0000	0,000	0,0593	0,005	0,0868	0,009	0,1104	0,004
2,667	0,0000	0,000	0,0592	0,003	0,0865	0,006	0,1103	0,003
2,833	0,0000	0,000	0,0591	0,001	0,0863	0,003	0,1102	0,002
3,000	0,000	0,000	0,0590	0,000	0,0861	0,001	0,1101	0,001

Realizado por: Nono, Brayan, 2023

Donde:

θ = Tiempo (h).

msh = Representa el peso del sólido húmedo en: (kg agua/kg sólido seco).

X = Humedad (kg agua/kg sólido seco).

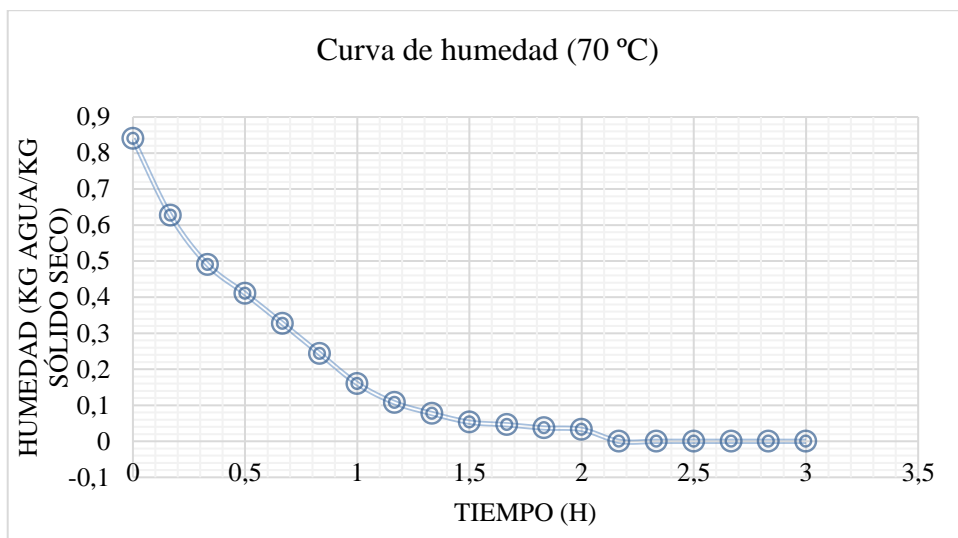


Ilustración 3-8: Curva de humedad (70 °C)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

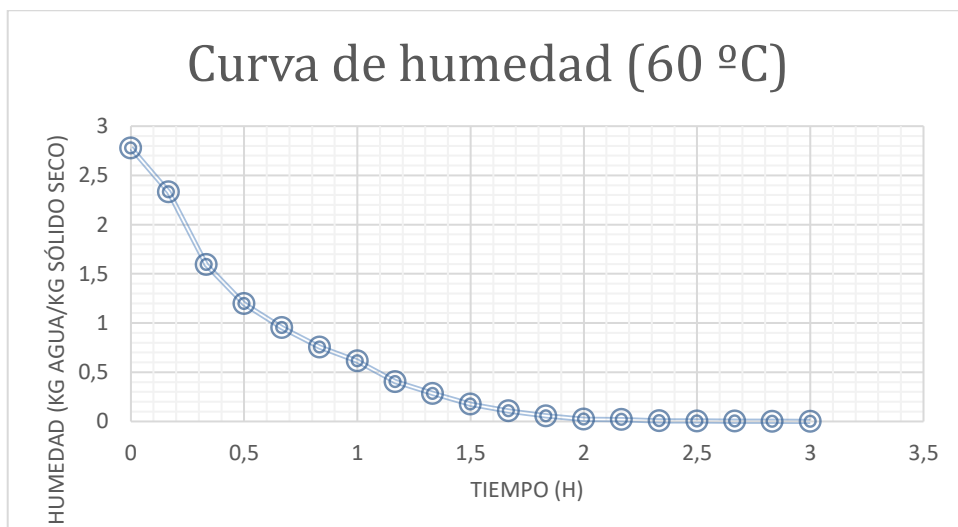


Ilustración 3-9: Curva de humedad (60 °C)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

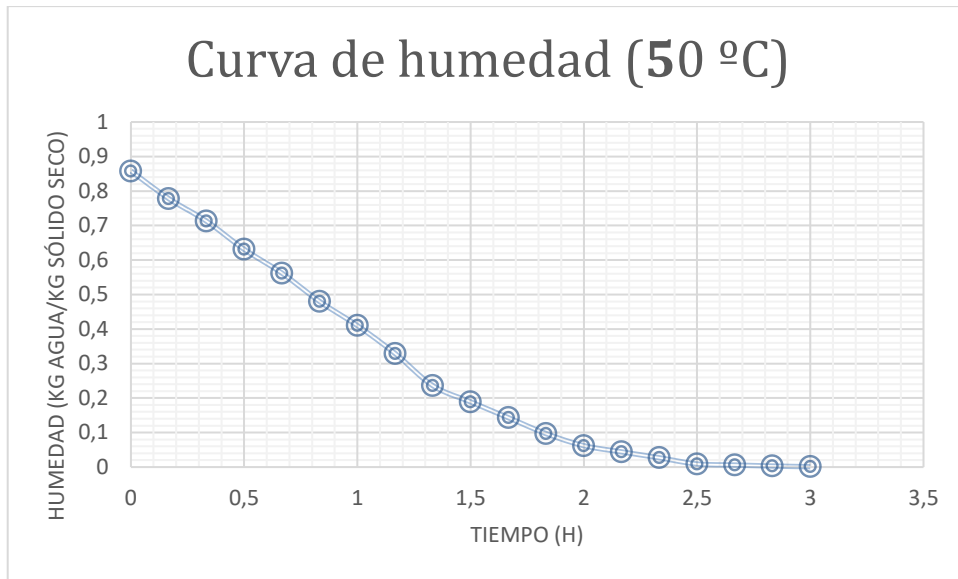


Ilustración 3-10: Curva de humedad (50 °C)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

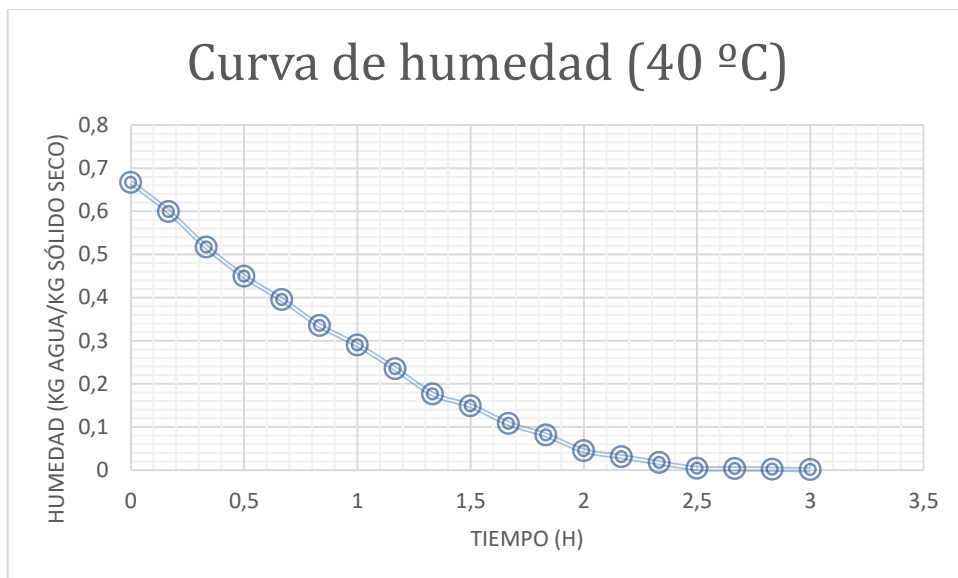


Ilustración 3-11: Curva de humedad (40 °C)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

3.6.2. *Determinación de la humedad media*

$$\bar{X} = \frac{x_n + x_{n+1}}{2}$$

Tabla 3-12: humedad media

70 °C		60 °C		50 °C		40 °C	
X_{BS}	\bar{X}	X_{BS}	\bar{X}	X_{BS}	\bar{X}	X_{BS}	\bar{X}
0,840	0,7335	2,779	2,5550	0,858	0,8180	0,667	0,6330
0,627	0,5585	2,331	1,9620	0,778	0,7455	0,599	0,5580
0,490	0,4500	1,593	1,3945	0,713	0,6720	0,517	0,4830
0,410	0,3685	1,196	1,0745	0,631	0,5965	0,449	0,4220
0,327	0,2850	0,953	0,8545	0,562	0,5210	0,395	0,3650
0,243	0,2015	0,756	0,6855	0,480	0,4450	0,335	0,3125
0,160	0,1335	0,615	0,5100	0,410	0,3695	0,290	0,2625
0,107	0,0920	0,405	0,3450	0,329	0,2825	0,235	0,2055
0,077	0,0650	0,285	0,2300	0,236	0,2125	0,176	0,1625
0,053	0,0495	0,175	0,1410	0,189	0,1660	0,149	0,1285
0,046	0,0415	0,107	0,0815	0,143	0,1200	0,108	0,0945
0,037	0,0350	0,056	0,0390	0,097	0,0795	0,081	0,0630
0,033	0,0165	0,022	0,0205	0,062	0,0530	0,045	0,0380
0,000	0,0000	0,019	0,0130	0,044	0,0355	0,031	0,0240
0,000	0,0000	0,007	0,0060	0,027	0,0180	0,017	0,0105
0,000	0,0000	0,005	0,0040	0,009	0,0075	0,004	0,0035
0,000	0,0000	0,003	0,0020	0,006	0,0045	0,003	0,0025
0,000	0,0000	0,001	0,0005	0,003	0,0020	0,002	0,0015
0,000	0,0000	0,000	0,0000	0,001	0,0005	0,001	0,0005

Realizado por: Nono, Brayán, 2023.

3.6.3. Determinación de la Variación del tiempo

$$\Delta\theta = \theta_n - \theta_{n-1}$$

Tabla 3-13: Variación de tiempo

θ (h)	$\Delta\theta$ (h)			
	70 °C	60 °C	50 °C	40 °C
0,000	0,000			
0,167	0,167			
0,333	0,167			
0,500	0,167			
0,667	0,167			
0,833	0,167			
1,000	0,167			
1,167	0,167			
1,333	0,167			

1,500	0,167
1,667	0,167
1,833	0,167
2,000	0,167
2,167	0,167
2,333	0,167
2,500	0,167
2,667	0,167
2,833	0,167
3,000	0,167

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Variación de Humedad (kg agua /kg sólido seco)

$$\Delta X = x_n - x_{n-1}$$

Tabla 3-14: Datos de la Variación de Humedad

θ (h)	70 °C		60 °C		50 °C		40 °C	
	X_{BS}	ΔX	X_{BS}	ΔX	X_{BS}	ΔX	X_{BS}	ΔX
0,000	0,840	-0,213	2,779	-0,448	0,858	-0,080	0,667	-0,068
0,167	0,627	-0,137	2,331	-0,738	0,778	-0,065	0,599	-0,082
0,333	0,490	-0,080	1,593	-0,397	0,713	-0,082	0,517	-0,068
0,500	0,410	-0,083	1,196	-0,243	0,631	-0,069	0,449	-0,054
0,667	0,327	-0,084	0,953	-0,197	0,562	-0,082	0,395	-0,060
0,833	0,243	-0,083	0,756	-0,141	0,480	-0,070	0,335	-0,045
1,000	0,160	-0,053	0,615	-0,210	0,410	-0,081	0,290	-0,055
1,167	0,107	-0,030	0,405	-0,120	0,329	-0,093	0,235	-0,059
1,333	0,077	-0,024	0,285	-0,110	0,236	-0,047	0,176	-0,027
1,500	0,053	-0,007	0,175	-0,068	0,189	-0,046	0,149	-0,041
1,667	0,046	-0,009	0,107	-0,051	0,143	-0,046	0,108	-0,027
1,833	0,037	-0,004	0,056	-0,034	0,097	-0,035	0,081	-0,036
2,000	0,033	-0,033	0,022	-0,003	0,062	-0,018	0,045	-0,014
2,167	0,000	0,000	0,019	-0,012	0,044	-0,017	0,031	-0,014
2,333	0,000	0,000	0,007	-0,002	0,027	-0,018	0,017	-0,013
2,500	0,000	0,000	0,005	-0,002	0,009	-0,003	0,004	-0,001
2,667	0,000	0,000	0,003	-0,002	0,006	-0,003	0,003	-0,001
2,833	0,000	0,000	0,001	-0,001	0,003	-0,002	0,002	-0,001
3,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	-0,001	0,001	-0,001

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

3.6.4. *Determinación de la Velocidad de secado*

$$w = \frac{S}{A} \left(-\frac{dx}{d\theta} \right)$$

Tabla 3-15: Velocidad de Secado 70 °C

\bar{x}	$\Delta\theta$	Δx	w	$\frac{1}{w}$
0,7335	0,167	-0,213	1,007	0,993
0,5585	0,167	-0,137	0,648	1,543
0,4500	0,167	-0,080	0,378	2,645
0,3685	0,167	-0,083	0,392	2,551
0,2850	0,167	-0,084	0,397	2,519
0,2015	0,167	-0,083	0,392	2,551
0,1335	0,167	-0,053	0,251	3,984
0,0920	0,167	-0,030	0,142	7,042
0,0650	0,167	-0,024	0,113	8,849
0,0495	0,167	-0,007	0,033	30,303
0,0415	0,167	-0,009	0,043	23,256
0,0350	0,167	-0,004	0,019	52,632
0,0165	0,167	-0,033	0,156	6,410
0,0000	0,167	0,000	0,000	-----
0,0000	0,167	0,000	0,000	-----
0,0000	0,167	0,000	0,000	-----
0,0000	0,167	0,000	0,000	-----
0,0000	0,167	0,000	0,000	-----
0,0000	0,167	0,000	0,000	-----

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Dónde:

\bar{X} = Humedad media (kg agua/kg sólido seco).

$\Delta\theta$ = Variación del tiempo (h).

ΔX = Representa la Variación de la humedad en: (kg agua/kg sólido seco).

W = Velocidad de secado (kg/m²h).

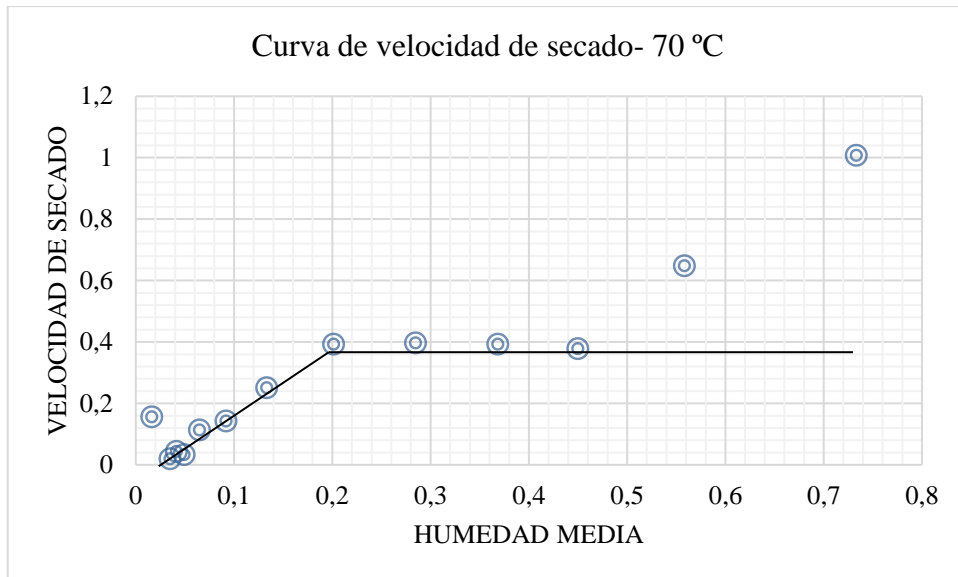


Ilustración 3-12: Curva de velocidad de secado (70 °C)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Tabla 3-16: Velocidad de Secado 60 °C

\bar{x}	$\Delta\theta$	Δx	w	$\frac{1}{w}$
2,5550	0,167	-0,448	0,833	1,200
1,9620	0,167	-0,738	1,372	0,729
1,3945	0,167	-0,397	0,738	1,355
1,0745	0,167	-0,243	0,452	2,212
0,8545	0,167	-0,197	0,366	2,732
0,6855	0,167	-0,141	0,262	3,817
0,5100	0,167	-0,210	0,390	2,564
0,3450	0,167	-0,120	0,223	4,484
0,2300	0,167	-0,110	0,204	4,902
0,1410	0,167	-0,068	0,126	7,937
0,0815	0,167	-0,051	0,095	10,526
0,0390	0,167	-0,034	0,063	15,873
0,0205	0,167	-0,003	0,006	166,667
0,0130	0,167	-0,012	0,022	45,455
0,0060	0,167	-0,002	0,004	250,000
0,0040	0,167	-0,002	0,004	250,000
0,0020	0,167	-0,002	0,004	250,000
0,0005	0,167	-0,001	0,002	500,000
0,0000	0,167	0,000	0,000	-----

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Dónde:

\bar{X} = Humedad media (kg agua/kg sólido seco).

$\Delta\theta$ = Variación del tiempo (h).

ΔX = Representa la Variación de la humedad en: (kg agua/kg sólido seco).

W = Velocidad de secado (kg/m²h).

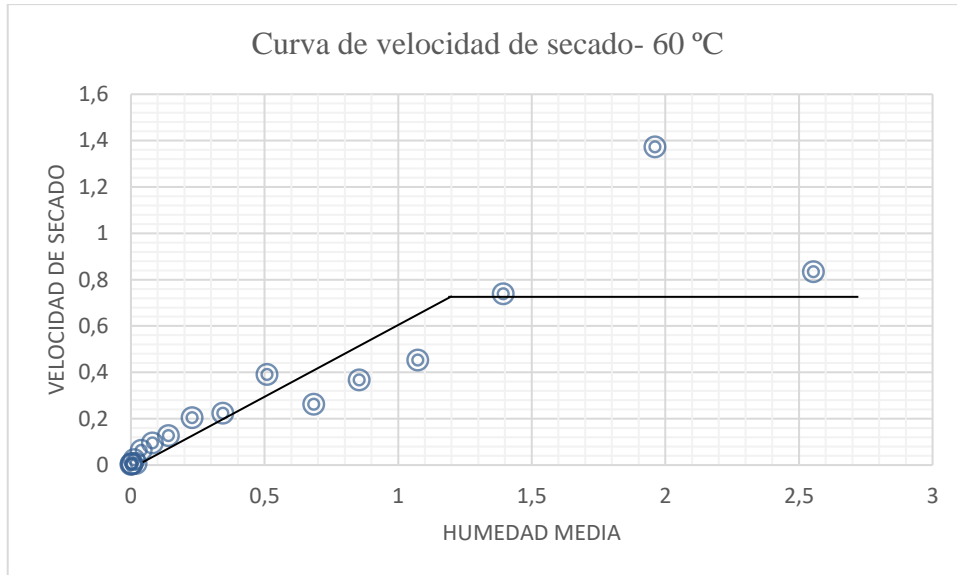


Ilustración 3-13: Curva de velocidad de secado (60 °C)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Tabla 3-17: Velocidad de secado 50 °C

\bar{x}	$\Delta\theta$	Δx	w	$\frac{1}{w}$
0,8180	0,167	-0,080	0,217	4,608
0,7455	0,167	-0,065	0,176	5,682
0,6720	0,167	-0,082	0,222	4,504
0,5965	0,167	-0,069	0,187	5,348
0,5210	0,167	-0,082	0,222	4,504
0,4450	0,167	-0,070	0,189	5,291
0,3695	0,167	-0,081	0,219	4,566
0,2825	0,167	-0,093	0,252	3,968
0,2125	0,167	-0,047	0,127	7,874
0,1660	0,167	-0,046	0,124	8,065
0,1200	0,167	-0,046	0,124	8,065
0,0795	0,167	-0,035	0,095	10,526
0,0530	0,167	-0,018	0,049	20,408
0,0355	0,167	-0,017	0,046	21,739
0,0180	0,167	-0,018	0,049	20,408

0,0075	0,167	-0,003	0,008	125,000
0,0045	0,167	-0,003	0,008	125,000
0,0020	0,167	-0,002	0,005	200,000
0,0005	0,167	-0,001	0,003	333,333

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Dónde:

\bar{X} = Humedad media (kg agua/kg sólido seco).

$\Delta\theta$ = Variación del tiempo (h).

ΔX = Representa la Variación de la humedad en: (kg agua/kg sólido seco).

W = Velocidad de secado (kg/m²h).

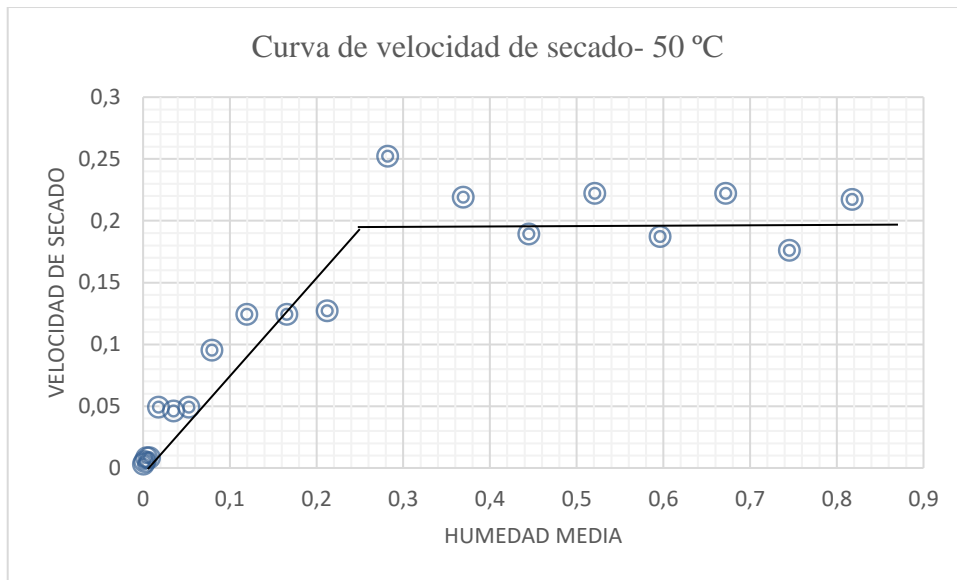


Ilustración 3-14: Curva de velocidad de secado (50 °C)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Tabla 3-18: Velocidad de secado 40 °C

\bar{x}	$\Delta\theta$	Δx	w	$\frac{1}{w}$
0,6330	0,167	-0,068	0,236	4,237
0,5580	0,167	-0,082	0,284	3,521
0,4830	0,167	-0,068	0,236	4,237
0,4220	0,167	-0,054	0,187	5,348
0,3650	0,167	-0,060	0,208	4,808
0,3125	0,167	-0,045	0,156	6,410
0,2625	0,167	-0,055	0,191	5,236
0,2055	0,167	-0,059	0,205	4,878

0,1625	0,167	-0,027	0,094	10,638
0,1285	0,167	-0,041	0,142	7,042
0,0945	0,167	-0,027	0,094	10,638
0,0630	0,167	-0,036	0,125	8,000
0,0380	0,167	-0,014	0,049	20,408
0,0240	0,167	-0,014	0,049	20,408
0,0105	0,167	-0,013	0,045	22,222
0,0035	0,167	-0,001	0,003	333,333
0,0025	0,167	-0,001	0,003	333,333
0,0015	0,167	-0,001	0,003	333,333
0,0005	0,167	-0,001	0,003	333,333

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Dónde:

\bar{X} = Humedad media (kg agua/kg sólido seco).

$\Delta\theta$ = Variación del tiempo (h).

ΔX = Representa la Variación de la humedad en: (kg agua/kg sólido seco).

W = Velocidad de secado (kg/m²h).

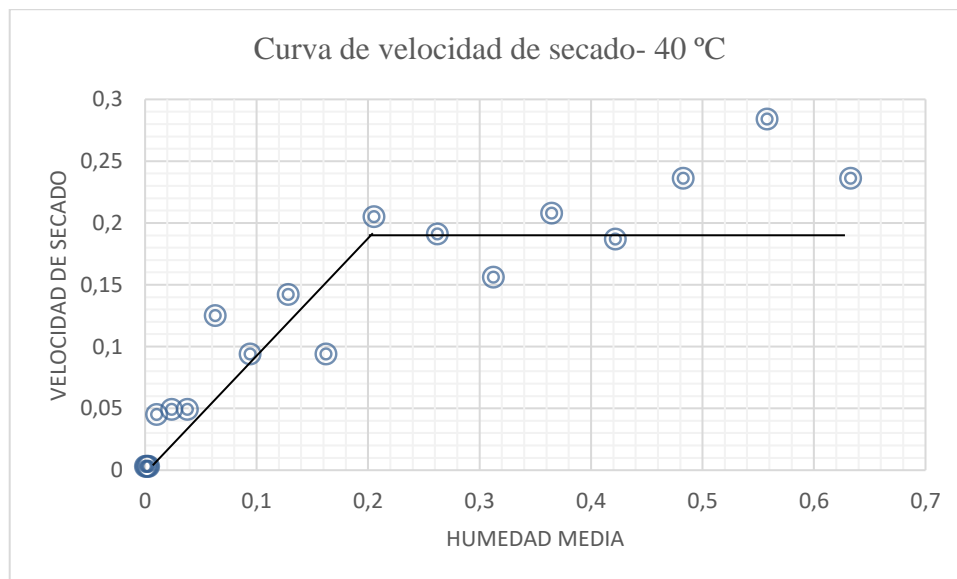


Ilustración 3-15: Curva de velocidad de secado (40 °C)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Una vez graficadas las curvas, analizadas y comparadas con la literatura se observa que la curva que más se asemeja al fenómeno de secado son las ilustraciones 10-3 y 14-3 que corresponden a la temperatura de 50 °C.

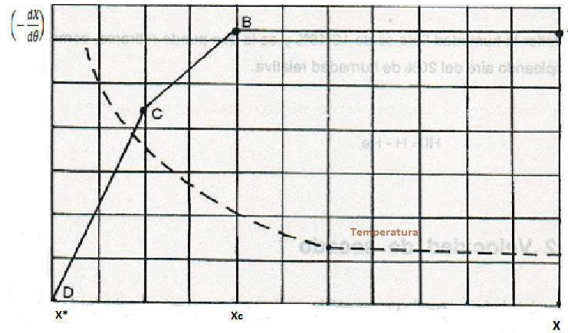
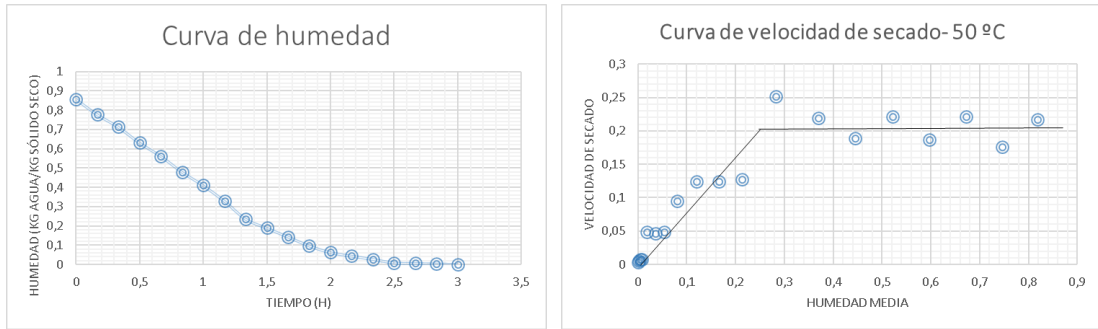


Ilustración 3-16: Curvas que más se asemejan al fenómeno de secado (50 °C)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Tabla 3-19: Datos obtenidos de la curva de velocidad de secado de la gráfica

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Humedad crítica	X _c	0,282	Kg agua/kg sólido seco
Humedad de equilibrio	X*	0,028	Kg agua/kg sólido seco

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Luego de haber encontrado los datos necesarios, se comenzará con los cálculos necesarios para establecer el tiempo total de secado.

3.6.5. Determinación de la Velocidad antecrítica gráfica

Para la determinación de la velocidad antecrítica grafica nos guiaremos utilizando la ilustración 14-3 en donde se observa un periodo constante desde 0,83 hasta 0,25 trazada con una recta en las curvas de secado.

Una vez identificada el área constante se procederá a determinar la velocidad antecrítica mediante la interpolar en el eje de las ordenadas con el valor de la humedad crítica que es igual a 0,282 kg agua/kg solido seco. Siendo así:

$$w_c = 0,214 \frac{kg}{m^2 h}$$

3.6.6. *Determinación de la velocidad antecrítica analítica*

Utilizando los valores de las tablas 10-3, 17-3 y 19-3 de la temperatura de 50 °C. y utilizando la aplicación de la ecuación 5 se tiene:

$$w_c = \frac{S}{A} \left(-\frac{X_i - X_c}{\Delta\theta} \right)$$

$$w_c = \frac{0,086 \text{ kg}}{0,19 \text{ m}^2} \left(-\frac{0,8180 - 0,286}{1,186 \text{ h}} \right)$$

$$w_c = 0,203 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ h}}$$

3.6.7. *Determinación de la velocidad poscrítica*

Utilizando los valores de la tabla 17-3, 19-3 y aplicando la ecuación 6 se tiene:

$$w_D = w_c - \frac{X_c - X}{X_c - X_f} (w_c - w_f)$$

$$w_D = 0,214 - \frac{0,286 - 0,2}{0,286 - 0,028} (0,214 - 0,13)$$

$$w_D = 0,186 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ h}}$$

3.6.8. *Determinación del tiempo antecrítico*

Mediante la ecuación 7 se tiene:

$$\theta_a = \frac{S}{A} \left(-\frac{X_i - X_c}{w_c} \right)$$

$$\theta_a = \frac{0,086 \text{ kg}}{0,19 \text{ m}^2} \left(-\frac{0,8180 - 0,286}{0,214 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ h}}} \right)$$

$$\theta_a = 1,125 \text{ h}$$

3.6.9. *Determinación del tiempo poscrítico gráfico*

Para establecer el tiempo poscrítico analítico se empieza con la gráfica de la integral $\frac{dx}{W}$ que se representa en la ecuación 8 versus humedad media y así determinando el área figurada con los

límites ya obtenidos de la humedad crítica hasta llegar a la humedad final como se muestra a continuación.

Inverso de la Velocidad vs Humedad media

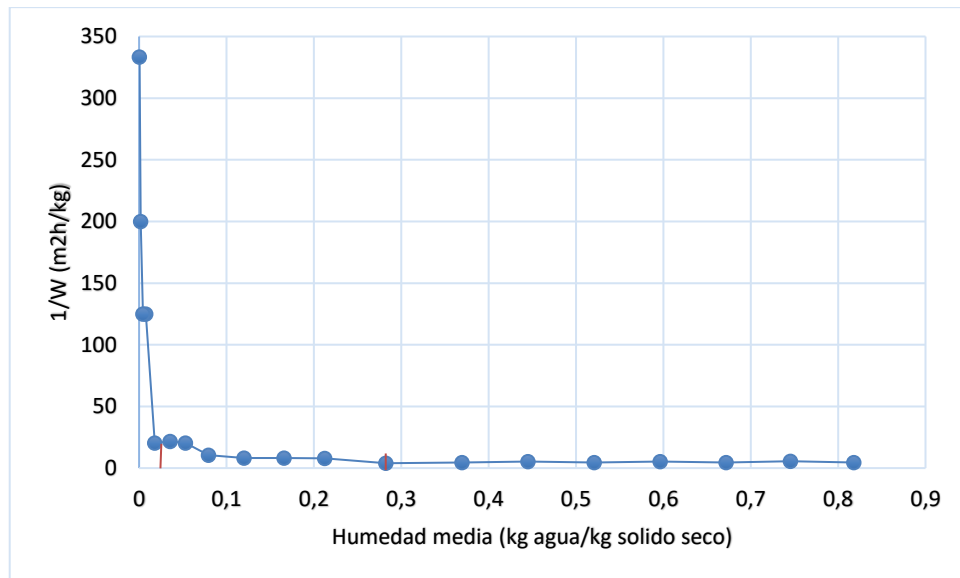


Ilustración 3-17: Inverso de la Velocidad vs Humedad media

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

El área bajo la curva obtenida de la gráfica es de 2,2.

$$\theta_p = \frac{S}{A} \int_{x_f}^{x_c} \frac{dx}{W}$$

$$\theta_p = \frac{0,086 \text{ kg}}{0,19 \text{ m}^2} * 2,2$$

$$\theta_p = 0,996 \text{ h}$$

3.6.10. Determinación del tiempo poscrítico analítico

Utilizando la ecuación 10 se tiene:

$$\theta_p = \frac{S}{A} \left(\frac{x_c - x^*}{w_c} \ln \frac{x_c - x^*}{x_f - x^*} \right)$$

$$\theta_p = \frac{0,086 \text{ kg}}{0,19 \text{ m}^2} \left(\frac{0,286 - 0,02}{0,214 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ h}}} \ln \frac{0,286 - 0,02}{0,03 - 0,02} \right)$$

$$\theta_p = 1,84 \text{ h}$$

3.6.11. Determinación del tiempo total de secado.

Los datos recogidos analíticamente, que proporcionan una representación más precisa de los tiempos reales en cada uno de los periodos, tanto antecríticos como poscríticos, se utilizan para calcular el tiempo total de secado.

Y empleando la ecuación 11 se tiene:

$$\theta T = \theta_a + \theta_p$$

$$\theta T = 1.125 + 0,996$$

$$\theta T = 2,121 \text{ h}$$

3.7. Balance de energía.

El balance de energía se realiza durante la etapa de secado del banano, para lo cual se determinan experimentalmente los siguientes parámetros, con el fin de establecer el flujo de calor necesario durante todo el proceso.

3.7.1. Constante de calorimetría

$$q_{\text{agua al ambiente}} + q_{\text{agua caliente}} + q_{\text{calorímetro}} = 0$$

$$m_1 S_{\text{H}_2\text{O}}(T_f - T_1) + m_2 S_{\text{H}_2\text{O}}(T_f - T_2) + C(T_f - T_1) = 0$$

$$C = \frac{m_1 S_{\text{H}_2\text{O}}(T_f - T_1) + m_2 S_{\text{H}_2\text{O}}(T_f - T_2)}{(T_1 - T_f)}$$

$$C = \frac{70\text{g} * 4,182 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} * (41 - 15)^\circ\text{C} + 70\text{g} * 4,182 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} * (41 - 70)^\circ\text{C}}{(15 - 41)^\circ\text{C}}$$

$$C = 46,8384 \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}}$$

Donde:

m_1 = Masa del agua al ambiente.

T_1 = Temperatura del agua al ambiente.

m_2 = Masa del agua caliente.

T_2 = Temperatura del agua caliente.

T_f = Temperatura del calorímetro.

s_{H_2O} = Calor específico del agua.

3.7.2. Capacidad específica del plátano.

$$q_{\text{agua al ambiente}} + q_{\text{plátano}} + q_{\text{calorímetro}} = 0$$

$$m_1 s_{H_2O} (T_3 - T_1) + m_2 s_{\text{plátano}} (T_3 - T_2) + C (T_3 - T_1) = 0$$

$$s_{\text{plátano}} = \frac{(m_1 s_{H_2O} + C) * (T_3 - T_1)}{m_2 (T_2 - T_3)}$$

$$s_{\text{plátano}} = \frac{\left(70 \text{ g} * 4.182 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} + 46,8384 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}}\right) * (24 - 16)^\circ\text{C}}{20 \text{ g} * (80 - 24)^\circ\text{C}}$$

$$s_{\text{plátano}} = 2,42556 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}}$$

Donde:

m_1 = Masa del agua al ambiente.

T_1 = Temperatura del agua al ambiente.

m_2 = Masa del plátano.

T_2 = Temperatura del agua caliente con el plátano.

T_3 = Temperatura del calorímetro.

C = Constante de calorimetría.

3.7.3. Flujo de calor del proceso

$$\Delta E_c + \Delta E_p + \Delta H = Q \pm W$$

$$\Delta H = Q$$

Donde:

ΔE_c = Variación de la energía cinética.

ΔE_p = Variación de la energía potencial.

ΔH = Variación de la entalpía.

Q = Flujo de calor.

W = Trabajo.

$$Q = m C_{p\text{plátano}} \Delta T$$

Donde:

Q = Flujo de calor

m = masa del plátano.

$C_{p\text{plátano}}$ = Capacidad calorífica del plátano.

ΔT = Variación de la temperatura

$$Q = 842,2 \text{ g} * 2,42556 \frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} * (70 - 40)^\circ\text{C}$$

$$Q = 61284,2 \text{ J}$$

3.7.4. Caracterización fisicoquímica del plátano deshidratado en forma de harina.

Para realizar la caracterización química de la materia prima bajo la norma INEN 2051 de cereales y leguminosas maíz molido, sémola, harina, griz. En primera instancia se debe obtener el plátano seco para luego ser procesado como harina y proceder con los análisis bromatológicos.

Tabla 3-20: Requisitos físicos

REQUISITO	VALORES	
	Mínimo	Máximo
Humedad, harina y sémola %(m/m)	-	13,0%

Fuente: (NTE-INEN-2051 2013, pp. 3-4)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Tabla 3-21: Requisitos de la sémola, harina, griz del maíz

Producto Requisito	SÉMOLA	HARINA	GRIT Z	MÉTODO DE ENSAYO
PROTEINA % mínimo	7,0 *	7,0 *	8,0 *	NTE INEN 519
CENIZA % máximo	1,0 *	1,0 *	1,0 *	NTE INEN 520
GRASA % máximo	2,25 *	2,25 *	2,0 *	NTE INEN 523

* Ceniza, proteína y grasa: en base seca

Fuente: (NTE-INEN-2051 2013, pp. 3-4)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Tabla 3-22: Caracterización fisicoquímica del plátano deshidratado en forma de harina

PARÁMETRO	PROCEDIMIENTO	MÉTODO
<p>Humedad</p>	<p>Para el procedimiento del horno se debe utilizar la misma muestra preparada para ambas pruebas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El vaso de precipitados se calienta a 130-133 °C durante 30 min, se enfría en un desecador y se pesa. • Pesar aproximadamente 5 g de la muestra en un plato y colocar en el horno. • Llevar la temperatura del horno a 130 - 133°C, mantenerla por 2 horas, el tiempo se cuenta desde que el horno llega a 130°C. • Transfiera la cápsula a un desecador y pésela cuando alcance la temperatura ambiente, aproximadamente de 30 a 45 minutos después de colocarla en el desecador. • Calentar la cápsula con el contenido durante 2 horas; Enfriar en desecador y pesar. • Repita el procedimiento de enfriamiento y pesaje hasta que la masa se detenga. $H = (m_t - m_s) * \frac{100}{m_t}$ <p>Siendo:</p> <p>H = humedad en porcentaje de masa</p> <p>m_t = masa de la muestra triturada, en gramos</p> <p>m_s = masa de la muestra seca, en gramos</p>	<p>NTE INEN 1235.</p> <p>Granos y cereales.</p> <p>Determinación del contenido de humedad.</p>
<p>Ceniza</p>	<p>La determinación debe hacerse dos veces en la misma muestra preparada.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un crisol de porcelana vacío se calienta en un silenciador a 550 ± 15 °C durante 30 min. Enfriar en desecador y pesar. • Transferir a un crisol y pesar con una precisión de 0,1 mg 5 g de la muestra. • Coloque el crisol y sus componentes junto a la puerta de la mufla abierta y déjelo allí durante unos minutos para evitar la pérdida de material que puede ocurrir si el crisol se coloca directamente sobre la boca. 	<p>NTE INEN 520:2013</p> <p>Harinas de origen vegetal.</p> <p>Determinación de la ceniza.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar el crisol en la mufla a 550 ± 15 °C hasta obtener una ceniza de color gris claro. La ceniza no se puede derretir. • Retire el crisol de muestra de la boca, enfríe en un desecador y pese tan pronto como haya alcanzado la temperatura ambiente, con una precisión de 0,1 mg. • Repita el proceso de calentamiento durante 30 min, enfríe y pese hasta que la masa no disminuya más. • El contenido de cenizas en muestras de polvo de origen vegetal calculado sobre la base del peso seco se calcula mediante la fórmula: $\%C = \frac{100(m3 - m1)}{(100 - H)(m2 - m1)} * 100$ <p>Siendo:</p> <p>%C = contenido de cenizas en harinas de origen vegetal, en porcentaje de masa.</p> <p>M1 = masa del crisol vacío, en g.</p> <p>m2 = masa del crisol con la muestra, en g.</p> <p>m3 = masa del crisol con las cenizas, en g.</p> <p>H = porcentaje de humedad en la muestra.</p>	
Proteína	<ul style="list-style-type: none"> • La definición debe copiarse en la misma muestra preparada. • Pesar de 0,7 a 2,2 g de muestra con una precisión de 0,1 mg y transferir a un matraz Kjeldahl. • Se añaden 15 g de una mezcla catalítica de sulfato de cobre, sulfato de potasio anhidro (o sulfato de sodio) y 25 cm³ de ácido sulfúrico concentrado. • Agite bien el matraz y colóquelo en el mechero del aparato Kjeldahl. Calentar suavemente hasta que desaparezca la espuma, luego aumentar el calor, girando el matraz con frecuencia durante la descomposición, hasta que el contenido del matraz sea transparente e incoloro; Seguir cocinando durante dos horas y dejar enfriar. • Añadir unos 200 cm³ de agua destilada, enfriar la mezcla por debajo de 25°C y añadir pequeños trozos de parafina o zinc para evitar que se hinche durante la cocción. 	INEN 519 HARINAS DE ORIGEN VEGETAL DETERMINACIÓN DE LA PROTEÍNA

	<ul style="list-style-type: none"> • Incline el matraz con su contenido y vierta cuidadosamente las paredes en él para que se formen 50 cm³ de solución concentrada de hidróxido de sodio en dos capas (o más si es necesario para obtener un alto grado de alcalinidad). • Conecte el matraz Kjeldahl al condensador a través del tubo de destilación. Se debe sumergir la salida del refrigerador en 50 cm³ de ácido sulfúrico 0,1 N contenido en un matraz Erlenmeyer de 500 cm³ con unas gotas de solución de alcohol metílico rojo añadidas. • Agite el matraz Kjeldahl hasta que la mezcla esté bien mezclada y caliente. • El destilador hasta que todo el amoníaco ingrese a la solución ácida en la botella de Erlenmeyer, alcanzando al menos 150 cm³. • Antes de retirar el matraz cónico, enjuague el extremo del refrigerador con agua destilada y titule el ácido residual en el matraz cónico con solución de hidróxido de sodio 0,1 N. <p>El contenido de proteína en muestras de polvo de origen vegetal en base seca se calcula como la siguiente ecuación:</p> $P=1,40(F)\frac{(V_1N_1-V_2N_2)-(V_3N_1-V_4N_2)}{m(100-H)}$ <p>Siendo:</p> <p>P = contenido de proteínas en harinas de origen vegetal, en porcentaje de masa.</p> <p>V1 = volumen de la solución 0,1 N de ácido sulfúrico, empleado para recoger el destilado de la muestra, en cm³.</p> <p>N1 = normalidad de la solución de ácido sulfúrico.</p> <p>V2 = volumen de la solución 0,1 N de hidróxido de sodio, empleado en la titulación, en cm³.</p> <p>N2 = normalidad de la solución de hidróxido de sodio.</p> <p>V3 = volumen de la solución 0,1 N de ácido sulfúrico empleado para recoger el destilado del ensayo en blanco, en cm³.</p> <p>V4 = volumen de la solución 0,1 N de hidróxido de sodio empleado en la titulación del ensayo</p>	
--	---	--

	<p>en blanco, cm³.</p> <p>m = masa de la muestra, en g.</p> <p>H = porcentaje de humedad en la muestra.</p> <p>F = factor para convertir el contenido de nitrógeno a proteínas (5,7)</p>	
Grasa	<ul style="list-style-type: none"> • La determinación se hará dos veces sobre la misma muestra preparada. • Lave la esfera Soxhlet y séquela en un horno a 100 ± 5 °C durante una hora. Transferir a un desecador y pesar con una precisión de 0,1 mg a temperatura ambiente. • En un dedal Soxhlet, pesar con precisión de 0,1 mg 2,35 g de harina, 2 g de arena seca; Mezclar bien con una espátula, limpiar con un pincel. • Cubra el tubo con un paño absorbente a modo de tapa y colóquelo en un horno precalentado a 130 ± 5°C durante una hora, luego transfiera el tubo y su contenido a un desecador y déjelo enfriar a temperatura ambiente. • Coloque el tubo y sus componentes en el aparato Soxhlet, agregue una cantidad adecuada de éter anhidro y extraiga durante cuatro horas si la tasa de rocío es de 5 a 6 gotas por segundo o durante 16 horas si la tasa de rocío es de 2 a 3 gotas cada segundo. • Después de completar la extracción, el solvente se recuperó por destilación en el mismo aparato y el solvente restante se eliminó en un baño de agua. • Introducir el balón que contiene los gránulos de grasa en un horno precalentado a 100 ± 5°C durante 30 minutos; Enfriar a temperatura ambiente en un desecador y pesar. • Continuar calentando durante 30 min, enfriar y pesar hasta que la diferencia entre los resultados de dos pesajes consecutivos no supere los 0,2 mg. $G = \frac{(m_2 - m_1)}{m(100 - H)} * 100$ <p>Siendo:</p> <p>G = contenido de grasa en la harina de origen vegetal, en porcentaje de masa.</p>	<p>INEN 523</p> <p>HARINAS DE ORIGEN VEGETAL DETERMINACIÓN DE GRASA</p>

	<p>m = masa de la muestra, en g.</p> <p>m1 = masa del balón vacío, en g.</p> <p>m2 = masa del balón con grasa, en g.</p> <p>H = porcentaje de humedad en la muestra.</p>	
--	--	--

Realizado por: Nono, Brayán, 2023.

La caracterización microbiológica del producto obtenido fue realizada por el laboratorio de servicios analíticos químicos y microbiológicos en agua y alimentos SAQMIC, cuyos parámetros y valores obtenidos se describen a continuación:

Tabla 3-23: Requisitos microbiológicos

MICROORGANISMO	N	c	VALORES		
			M	M	Método de ensayo
Mohos	5	2	10 ²	10 ⁵	

Fuente: (NTE-INEN-2051 2013, pp. 3-4)

Realizado por: Nono, Brayán, 2023.

En donde:

n = Número de muestras que se van a examinar

c = Representa el Número de muestras permitidas con resultados entre: m y M

m = Representa el Índice máximo permitido para encontrar cierto nivel de buena calidad.

M = Representa el Índice máximo permitido para encontrar un nivel de calidad admisible.

La caracterización de contaminantes del producto obtenido fue realizada por el laboratorio de servicios analíticos químicos y microbiológicos en agua y alimentos SAQMIC, cuyos parámetros y valores obtenidos se describen a continuación:

Tabla 3-24: Contaminantes

Metal	Requisito
Plomo, mg/kg	0,2
Aflatoxinas, ug/kg (ppb)	20

Fuente: (NTE-INEN-2051 2013, pp. 3-4)

Realizado por: Nono, Brayán, 2023.

3.8. Dimensionamiento.

Tabla 3-25: Consideraciones para el dimensionamiento

	Unidad	Valor
Capacidad de la Cámara	kg	15
Densidad del plátano	kg/L	0,81
Peso específico del plátano	N/m ³	7946.1

Volumen máximo de 15 kg de plátano	L	18,52
Número de niveles		5
Capacidad por bandeja	Kg	3
Volumen del producto en cada bandeja	L	3,4
Espacio entre bandejas	cm	10
Altura de las Bandejas	cm	3
Espesor de los niveles	cm	0,5
Espesor mínimo del plátano	cm	0,3
Espesor máximo del plátano	cm	0,8

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

3.8.1. Determinación de la carga del sólido en las bandejas

$$\frac{Ls}{A} = \delta\rho * t$$

$$\frac{Ls}{A} = 810 \frac{kg}{m^3} * 0,008m$$

$$\frac{Ls}{A} = 6,48 \frac{kg}{m^2}$$

Donde:

$$\frac{Ls}{A} = \text{Carga del sólido en las bandejas } \frac{kg}{m^2}$$

$$\delta\rho = \text{densidad del plátano } \frac{kg}{m^3}$$

t = espesor máximo del plátano m

3.8.2. Determinación del área total de las bandejas

$$Atb = \frac{L}{\frac{Ls}{A}}$$

$$Atb = \frac{15 kg}{6,48 \frac{kg}{m^2}}$$

$$Atb = 2,315 m^2$$

Donde:

$$Atb = \text{Área total de las bandejas } m^2$$

L = Capacidad de la cámara kg

$$\frac{Ls}{A} = \text{Carga del sólido en las bandejas } \frac{kg}{m^2}$$

3.8.2.1. Determinación del Área para una bandeja.

$$Ab = \frac{Atb}{Nb}$$
$$Ab = \frac{2,315 m^2}{5}$$
$$Ab = 0,463 m^2$$

Donde:

Ab = Área de una bandeja m^2

Atb = Área total de las bandejas m^2

Nb = número de bandejas

Luego de haber realizado los cálculos respectivos se determinó que para nuestra bandeja rectangular la cual posee un área de $0,46 m^2$ se determinó las siguientes medidas:

Longitud: 0,85 m

Ancho: 0,54 m

3.8.3. Determinación del espesor de las bandejas

Tabla 3-26: Características mecánicas del acero AISI 304

	Valor	Símbolo	Unidad
Resistencia a la tracción	50-70	t_t	Kg/mm ²

Fuente: (Ruiz 2016, p. 58)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

$$t_D = \frac{P * ab^2}{ta^2}$$

Donde:

t_D = Esfuerzo de diseño (lb/pulg²)

ta = Representa el Espesor del material por el cual están realizadas las bandejas en: (Acero AISI 304).

ab = Ancho de las bandejas (pulg)

P = Representa la Fuerza límite a la cual estarán las bandejas en: (lb/pulg²).

$$P = \frac{Cb * g}{ab * lb}$$
$$P = \frac{3 kg * 9,8 \frac{m}{s^2}}{0,54m * 0,85m}$$

$$P = 64,05 \frac{N}{m^2} = 0,0093 \frac{lb}{pulg^2}$$

Dónde:

P = Fuerza máxima a la cual estarán sometidas las bandejas (lb/pulg²)

Cb = Capacidad por bandeja (kg)

g = Gravedad (9,8 m/s²)

ab = Ancho de las bandejas (m)

lb = Longitud de las bandejas (m)

$$t_D = \frac{t_t}{fs}$$

Donde:

t_D = Esfuerzo de diseño (lb/ pulg²)

t_t = Resistencia a la tracción del acero AISI 304 (1705 lb/pulg²)

fs = Factor de seguridad. (1,5)

$$t_D = \frac{t_t}{fs}$$

$$t_D = \frac{1705 \frac{lb}{pulg^2}}{1,5}$$

$$t_D = 1136,6 \frac{lb}{pulg^2}$$

Reemplazando y despejando ta^2 en:

$$t_D = \frac{P * ab^2}{ta^2}$$

$$ta^2 = \frac{0,0093 \text{ psi} * (21,26 \text{ pulg})^2}{1136,6 \text{ psi}}$$

$$ta^2 = 0,0036983 \text{ pulg}^2$$

$$ta = 0,061 \text{ pulg} = 1,5494 \text{ mm}$$

Para una carga de 3 kg en bandejas de 0,54 m de ancho por 0,85 m de largo el espesor calculado es de 1,5494 mm será suficiente, sin embargo, por razones técnicas de soldadura y doblado se fijará el espesor de las placas de las bandejas 2 mm.

3.8.4. Determinación del volumen de las bandejas

$$V_b = V_1 + V_2 + V_3$$

Donde:

V_b = Representa el Volumen de las bandejas en: (m^3).

V_1 = Representa el Volumen de la base de la bandeja en: (m^3).

V_2 = Representa el Volumen del pretil ancho de la bandeja en: (m^3).

V_3 = Representa el Volumen del pretil largo de la bandeja en: (m^3).

$$V_1 = ab * lb * eb$$

$$V_1 = 0,54m * 0,85m * 0,002m$$

$$V_1 = 0,000918 m^3$$

Dónde:

V_1 = Volumen de la base de la bandeja (m^3)

ab = Ancho de la bandeja (m)

lb = Longitud de la bandeja (m)

eb = Espesor de la bandeja (m)

$$V_2 = ab * hb * eb$$

$$V_2 = 0,54 m * 0,03m * 0,002m$$

$$V_2 = 0,0000324 m^3$$

Dónde:

V_2 = Representa el Volumen del pretil ancho de la bandeja en: (m^3).

ab = Ancho de la bandeja (m)

hb = Altura de la bandeja (m)

eb = Espesor de la bandeja (m)

$$V_3 = lb * hb * eb$$

$$V_3 = 0,85m * 0,03m * 0,002m$$

$$V_3 = 0,000051m^3$$

Dónde:

V_3 = Representa el Volumen del pretil largo de la bandeja en: (m^3).

lb = Largo de la bandeja (m)

hb = Altura de la bandeja (m)

eb = Espesor de la bandeja (m)

Reemplazando en:

$$V_b = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_b = 0,000918m^3 + 0,0000324m^3 + 0,000051m^3$$

$$V_b = 0,0010014m^3$$

3.8.5. Determinación de la masa de las bandejas

$$\delta = \frac{Mb}{Vb}$$

$$Mb = \delta \times Vb$$

$$Mb = 7800 \frac{kg}{m^3} \times 0,0010014m^3$$

$$Mb = 7,81092 \text{ kg}$$

Dónde:

δ = Densidad del acero AISI 304 ($\frac{kg}{m^3}$)

Mb = Masa de la bandeja (kg)

Vb = Volumen de la bandeja (m^3)

Longitud de la cámara interna:

$$lci = lb + 0,10lb$$

$$lci = 0,85 + 0,10(0,85)$$

$$lci = 0,935 \text{ m}$$

Dónde:

lci = Longitud de la cámara (m)

lb = Longitud de las bandejas (m)

Ancho de la cámara interna:

$$aci = ab + 0,10ab$$

$$aci = 0,54 + 0,10(0,54)$$

$$aci = 0,594 \text{ m}$$

Dónde:

aci = Ancho de la cámara (m)

ab = Ancho de las bandejas (m)

3.8.6. Determinación de la altura de la cámara interna

$$hci = nb * hb + 6 * esp$$

$$hci = 5 \text{ m} * 0,03\text{m} + 6 * 0,1\text{m}$$

$$hci = 0,75 \text{ m} = 75 \text{ cm}$$

Dónde:

hci = Altura de la cámara interna (m)

nb = Numero de bandejas

hb = Altura de las bandejas (m)

esp = Espacio entre bandejas (m)

3.8.7. *Determinación del área de la cámara interna*

$$Aci = 2(aci * hci + lci * hci + aci * lci)$$
$$Aci = 2(0,594 * 0,75 + 0,935 * 0,75 + 0,594 * 0,935)m^2$$
$$Aci = 3,40428m^2$$

Dónde:

Aci = Área de la cámara interna (m^2)

aci = Ancho de la cámara interna (m)

hci = Altura de la cámara interna (m)

lci = Longitud de la cámara interna (m)

3.8.8. *Determinación del volumen de la cámara interna*

$$Vci = aci * hci * lci$$
$$Vci = 0,594 \text{ m} * 0,75 \text{ m} * 0,935 \text{ m}$$
$$Vci = 0,4165425 \text{ m}^3$$

Dónde:

Vci = Volumen de la cámara interna (m^3)

aci = Ancho de la cámara interna (m)

hci = Altura de la cámara interna (m)

lci = Longitud de la cámara interna (m)

3.8.9. *Determinación de la longitud en la cámara externa*

$$lce = lci + espt + 2(espm) + espv$$
$$lce = 0,935 \text{ m} + 0,003\text{m} + 2(0,003\text{m}) + 0,04\text{m}$$
$$lce = 0,984\text{m}$$

Dónde:

lce = Longitud de la cámara externa (m)

lci = Longitud de la cámara interna (m)

$espt$ = Espesor de la tapa (m)

$espm$ = Representa el Espesor del acero inoxidable en: (m).

$espv$ = Espacio del ventilador (m)

3.8.10. Determinación del ancho de la cámara externa

$$ace = aci + 4 (espm) + 2 (espa)$$

$$ace = 0,594 + 4 (0,003) + 2 (0,04)$$

$$ace = 0,686 \text{ m}$$

Dónde:

ace = Representa el Ancho de la cámara externa en: (m).

aci = Ancho de la cámara interna (m)

$espm$ = Representa el Espesor de acero inoxidable en: (m).

$espa$ = Espesor de la lana de vidrio (m)

3.8.11. Determinación de la altura de la cámara externa

$$hce = hci + espr + espa + 4 (espm)$$

$$hce = 0,75 + 0,15 + 0,04 + 4 (0,003)$$

$$hce = 0,952 \text{ m}$$

Dónde:

hce = Altura de la cámara externa (m)

hci = Altura de la cámara interna (m)

$espr$ = Espacio para las resistencias (m)

$espa$ = Espesor de la lana de vidrio (m)

$espm$ = Representa el Espesor de la lámina de acero inoxidable en: (m).

3.8.12. Determinación del área de la cámara externa

$$Ace = 2(ace * hce + lce * hce + ace * lce)$$

$$Ace = 2(0,686 * 0,952 + 0,984 * 0,952 + 0,686 * 0,984) \text{ m}^2$$

$$Ace = 4.529728 \text{ m}^2$$

Dónde:

Ace = Área de la cámara (m^2)

ace = Ancho de la cámara externa (m)

hce = Altura de la cámara externa (m)

lce = Longitud de la cámara externa (m)

3.8.13. Determinación del volumen de la cámara externa

$$V_{ce} = ace \times hce \times lce$$

$$V_{ce} = 0.686 \text{ m} \times 0.952 \text{ m} \times 0,984 \text{ m}$$

$$V_{ce} = 0.642622848 \text{ m}^3$$

Dónde:

V_{ce} = Volumen de la cámara externa (m^3)

ace = Ancho de la cámara externa (m)

hce = Altura de la cámara externa (m)

lce = Longitud de la cámara externa (m)

3.9. Cálculos de ingeniería

Estos datos son necesarios para realizar los cálculos respectivos a continuación:

Tabla 3-27: Propiedades físicas del plátano

	Valor	Símbolo	Unidad
Densidad	980	Δ	Kg/m ³
Capacidad calorífica	3,59	Cp	KJ/kg °C

Fuente: (Ruiz 2016, p. 66)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Tabla 3-28: Propiedades físicas del agua

Temperatura (°C)	Conductividad térmica (Kcal/kg)
50	568,9

Fuente: (Ruiz 2016, p. 66)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Tabla 3-29: Magnitudes aproximadas de algunos coeficientes de transferencia de calor

K acero (W/m K)	K lana de vidrio ((W/m K)	h vapor de agua ((W/m ² k)
16,3	0,038	2850

Fuente: (Ruiz 2016, p. 66)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

3.9.1. Determinación del calor necesario para calentar el sólido en el secador

$$Q = m C_{p\text{plátano}} \Delta T$$

$$Q = 15000 \text{ g} * 3,59 \frac{\text{J}}{\text{g}^{\circ}\text{C}} * (50 - 19)^{\circ}\text{C}$$

$$Q = 1669350 \text{ J} = 398,98 \text{ kcal}$$

Donde:

Q = Flujo de calor

m = masa del plátano.

$C_{p\text{plátano}}$ = Capacidad calorífica del plátano.

ΔT = Variación de la temperatura

3.9.2. *Determinación de la cantidad de energía eléctrica*

$$E = 398,98 \text{ kcal} \frac{1,16 \frac{\text{W}}{\text{h}}}{1 \text{ kcal}} = 462,8168 \frac{\text{W}}{\text{h}}$$

Donde:

E: Cantidad de energía eléctrica (KW/h)

3.9.3. *Determinación de la potencia de la resistencia*

$$P = 462,8168 \frac{\text{W}}{\text{h}} * 2,121 \text{ h}$$

$$P = 981,6344328 \text{ w}$$

Dónde P: potencia de la resistencia (W)

3.9.4. *Determinación de la resistencia convección al desprenderse vapor de agua del material a secar*

$$R_1 = \frac{1}{h_i A}$$

$$R_1 = \frac{1}{2850 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{K}} * 0,463 \text{ m}^2}$$

$$R_1 = 7.5783411 \times 10^{-4} \text{ } ^{\circ}\text{K/W}$$

Dónde.

R_1 = Resistencia a la transferencia de calor por convección ($^{\circ}\text{K/W}$)

h_i = Coeficiente convectivo de transferencia de calor ($\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{K}}$)

A = Representa el Área de la bandeja en: (m²)

3.9.5. Determinación de la resistencia a la conducción del acero

$$R_2 = \frac{L}{KA}$$
$$R_2 = \frac{0,003 \text{ m}}{16,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}} * 4,529 \text{ m}^2}$$
$$R_2 = 4.06379068 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{K/W}$$

Dónde:

R₂ = Resistencia a la transferencia de calor por conducción (°K /W)

k= Coeficiente de conductividad térmica (W/m°K)

A = Área de la cámara externa (m²)

L = Espesor del acero (m)

3.9.6. Determinación de la resistencia a la conducción de aislante térmico lana de vidrio

$$R_{3v} = \frac{L}{KA}$$
$$R_{3v} = \frac{0,04\text{m}}{0,38 \frac{\text{W}}{\text{mK}} * 4,529 \text{ m}^2}$$
$$R_{3v} = 0,02324203089 \text{ }^\circ\text{K/W}$$

Donde:

R_{3v} = Resistencia a la conducción del aislante térmico (°K /W)

k= Coeficiente de conductividad térmica del aislante térmico ($\frac{\text{W}}{\text{mK}}$)

A = Área de la cámara externa (m²)

L= Espesor de la lana de vidrio (m)

3.9.7. Determinación de la velocidad de transferencia de calor (1-2)

$$q_{1-2} = \frac{\Delta T}{R_1 + R_2}$$
$$R_{1-2} = \frac{\Delta T}{R_1 + R_2}$$
$$q_{1-2} = \frac{(373 - 292)^\circ\text{K}}{(7.5783411 \times 10^{-4} + 4.06379068 \times 10^{-5}) \text{ }^\circ\text{K/W}}$$

$$q_{1-2} = 101443,7554 \text{ W}$$

Donde:

q_{1-2} = Velocidad de transferencia de calor (W)

ΔT = Variación de la temperatura (°K)

R_1 = Resistencia a la transferencia de calor por convección (°K /W)

R_2 = Resistencia a la transferencia de calor por conducción (°K /W)

3.9.8. Determinación de la velocidad de transferencia de calor (1-3v)

$$q_{1-3v} = \frac{\Delta T}{R_1 + R_2 + R_{3v}}$$

$$q_{1-3v} = \frac{(373 - 292)^{\circ}\text{K}}{(7,5783411 \times 10^{-4} + 4,06379068 \times 10^{-5} + 0,02324203089)^{\circ}\text{K/W}}$$

$$q_{1-3v} = 3369,313875 \text{ W}$$

Dónde:

q_{1-3v} = Velocidad de transferencia de calor (W)

ΔT = Variación de la temperatura (°K)

R_1 = Resistencia a la transferencia de calor por convección (°K/W)

R_2 = Resistencia a la transferencia de calor por conducción (°K/W)

R_{3v} = Resistencia a la conducción del aislante térmico (°K/W)

3.9.9. Determinación del calor útil

$$Q_{\text{util}} = q_{1-2} - q_{1-3v}$$

$$Q_{\text{util}} = 101443,7554 - 3369,313875$$

$$Q_{\text{util}} = 98074,44153 \text{ W}$$

Dónde:

Q_{util} = Calor útil (W)

q_{1-3v} = Velocidad de transferencia de calor (W)

q_{1-2} = Velocidad de transferencia de calor (W)

3.10. Validación económica para la producción industrial plátano deshidratado en forma de harina

Para la factibilidad e implementación del proyecto propuesto, se realizó un análisis económico a nivel industrial de la producción de plátano deshidratado en forma de harina.

3.10.1. Inversión fija

Se determina la cantidad económica de bienes tangibles que una empresa debe adquirir para iniciar la producción y luego los costos necesarios.

Rentabilidad del proyecto

Tabla 3-30: Recursos materiales

Material	Especificaciones	Cantidad	Precio unitario (\$)	Total (\$)
Plancha de acero inoxidable AISI 304	Material resistente a la corrosión óptimo para procesamiento de este tipo de producto Fáciles de maquinar, no presenta problemas en la soldadura	5	230	1150
Plancha lana de vidrio	Estabilidad física y química, incombustibles	1	40	40
Vidrio templado	Vidrio de seguridad, procesado por tratamientos térmicos o químicos	1	30	30
Ventilador	Retira la humedad contenida dentro del sólido.	1	70	70
Resistencia eléctrica	Generador de calor	4	20	80
Soportes de acero inoxidable	Soportes resistentes a la oxidación y a la corrosión atmosférica	5	8	40
Plancha malla metálica MESH 40	Resistencia a la corrosión, a la humedad y apto para la retención del material	1	35	35
Sistema de control automático de temperatura.	Procesadores digitales que ejecutan operaciones específicas en el acondicionamiento del aire o en el enfriamiento de procesos.	1	800	800
			TOTAL (\$)	2245

Realizado por: Nono, Brayán, 2023.

Tabla 3-31: Inversión de recursos humanos para área de producción

INVERSIÓN DE RECURSOS HUMANOS PARA ÁREA DE PRODUCCIÓN			
Mano de obra para la instalación de equipo		50	50
Mano de obra para la instalación de infraestructura		70	70
Capacitaciones a los socios y trabajadores		100	100
SUBTOTAL			220

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Tabla 3-32: Costos totales de inversión fija de la empresa

Inversion	Costo (\$)
Re cursos y materiales	2245,00
Inversión de recursos humanos para área de producción	220,00
Subtotal	2465,00
Imprevisto (5%)	123,25
TOTAL	2588,25

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

3.10.2. Determinación de egresos

Cantidad económica necesaria para la adquisición de instrumentos requeridos para la producción de plátano deshidratado en forma de harina.

Tabla 3-33: Costos de materiales e insumos para la obtención de plátano deshidratado en forma de harina

Materiales o Insumos	Valor Por Presentación	Valor Unitario (\$)	Cantidad Requerida	Valor Total (\$)
Plátano	00,00	0,00	15 Kg	6 \$
Fundas de polietileno	\$0,02 por envase	0,02	10 unidades	0,20
Etiquetas	\$0,01 por envase	0,01	10 unidades	0,10
TOTAL DIARIO				6,30
TOTAL MENSUAL				138,6
TOTAL ANUAL				1663,2

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Tabla 3-34: Costo de servicios básicos requeridos

Servicio Básico	Costo Mensual (\$)	Costo Anual (\$)
Energía eléctrica	3,36	40
Agua potable	2,50	30
Telefonía	20	240
Internet	20	240
TOTAL	45,86	550

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Tabla 3-35: Costos de mano de obra directa

Personal	Cantidad	Total, Mensual (\$)	Total, Anual (\$)
Operario	1	500	6000
TOTAL		500	6000

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Tabla 3-36: Total de egresos anuales

Descripción	Valor Anual (\$)
Materiales e insumos	1663,2
Servicios básicos	550,00
Mano de obra	6000,00
Subtotal	8213,2
Imprevistos 5%	410,66
TOTAL	8623,86

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

3.10.3. Costos totales de inversión fija y egresos

A continuación, se muestra un cuadro resumen de los costos de inversión fijos totales y los costos de producción:

Tabla 3-37: Costos totales de inversión fija y egresos

Descripción	Valor (\$)
Inversión fija	2588,25
Egresos	8623,86
TOTAL	11212,11

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

3.10.4. Determinación de ingresos anuales

La capacidad del equipo será de 15 kg de materia prima obteniendo al final del proceso 7,5 kg de plátano deshidratado es decir 16,5 lb. Se realizarán tres etapas de secado al día teniendo un total de 22,5 kg de plátano deshidratado. Entonces se tendrá 49,6 libras de harina de plátano al día, obteniendo 50 unidades de 1 libra, con una utilidad de ganancia deseada del 20 %

3.10.4.1. Costos de producción por unidad producida

$$CP = \frac{\text{inversión fija} + \text{egresos anuales}}{N^{\circ} \text{ unidades producidas} * \text{Dias produccion mensual} * \text{por meses totales}}$$

$$CP = \frac{2588,25 + 8623,86}{50 * 22 * 12}$$

$$CP = \frac{11212,11}{13200}$$

$$CP = 0,85$$

3.10.4.2. *Precio de venta unitario al público*

$$PVP = CP \left(\frac{100}{100 - U} \right)$$

$$PVP = 0,85 \left(\frac{100}{100 - 20} \right)$$

$$PVP = 1,06$$

Donde:

CP = Costo de la producción por unidad producida

U = Utilidad deseada del 20%

Tabla 3-38: Ingresos anuales

Unidades Anuales Producidas (lb)	Costo Anual De Producción (\$)	Costo De Producción Por Unidad (\$)	Pvp (\$)	Ingresos Anuales
14284,8 (11b)	12142,08	0,85	1,06	15141.888

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

3.10.5. *Cálculo de la viabilidad del proyecto*

Para determinar si el proyecto propuesto es viable, se realiza el cálculo de los siguientes factores: Valor actual neto (VAN), Tasa interna de retorno (TIR) y el Periodo de recuperación (PDR).

3.10.5.1. *Valor Actual Neto (VAN).*

La determinación del VAN permite determinar la viabilidad del proyecto actuando como un indicador de inversión, además se tiene una percepción de las ganancias o pérdidas al ejecutarse el proyecto, se toma en cuenta los siguientes criterios:

VAN < 0: Proyecto no viable, generación de pérdidas.

VAN > 0: Proyecto viable, generación beneficios o ganancias.

VAN = 0: Proyecto de inversión insignificante, generación de pérdidas o ganancias.

Tabla 3-39: Cálculo del VAN

PERIODO INICIAL	INVERSIÓN INICIAL (\$)			
0	Inversión fija = 2588,25			
Periodos (años)	Ingresos (\$)	Egresos (\$)	Flujo de caja (\$) Ft	$\frac{Ft}{(1+i)^t}$
1	15141.888	8623,86	6518.028	5925.48
2	15141.888	8623,86	6518.028	5386.8
3	15141.888	8623,86	6518.028	4897.09
4	15141.888	8623,86	6518.028	4451.90
5	15141.888	8623,86	6518.028	4047.18
Tasa de descuento	i = 10%	VAN (\$):		24708.45

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

$$VAN = -Inv + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+i)^t}$$

$$VAN = -2588,25 + 24708.45$$

$$VAN = 22120,2$$

3.10.5.2. Tasa Interna de Retorno

La TIR determina la tasa de retorno de la inversión, es decir, la ganancia o pérdida resultante de la ejecución del proyecto, teniendo en cuenta que:

TIR > i: La tasa de rendimiento es mayor que la tasa de rendimiento mínima, la inversión es rentable.

TIR < i: Si la tasa de beneficio es baja, se rechaza la inversión en el proyecto.

TIR = i: La inversión en el proyecto debe hacerse en el caso de mejorar el enfoque competitivo.

$$VAN = 0 = -Inv + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+i)^t}$$

$$0 = -Inv + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+i)^t}$$

Se calcula un valor de i que sea igual al valor de VAN (0).

Tabla 3-40: Cálculo del TIR

PERIODO INICIAL	INVERSIÓN INICIAL (\$)			
0	Inversión fija = 2588,25			
Periodos (años)	Ingresos (\$)	Egresos (\$)	Flujo de caja (\$) Ft	$\frac{Ft}{(1+i)^t}$
1	15141.888	8623,86	6518.028	
2	15141.888	8623,86	6518.028	
3	15141.888	8623,86	6518.028	
4	15141.888	8623,86	6518.028	
5	15141.888	8623,86	6518.028	
Tasa de descuento	i = 10%	TIR:		2,513611

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

$$0 = -2588,25 + \frac{6518.028}{(1+i)^1} + \frac{6518.028}{(1+i)^2} + \frac{6518.028}{(1+i)^3} + \frac{6518.028}{(1+i)^4} + \frac{6518.028}{(1+i)^5}$$

$$i = 2.513611$$

$$0 = 0$$

$$\text{TIR} = 2,513611$$

$$\text{TIR} = 251,3611 \%$$

3.10.5.3. *Periodo de recuperación (PDR).*

PDR calcula el tiempo estimado en que la inversión inicial requerida para completar el proyecto será pagada y rentable.

$$PDR = \text{Último período acumulado negativo} + \frac{\text{Último flujo acumulado negativo}}{\text{Flujo de caja del año siguiente}}$$

Tabla 3-41: Cálculo del PDR

Periodo (Año)	Flujo de Caja	Flujo Acumulado
0	-2588,25	-2588,25
1	6518.028	3929.778
2	6518.028	10447.806
3	6518.028	16965.834
4	6518.028	23483.862
5	6518.028	30001.89

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

$$PDR = 0 + \frac{-2588,25}{3929,778}$$

$$PDR = 0,66 \text{ años} = 7 \text{ meses y } 27 \text{ días}$$

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados de la caracterización de la materia prima

4.1.1. Resultados obtenidos de la caracterización física de la materia prima

Se realizó la caracterización física de la materia prima bajo la norma INEN 2801:2013 NORMA PARA EL BANANO (PLÁTANO) (CODEX STAN 205-1997, MOD).

Tabla 4-1: Resultados de la caracterización física de la materia prima

Requisitos mínimos	Método	Unidades	Resultado	Tolerancia	Observaciones
DISPOSICIONES RELATIVAS A LA CALIDAD CATEGORÍA “EXTRA”					
Estar enteros	INEN 2801	%	99	5% en número o en peso	Tomando el dedo como referencia el plátano se encuentra entero.
Estar sanos	INEN 2801	%	99	5% en número o en peso	Deberán excluirse los productos afectados por podredumbre o deterioro.
Estar limpios	INEN 2801	%	96	5% en número o en peso	Se encuentran prácticamente exentos de cualquier materia extraña visible.
Estar exentos de plagas	INEN 2801	%	98	5% en número o en peso	No se encontró nada que afecten al aspecto general del producto.
Estar exentos de daños causados por plagas	INEN 2801	%	99	5% en número o en peso	No se encontró nada que afecten al aspecto general del producto.
Estar exentos de humedad externa anormal	INEN 2801	%	99	5% en número o en peso	Salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica y los bananos (plátanos).
Estar exentos de cualquier olor y/o sabores extraños	INEN 2801	%	99	5% en número o en peso	Se encuentran prácticamente exentos de

					cualquier olor y sabor extraños.
Ser de consistencia firme	INEN 2801	%	99	5% en número o en peso	Son de consistencia firme.
Estar exentos de daños causados por bajas temperaturas	INEN 2801	%	98	5% en número o en peso	Se encuentran prácticamente exentos de cualquier daño causado por bajas temperaturas.
Estar exentos de malformaciones	INEN 2801	%	95	5% en número o en peso	No poseen curvaturas anormales de los dedos.
Estar sin pistilos	INEN 2801	%	98	5% en número o en peso	En su gran mayoría se encuentran sin pistilos.
Estar con el pedúnculo intacto	INEN 2801	%	99	5% en número o en peso	Sin estar doblados ni dañados por hongos o desecados.

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Para la obtención del plátano deshidratado, se empieza con la recepción de la materia prima para someterla a las pruebas correspondientes bajo la norma INEN 2801, la cual nos ayudara con la caracterización física de nuestra materia prima entonces entre las disposiciones relativas a la calidad de acuerdo a los requisitos mínimos estas se cumplen en un promedio del 98 %, de acuerdo a este resultado nuestra materia prima se clasifica en la categoría extra según la norma INEN 2801, concluyendo que nuestra materia prima está en óptimas condiciones para proceder con la etapa de secado.

Tabla 4-2: Disposiciones relativas a la clasificación por calibres

Requisitos mínimos	Método	Unidades	Resultado	Tolerancia
DISPOSICIONES RELATIVAS A LA CLASIFICACIÓN POR CALIBRES CATEGORÍA” EXTRA”				
Longitud	INEN 2801	Cm	16,3	10%, en número o en peso. La longitud mínima no deberá ser menor de 14,0 cm
Grosor	INEN 2801	Cm	3,5	10%, en número o en peso. El grosor mínimo no menor de 2,7 cm.

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Es necesario determinar el calibre de nuestro plátano ya sea este una mano de plátano o un racimo independientemente de la cantidad de materia prima utilizada, se determinó una longitud de 16,3 y grosor de 3,5.

4.1.2. Resultados de la obtención de plátano deshidratado a nivel laboratorio

4.1.2.1. Resultados del balance de materia

Tabla 4-3: Resultados del balance de materia

Etapa	Entrada (g)	Salida (g)	Rendimiento (%)
Secado	842,2	405,1	48,10

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

En la etapa de secado se obtuvo una base de cálculo de 842,2 g con una salida de 405,1 g dándonos un rendimiento 48,10 % esto debido a la pérdida por humedad.

4.1.2.2. Resultado del balance de energía

Tabla 4-4: Resultados del balance de energía

Etapa	Flujo de calor (J)
Secado	61284,2

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

En el balance de energía se obtuvo un flujo de calor de 61284,2 J para el proceso de secado.

4.1.3. Resultados de la caracterización fisicoquímica del plátano deshidratado en forma de harina

Tabla 4-5: Requisitos físicos y químicos de la harina obtenida

Requisito	Unidad	Método	Resultado	Límite de aceptación NTE INEN 2051:2013 REQUISITOS
Humedad	%	INEN 2051	8,03	13,0 (máximo)
Proteína	%	INEN 519	7,02	7,0 (mínimo)
Ceniza	%	INEN 520	0,58	1,0 (máximo)
Grasa	%	INEN 523	2,12	2,25 (máximo)
Tamaño de partícula Pasa por un tamiz 300 µm	%	INEN 300 µm	99	98 (mínimo)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Los valores obtenidos de los análisis físicos y químicos fueron: humedad 8,03 %, proteína 7,02 %, ceniza 0,58 %, grasa 2,12 % y tamaño de partícula 99%, obteniendo estos análisis se concluye que los resultados están dentro los límites de aceptabilidad de la NTE INEN 2051:2013.

Tabla 4-6: Requisitos microbiológicos para plátano deshidratado en forma de harina

Requisito	Unidad	Método	Resultado	Límite De Aceptación NTE INEN 2051:2013
Mohos y levaduras	UFC/g	INEN 1 529-10	210	10 ⁵ (máximo)
E. Coli	UFC/g	INEN 1 529-6	<10	< 10

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Entre los requisitos microbiológicos para plátano deshidratado en forma de harina se obtuvieron los siguientes valores: 210 UFC/g de Mohos y levaduras y < 10 UFC/g de E. Coli lo que determina que los resultados obtenidos se encuentran dentro de los límites de aceptación de la NTE INEN 2051:2013.

Tabla 4-7: Contaminantes

Requisito	Unidad	Método	Resultado	Límite De Aceptación NTE INEN 2051:2013
Plomo	mg/kg	Colorimétrico	0,17	0,2(máximo)
Aflatoxinas	ug/kg (ppb)	INEN 1 819	20	20(máximo)

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

En el análisis de contaminantes se obtuvo los siguientes resultados: plomo 0,17 mg/kg y aflatoxinas 20 ug/kg (ppb) lo que nos indica que los resultados obtenidos se encuentran dentro de los límites de aceptación de la NTE INEN 2051:2013 para ser empleada.

4.2. Resultado del dimensionamiento del secador de bandejas

Tabla 4-8: Resultados del Dimensionamiento de las bandejas

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidad
Longitud	Lb	0,85	m
Ancho	Lb	0,54	m
Espesor	Ta	0,002	m
Área	Ab	0,463	m ²
Volumen	Vb	0,001	m ³

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

En el dimensionamiento de las bandejas se obtuvo un área total de $0,463 \text{ m}^2$ con un volumen de $0,001 \text{ m}^3$ y espesor de $0,002 \text{ m}$, para una capacidad de 15 kg de plátano distribuida en 5 bandejas de 3 kg cada una.

Tabla 4-9: Resultados del dimensionamiento de la cámara interna del secador

Cámara interna	Unidad	Valor	Unidad
Longitud	Lci	0,935	m
Ancho	Aci	0,594	m
Altura	Hci	0,75	m
Área	Aci	3,404	m^2
Volumen	Vci	0,417	m^3

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

La cámara interna del secador tendrá un área de $3,404 \text{ m}^2$ con un volumen de $0,417 \text{ m}^3$ y altura de $0,75 \text{ m}$ para una capacidad de 15 kg de plátano.

Tabla 4-10: Resultados del dimensionamiento de la cámara externa del secador

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidad
Longitud	Lce	0,984	m
Ancho	Ace	0,686	m
Altura	Hce	0,952	m
Área	Ace	4,529	m^2
Volumen	Vce	0,643	m^3

Realizado por: Nono, Brayan, 2023.

Con los cálculos realizados se determinó que el secador de bandejas tendrá una longitud de $0,984 \text{ m}$, ancho $0,686 \text{ m}$, y altura de $0,952 \text{ m}$, para una capacidad de 15 kg de plátano este equipo está diseñado con acero inoxidable AISI 304, debido a que es un material muy resistente al calor y también a la corrosión. Para evitar la pérdida de calor se empleará aislante lana de vidrio por su fácil adquisición en el mercado.

4.2.1. Resultados de los cálculos de ingeniería

Tabla 4-11: Resultado de los cálculos de ingeniería

Calculo	Símbolo	Valor	Unidad
Calor necesario para calentar el sólido en el secador	Q	398,98	Kcal
Cantidad de energía eléctrica necesaria	E	462,8	w/h

Potencia de la resistencia	P	981,6	W
Resistencia a la transferencia de calor por convección.	R_1	$7,57 \times 10^{-4}$	$^{\circ}\text{K/W}$
Resistencia a la transferencia de calor por conducción.	R_2	$4,063 \times 10^{-5}$	$^{\circ}\text{K/W}$
Resistencia a la conducción aislante térmico lana de vidrio	R_{3v}	0,023242	$^{\circ}\text{K/W}$
Velocidad de transferencia de calor.	q_{1-2}	101443,8	W
Velocidad de transferencia de calor	q_{1-3v}	3369,3	W
Calor útil	Q_{util}	98074,4	W

Realizado por: Nono, Brayán, 2023.

Al obtener los resultados de los cálculos de ingeniería se determina que luego de colocar la lana de vidrio como aislante se obtendrá una pérdida de calor 3369,3 W mientras que sin el aislante se obtiene una pérdida de calor superior de 101443,8 W, determinando un calor útil de 98074,4 W.

4.3. Resultados de la validación económica del proceso a nivel industrial.

Se realizó un estudio de costos-beneficios, analizando la inversión fija de los bienes tangibles de la empresa como: costo de los recursos materiales , inversión en recursos humanos para el área de producción e imprevistos (5%) con un valor total de \$ 2588,25 y los egresos como: materiales e insumos, servicios básicos, la mano de obra e imprevistos (5%) con un valor total de \$ 8623,86 mientras que los ingresos son: costo de producción por unidad es de \$ 0,85 y el precio unitario de venta al público es de \$ 1,06 dándonos un ingreso anual de \$ 15141,888 , mediante lo cual se obtuvo como resultado un VAN de (\$) 22120,2 resultando factible para el implemento y desarrollo del proyecto, con su TIR de 251,36 % y su periodo de recuperación de lo invertido de 7 meses con 27 días.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se diseñó un secador de bandejas para la deshidratación del plátano (*Musa aab*) en la empresa la molienda “San Luis” mediante la experimentación en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la “Escuela Superior Politécnica de Chimborazo” (ESPOCH).

Se caracterizó la materia prima bajo la norma INEN 2801:2013 NORMA PARA EL BANANO (PLÁTANO) (CODEX STAN 205-1997, MOD) y se obtuvieron los siguientes resultados: entre las disposiciones relativas a la calidad de la materia prima se obtuvo un promedio del 98 % en cumplimiento con los requisitos mínimos, debido a este resultado nuestra materia prima se clasifica dentro de la categoría “EXTRA” y entre las disposiciones relativas a la clasificación por calibres se obtuvo una longitud 16,3 cm, grosor 3,5 cm valores que se encuentran dentro de los límites permitidos por la NTE INEN.

Se identificó las variables del proceso de secado siendo estas la temperatura y la humedad, con respecto a la temperatura se trabajó con temperaturas de 40, 50, 60, y 70 °C luego de varios ensayos se determinó que la temperatura ideal a trabajar es de 50 °C con una humedad inicial de 0,858 kg agua/kg sólido seco y una humedad final de 0,086 kg agua/kg sólido seco, posteriormente se realizó las curvas de secado correspondientes en donde se obtuvo una humedad crítica de 0,282 kg agua/kg sólido seco y una humedad de equilibrio de 0,028 kg agua/kg sólido seco, su velocidad constante fue de $0,214 \frac{kg}{m^2h}$ con un tiempo total de secado de 2,121 h.

Se realizó los cálculos de ingeniería óptimos para el diseño de un secador de bandeja y su respectivo dimensionamiento, el cual está diseñado para deshidratar 15 kg de plátano con una cámara de secado externa de 0,952 m de altura, 0,686 m de ancho y sus bandejas tiene de largo 0,85 m y de ancho 0,54 m, para que la cámara de secado llegue a una temperatura de 50 °C se debe administrar 398,98 kcal con una potencia de 981,6 W, el ventilador deberá ser de 1700 rpm para la correcta circulación del aire dentro del secador. La lana de vidrio nos ayudara a evitar la dispersión de calor de 101443,8 W a 3369,3 W obteniéndose un calor útil de 98074,4 W.

Se realizó la validación técnica y económica del producto según la norma INEN 2051:2013 CEREALES Y LEGUMINOSAS. MAÍZ MOLIDO, SÉMOLA, HARINA, GRITZ.

REQUISITOS, mediante las siguientes etapas de proceso recepción de la materia prima, pelado, cortado, pesado y secado cuya realización permitió la obtención del plátano deshidratado en forma de harina la cual cumplió satisfactoriamente con los requisitos físicos, químicos, microbiológicos y contaminantes para ser comercializada sin ningún problema, y mediante la realización del estudio costo-beneficio se realizó la validación obteniéndose: VAN de (\$) 22120,2, TIR de 251,36 % y su periodo de recuperación de lo invertido es de 7 meses con 27 días concluyendo que el desarrollo del proyecto es factible para ser implementado.

5.2. Recomendaciones

Realizar los controles necesarios en la recepción de la materia prima, para evitar costos de producción, ya que las características de esta influirán directamente en la calidad del producto que se producirá.

Verificar y pesar constantemente la materia prima durante el secado, ya que si se lo hace por un periodo extenso es posible que se queme.

No exceder la cantidad requerida de materia prima en el equipo ya que provocaría daños como en el sistema de calefacción, así como también su deterioro.

Realizar lo que son mantenimientos del equipo gradualmente par que el equipo no se detenga durante la producción y así no existan pérdidas económicas.

BIBLIOGRAFÍA

AUCAL BUSHINES SCHOOL, Composición nutricional del plátano. *Aucal.edu* [en línea]. 2016. Recuperado a partir de: <https://www.aucal.edu/blog/dietetica-nutricion/por-que-es-tan-beneficioso-el-platano/> [accedido 19 marzo 2023].

BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo V. & VEGA-MERCADO, Humberto, *Dehydration of Foods*. Boston, MA: Springer US. ISBN 978-1-4419-4723-9.

BATTLE, Teresa et al., Influence of Variables Drying in the Organoleptic Quality Salty Snacks Based on Amaranth. *Avances en Ciencias e Ingeniería* [en línea]. Vol. 7, número 4, pp. 47-56. Recuperado a partir de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6434223.pdf>

CARRILLO-CARRILLO, Manuela et al., Deshidratación de plátano (*Musa paradisiaca*) por medio de radiación solar en un secador directo. *Revista de Sistemas Experimentales*. Vol. 6, número 19, pp. 19-23. DOI 10.35429/joes.2019.19.6.19.23.

CHAFLA, DIGNA FÁTIMA ANDRADE, “*Proyecto de factibilidad para la exportación de harina de banano a reino unido*” [en línea]. (Trabajo de titulación)(Ingeniera en comercio exterior, integración y aduanas), Universidad tecnológica equinoccial, Quito- Ecuador. Recuperado a partir de: https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/8318/1/55142_1.pdf

CRUZ, Joan ANDREY BOLAÑOS, *Desarrollo de un manual de operación para el centro de purificación y refinación del centro de procesos e innovación (cepiis) de la Universidad De América* [en línea]. (Trabajo de titulación)(Ingeniería Química), Fundación Universidad De América, Bogotá D.C. Recuperado a partir de: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/9162/1/6172314-2023-1-IQ.pdf>

CRUZ, ORLANDO CANO, *Tipos de secado en alimentos* [en línea]. (Trabajo de titulación)(Ingeniero En Ciencia Y Tecnología De Alimentos), Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Recuperado a partir de: http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/296/K_40027_Cano_Cruz%20Orlando.pdf?sequence=1&isAllowed=y

DURAN, Juan & RODRÍGUEZ, Daniel, *Diseño del sistema de control del proceso de secado de pastas alimenticias* [en línea]. (Trabajo de titulación)(Ingeniero Mecatrónico) Universidad

Politécnica Salesiana sede Cuenca-Ecuador. Recuperado a partir de:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21335/1/UPS-CT009378.pdf>

GOOGLE, MAPS, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. *Google Maps* [en línea]. 2023. Recuperado a partir de:
<https://www.google.com/maps/place/Escuela+Superior+Politécnica+de+Chimborazo/@-1.656735,78.7143224,14z/data=!4m1!1m2!2m1!1sespoch!3m6!1s0x91d307c252930ed9:0x6ad1a526f47e5b0c!8m2!3d-1.656735!4d-78.6782735!15sCgZlc3BvY2iSARFwdWJsaWNfdW5pdmVyc2l0eeABAA!16s> [accedido 1 marzo 2023].

GOOGLE, MAPS, La molienda San Luis. *Google Maps* [en línea]. 2023. Recuperado a partir de :
<https://www.google.com/maps/place/LA+MOLIENDA+SAN+LUIS/@-1.6773332,-78.6484861,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x91d3a9aa612c65ef:0xfbffd65679872363!8m2!3d-1.6773386!4d-78.6459112!16s%2Fg%2F11n00lw3sw?entry=ttu> [accedido 1 marzo 2023].

LEGISCOMEX, Sector bananero en Ecuador. *Legiscomex.com* [en línea]. 2012. Recuperado a partir de: [https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos PDF/informe-completo-del-sector-bananero-20120-final.pdf](https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/informe-completo-del-sector-bananero-20120-final.pdf)

MERINO, Juan, *Implementación de un equipo de secado para alimentos* [en línea]. (Trabajo de titulación)(Ingeniería)Escuela Superior Politécnica del Litoral.Guayaquil-Ecuador. Recuperado a partir de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/13665>

NTE-INEN-2051, Cereales y leguminosas. Maíz molido, sémola, harina, griz. Requisitos. *INEN* [en línea]. 2013. Recuperado a partir de: <https://es.scribd.com/document/661348397/2051-1R> [accedido 17 mayo 2023].

NTE-INEN-2801, Norma para el banano (Plátano) (Codex Stan 205-1997,MOD). *INEN* [en línea]. 2013. Recuperado a partir de: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B205-1997%252FCXS_205s.pdf [accedido 16 abril 2023].

PORRU, Annalisa, Ventajas y desventajas de los alimentos deshidratados. *Notas Naturales* [en línea]. 2020. Recuperado a partir de: <https://www.notasnaturales.com/ventajas-desventajas-alimentos-deshidratados/> [accedido 1 abril 2023].

PROBELTE PHARMA, S.L.U., Alimentos ricos en Vitamina B6. *PROBELTE PHARMA, S.L.U.* [en línea]. 2023. Recuperado a partir de: [https:// www.probeltepharma.es/alimentos-ricos-en-vitamina-b6/#:~:text=Cereales integrales y sus derivados,la pasta y el maíz.](https://www.probeltepharma.es/alimentos-ricos-en-vitamina-b6/#:~:text=Cereales integrales y sus derivados,la pasta y el maíz.) [accedido 4 mayo 2023].

QUISPE CAPAJAÑA, Mateo, Efecto de la temperatura y tiempo del tostado sobre las características sensoriales del cacao (*Theobroma cacao L.*) procedente del sector San Lorenzo, Cusco – Perú. *Revista Científica I+D Aswan Science*. Vol. 1, número 2. DOI 10.51392/rcidas.v1i2.6.

RÍOS, Christian John Freitas, CASTRO, Heidi Julisa Muñoz & GONZÁLES, Martín Dávila, «Diseño, construcción e instalación de un secador de bandejas por resistores» [en línea]. (Trabajo de titulación)(Ingeniero Químico)Universidad Nacional de la Amazonia Peruana IQUITOS-PERU. Recuperado a partir de: https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/3047/T_660_F82_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y

RODRÍGUEZ, Rolando & VELÁZQUEZ, Oscar, Tipos de deshidratadores. *Academia.edu* [en línea]. 2014. Recuperado a partir de: https://www.academia.edu/8044624/TIPOS_DE_DESHIDRATADORES_2014_OPERACIONES_DE_TRANSFERENCIA_DE_MASA_III [accedido 7 octubre 2023].

RUIZ, Lilian, *Diseño de un secador de bandejas para la deshidratación de plátano en la Parroquia Veracruz del Cantón Pastaza*. [en línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería)Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. Recuperado a partir de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5677>


SAIZ JIMÉNEZ, Juan Ángel & CORNEJO ROYO, Laura, secado de alimentos mediante energía solar. *3C Tecnología_Glosas de innovación aplicadas a la pyme*. Vol. 3, número 4. DOI 10.17993/3ctecno.2014.030411.234-244.

STAGE, Rock, Métodos de secado industrial: ¿Cuál es el más adecuado? *Somengil* [en línea]. 2021. Recuperado a partir de: <https://blog.somengil.com/es/metodos-de-secado-industrial-cual-es-el-mas-adecuado/#:~:text=Secado natural%3A secado con aire,y posterior adición de calor.> [accedido 10 agosto 2023].



ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL PLÁTANO DESHIDRATADO EN FORMA DE HARINA


saqmic
LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS
QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS EN AGUA Y ALIMENTOS

INFORME DE ANÁLISIS

Fecha: 08 de mayo del 2023
Análisis solicitado por: Sr. Brayan Nono
Tipo de muestras: Harina de plátano (*musa aab*)
Localidad: Riobamba

Análisis Químico

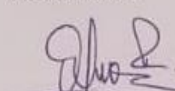
Parámetros	Unid.	Método	Resultados
Proteína (BS)	%	INEN 519	7.02
Grasa (BS)	%	INEN 523	2.12
Plomo	mg/kg	colorimétrico	0.17
Aflatoxinas	µg/Kg	INEN 1819	20

Análisis Microbiológico

Parámetros	Unid.	Método	Resultados
Recuento de Coliformes totales	UFC/g	INEN 1529-6	< 10
Recuento de Mohos y Levaduras	UFC/g	INEN 1529-10	210

Observaciones:


Atentamente,



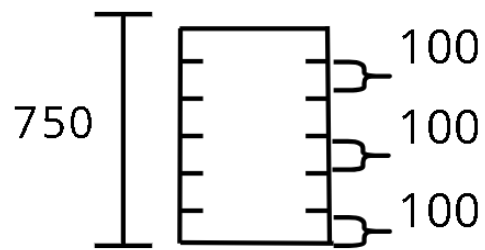
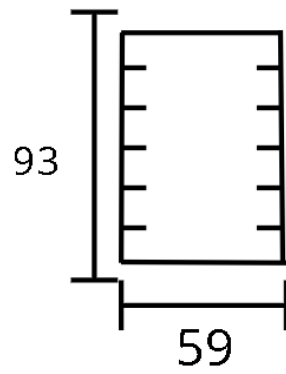
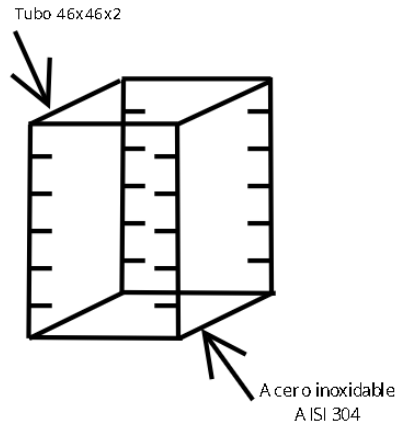
Servicio de Análisis
Químicos y
Microbiológicos
Dra. Gina Álvarez
Tel.: 2 924 322 // Cel.: 0998580374

Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada

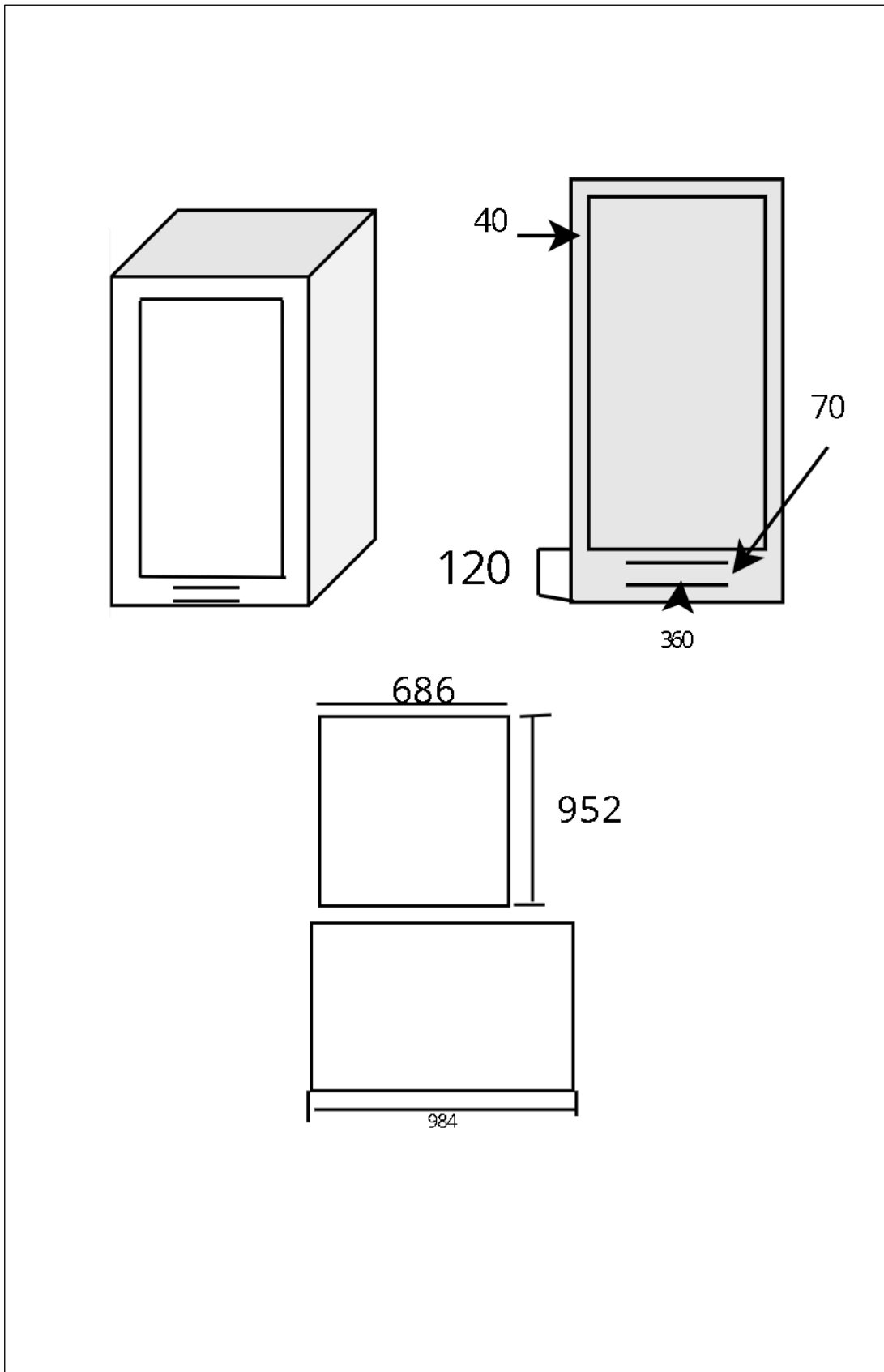
Avenida 9 de Octubre # 12 y Madrid
Contáctanos: ☎0998580374 ☎032 942 322
Saqmic Laboratorio
Riobamba - Ecuador



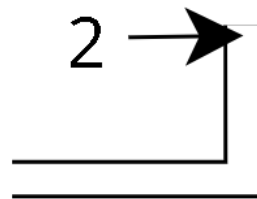
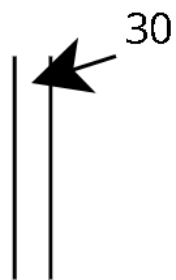
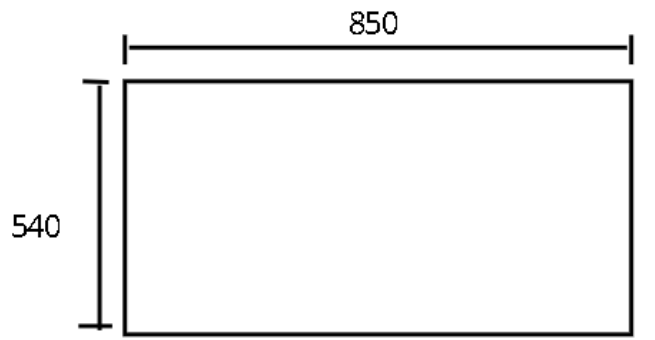
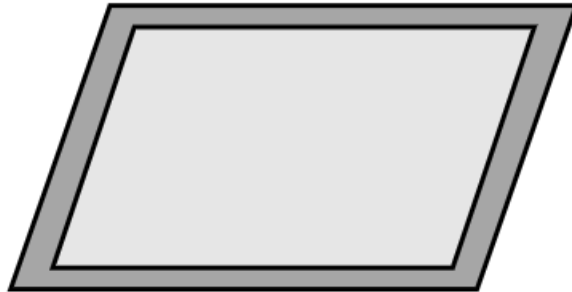
ANEXO B: CÁMARA INTERNA DEL SECADOR DE BANDEJAS.



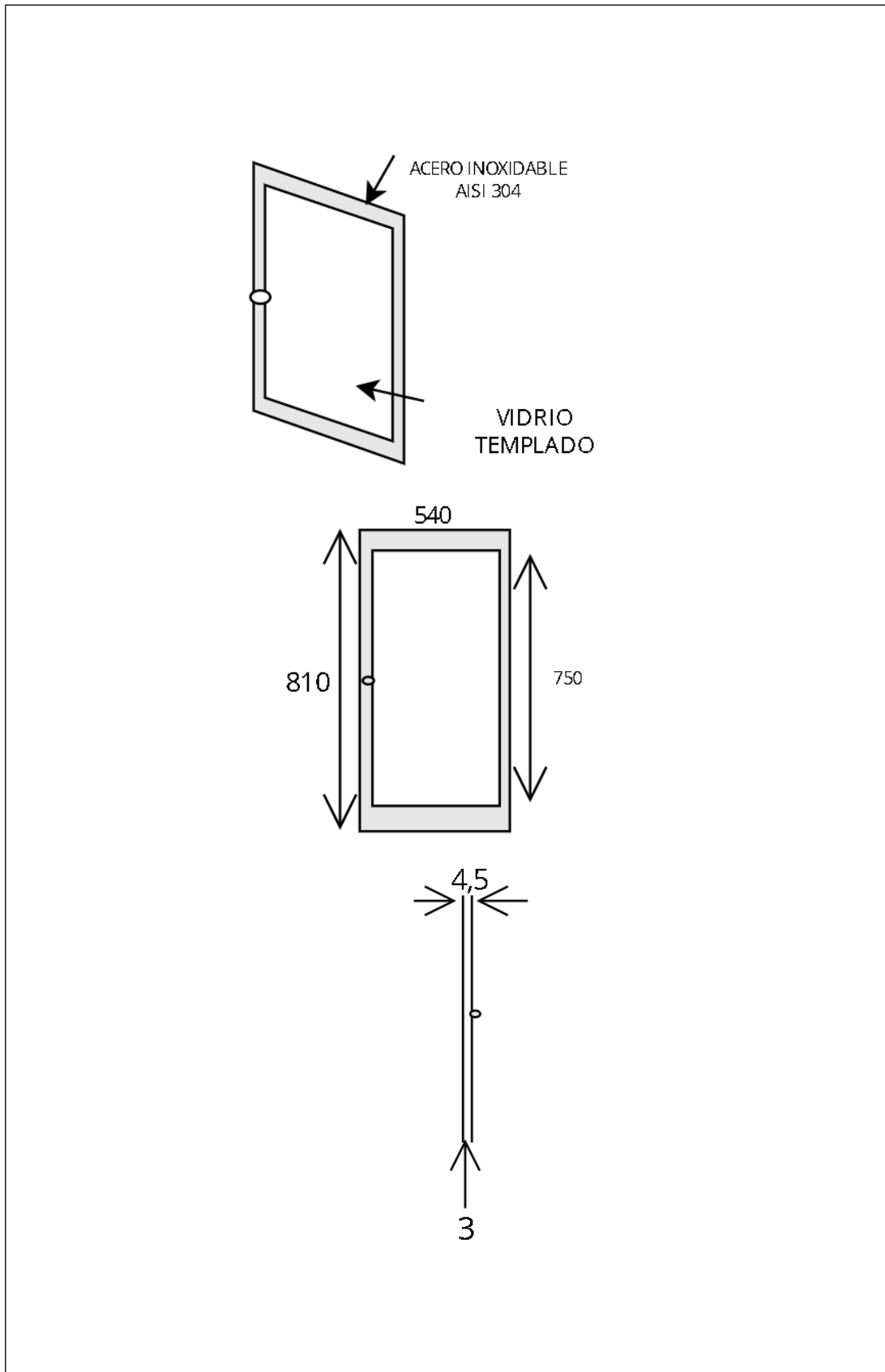
ANEXO C: CÁMARA EXTERNA DEL SECADOR DE BANDEJAS



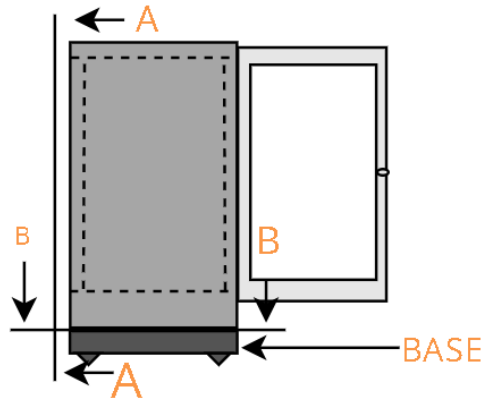
ANEXO D: BANDEJA



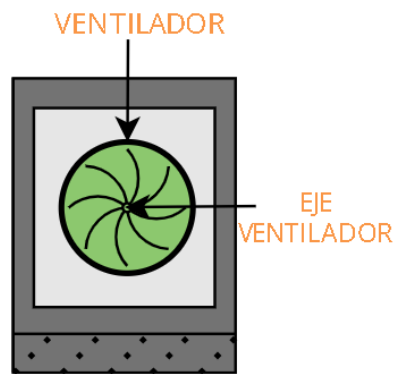
ANEXO E: TAPA DEL SECADOR DE BANDEJAS



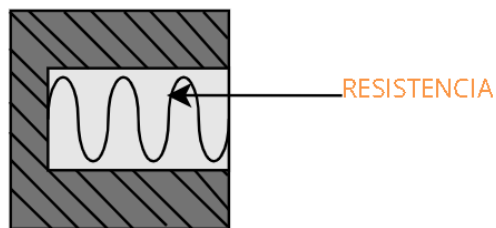
ANEXO F: SECCIONES DEL EQUIPO.



ESCALA 1:15



SECCIÓN A-A
ESCALA 1:15



SECCION B-B
ESCALA 1:15



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 22 / 01 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Brayan Stalin Nono Yuquilema
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

2087-DBRA-UPT-2023