

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ELABORACION DE UN PRODUCTO FUNCIONAL EN  
BASE A MANZANA (*Granny Smith*) DESHIDRATADA  
FORTIFICADO CON CALCIO**

**Por:**

**ABIGAIL YESENIA YUCRA OQUENDO**

**Modalidad de graduación (Investigación Aplicada) presentado a  
consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL  
SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura  
en Ingeniería Química.**

**Febrero 2021**

**TARIJA-BOLIVIA**

### **ADVERTENCIA**

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

### **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a Dios y a mis padres ya que ellos son los principales motores de mi vida y sin ellos esto no hubiera sido posible.

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente agradecer a Dios por apoyarme en todo momento, por levantarme cuando pensaba que ya no lo podía hacer, por amarme y no rendirse conmigo, por creer en mí más de lo que yo misma creo y por ser mi fuerza cuando me sentía débil.

A mis padres Juan Carlos Yucra y Edith Oquendo y a mi hermano Gabriel Yucra por cada palabra de ánimo, por su ayuda y por su amor hacia mi persona.

A mis tíos, primos y hermanos que nunca dejaron de creer en mí.

A mis amigos que si los nombraría no acabaría de mencionarlos, su ayuda siempre será recordada y recompensada.

A mis docentes que me acogieron en esta hermosa carrera y no escatimaron en brindarnos todos sus conocimientos

**PENSAMIENTO**

Todo tiene su tiempo, y todo lo que se quiere debajo del cielo tiene su hora.

*Salomón (Ecl.3:3)*

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación desarrolló una técnica que consiste en la impregnación de calcio en láminas de manzana para posteriormente deshidratarlas con aire caliente, con el fin de obtener un producto saludable, rico en calcio, de buena calidad y que tenga un tiempo mayor de vida útil.

A lo largo de los años la demanda de productos deshidratados ha ido aumentando considerablemente ya que, según estudios, se producen hasta 4 millones de toneladas/año. En Bolivia también se puede apreciar un incremento en el mercado informal respecto a la producción y venta de frutas deshidratadas sin la incorporación voluntaria de azúcar ya que el panorama mundial muestra una aceptación y aumento en el consumo de los productos que aportan más proteínas y minerales al organismo.

Este estudio abarca desde la caracterización de la materia prima, seguida de la selección, lavado, pelado, descorazado, cortado de la pulpa en rodajas e impregnación de calcio la cual consiste en sumergir las láminas de manzana en una solución isotónica de una sal de calcio, en este estudio se utilizaron dos tipos de sal, una es Carbonato de calcio y la otra Citrato de Calcio, 5,24% p/p y glucosa 10,9% p/p en 100g para permitir el paso del calcio en las láminas y evitar que exista una pérdida de agua propia de la fruta, hasta la deshidratación de la misma a 60°C por el lapso de 5,5 h mediante aire caliente para garantizar un mayor tiempo de vida útil y también para que sea un producto agradable a la vista y al gusto.

Una vez definido el método de trabajo se procedió a realizar los respectivos experimentos de los cuales se obtuvieron resultados que nos dieron a conocer cuál es la sal de calcio y cuáles son las condiciones de trabajo que favorecen más a la calidad del producto final, conociendo esto se puede decir que el diseño experimental que obtuvo una mayor cantidad de calcio impregnado y un porcentaje de aceptación mayor al 50 % es el diseño +1 -1 para el carbonato de calcio, siendo +1 el mayor tiempo de impregnación (4h) y -1 la menor temperatura de impregnación (25°C).

Los resultados obtenidos demostraron que a mayor tiempo de impregnación existe un mayor paso de calcio hacia la fruta y que la temperatura de impregnación no afecta

considerablemente a la ganancia de calcio, y que, en cuestión a la deshidratación mediante aire caliente, efectivamente este método de deshidratación es eficiente y rápido sin embargo se debe tomar muy en cuenta la temperatura de secado.

Finalmente se puede decir que las técnicas que se usaron en el deshidratado demostraron ser prácticas para el proyecto puesto que cumplieron las expectativas planteadas, se logró impregnar 22,41 veces más de calcio respecto al valor inicial y también que se obtuvo una aceptación del 65% con un rendimiento del 12,83%

**INDICE**  
**CAPITULO I**  
**INTRODUCCION**

1.1.	ANTECEDENTES .....	1
1.1.	OBJETIVOS .....	5
1.1.1.	OBJETIVO GENERAL.....	5
1.1.2.	OBJETIVOS ESPEFICOS .....	5
1.2.	JUSTIFICACION .....	5
1.2.1.	Justificación Técnica .....	5
1.2.2.	Justificación Económica.....	6
1.2.3.	Justificación Social .....	6
1.2.4.	Justificación Ambiental .....	7
1.3.5.	Justificación Personal.....	7

**CAPITULO II**  
**MARCO TEORICO**

2.1.	Generalidades sobre los Alimentos Funcionales .....	9
2.2.	Materias Primas .....	10
2.2.1.	Manzana .....	10
2.2.1.1.	Características Taxonómicas y Morfológicas de la Manzana .....	11
2.2.1.2.	Características Fisicoquímicas y Nutricionales de la Manzana .....	13
2.2.1.3.	Tipos de Manzana .....	15
2.2.2.	Importación de Manzana en Bolivia .....	17
2.3.	Calcio .....	18
2.3.1.	Funciones del Calcio .....	19
2.4.	Aditivos .....	21
2.4.1.	Carbonato de Calcio .....	21
2.4.1.1.	Aplicación del Carbonato de Calcio en la Industria Alimentaria .....	22
2.4.2.	Citrato de Calcio .....	23
2.4.2.1.	Aplicación del Citrato de Calcio en la Industria Alimentaria .....	23
2.4.3.	Glucosa .....	24

2.5.	Fortificación/enriquecimiento de alimentos .....	24
2.5.1.	Ventajas y limitaciones de la fortificación de alimentos como estrategia para el combate de la desnutrición por carencia de micronutrientes .....	25
2.6.	Impregnación con componentes fisiológicamente activos (CFA) .....	30
2.6.1.	Impregnación a presión atmosférica (I.A.) .....	31
2.6.1.1.	Transferencia de Masa.....	33
2.6.2.	Determinación del coeficiente de difusión.....	36
2.6.2.1.	Modelo matemático para la determinación del coeficiente de difusión.....	36
2.7.	Deshidratación .....	37
2.7.1.	Etapas del proceso de secado .....	37
2.7.1.1.	Humedad .....	37
2.7.1.2.	Curvas y periodos de secado .....	38
2.7.2.	Características del agua en sistemas alimenticios .....	39
2.7.3.	Métodos de Deshidratación .....	40
2.7.3.1.	Secado Natural .....	40
2.7.3.2.	Deshidratación por Aire Caliente .....	40
2.7.3.3.	Deshidratación Congelada .....	41
2.7.3.4.	Deshidratación por Hornos Solares .....	42
2.7.3.5.	Deshidratación por Hornos Mecánicos a Combustión Interna Indirecta .....	42
2.8.	Evaluación sensorial .....	42
2.9.	Metodología del estudio de investigación .....	45
2.9.1.	Descripción de la metodología del estudio de investigación .....	45
2.10.	Selección del proceso experimental para la obtención del producto .....	46
2.11.	Diseño del Proceso Tecnológico .....	52

### **CAPITULO III**

#### **PARTE EXPERIMENTAL**

3.1.	Caracterización de la materia prima .....	58
3.1.1.	Características físicas de la materia prima .....	59
3.1.2.	Propiedades Fisicoquímicas .....	60
3.2.	Diseño experimental .....	61
3.2.1.	Impregnación de Calcio a presión atmosférica .....	61
3.2.1.1.	Diseño Factorial .....	62

3.2.2. Deshidratación mediante aire caliente .....	64
3.3. Equipos, Materiales e Insumos .....	65
3.3.1. Equipos .....	65
3.3.2. Materiales .....	66
3.3.3. Insumos .....	66
3.4. Diseño del Proceso Tecnológico .....	67
3.5. Descripción del proceso productivo .....	67
3.5.1. Recepción de materia prima.....	67
3.5.2. Selección .....	68
3.5.3. Lavado .....	69
3.5.4. Pelado .....	69
3.5.5. Cortado en Laminas .....	70
3.5.6. Pesado .....	70
3.5.7. Impregnación .....	71
3.5.8. Filtrado .....	72
3.5.9. Deshidratado .....	72
3.5.10. Envasado .....	73
3.6. Evaluación sensorial del producto obtenido .....	75

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSION**

4.1. Análisis de la Materia Prima .....	80
4.2. Fase Experimental .....	80
4.2.1. Impregnación de Calcio .....	81
4.2.1.1. Coeficiente de difusión .....	81
4.2.1.2. Ganancia de Calcio .....	83
4.2.2. Deshidratado mediante aire caliente .....	85
4.2.2.1. Determinación del contenido de solido seco .....	85
4.3. Análisis de las pruebas organolépticas .....	94
4.4. Análisis del producto final .....	95
4.5. Análisis Estadístico del diseño experimental .....	97
4.5.1. Análisis de Varianza Univariante .....	98

4.5.1.1. Pruebas de los efectos inter-sujetos. ....	98
4.6. Balance de Materia y Energía .....	101
4.6.1. Balance de Materia .....	101
4.6.2. Rendimiento .....	110
4.6.3. Balance de Energía .....	111
4.6.3.1. Balance de energía en la impregnación .....	111
4.6.3.2. Balance de energía en el secado por aire caliente .....	111
4.7. Costos .....	113
4.7.1. Costos de investigación .....	113
4.7.2. Costos de producción .....	114

## **BIBLIOGRAFIA**

ANEXOS

ANEXO A

ESPECIFICACION DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO

ANEXO B

EVALUACION ORGANOLEPTICA

ANEXO C

DETERMINACIÓN DEL PROCESO DE DIFUSIÓN

ANEXO D

INFORMES DE LABORATORIO

ANEXO E

TABLAS DE TEMPERATURAS Y CALOR ESPECÍFICO

ANEXO F

FOTOGRAFIAS

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II-1 Composición del fruto de manzano en 100gr .....	15
Tabla II-2 Ingesta diaria de calcio .....	20
Tabla II-3 Propiedades fisicoquímicas del Carbonato de Calcio (CaCO <sub>3</sub> ) .....	22
Tabla II-4 Propiedades Fisicoquímicas del Citrato de Calcio .....	23
Tabla II- 5 Escala de calificación por puntuación del 1 al 5 .....	47
Tabla II-6 Selección del proceso experimental para la obtención de manzana deshidratada fortificada con calcio.....	47
Tabla II-7 Selección del proceso optimo.....	51
Tabla III-1 Producción de manzanas por variedad 2015 (x1000 Ton) .....	59
Tabla III-2 Características físicas de la materia prima.....	60
Tabla III-3 Propiedades Fisicoquímicas de la Manzana Granny Smith.....	61
Tabla III-4 Determinación del número de experimentos.....	63
Tabla III-5 Matriz de diseño para el Carbonato de Calcio .....	64
Tabla III-6 Matriz de diseño para el Citrato de Calcio.....	64
Tabla III-7 Escala de calificación de las propiedades organolépticas .....	76
Tabla III-8 Valor porcentual de los atributos evaluados .....	76
Tabla IV- 1 Características fisicoquímicas de la Manzana Granny Smith .....	80
Tabla IV-2 Datos obtenidos para la determinación del coeficiente de difusión en la impregnación de calcio .....	82
Tabla IV-3Ganancia de calcio en peso con la sal de Carbonato de Calcio .....	84
Tabla IV-4 Ganancia de calcio en peso con la sal de Citrato de calcio .....	84
Tabla IV-5 Variación de la humedad respecto al tiempo de la muestra 1 .....	86
Tabla IV-6 Variación de la humedad respecto al tiempo de la muestra 2 .....	87

Tabla IV-7 Variación de la humedad respecto al tiempo de la muestra 3.....	88
TablaIV-8 Variación de la humedad respecto al tiempo de la muestra 4 .....	89
Tabla IV-9 Variación de la humedad respecto al tiempo de la muestra 5 .....	90
Tabla IV-10 Variación de la humedad respecto al tiempo de la muestra 6 .....	91
Tabla IV-11 Variación de la humedad respecto al tiempo de la muestra 7 .....	92
Tabla IV-12Variación de la humedad respecto al tiempo de la muestra 8 .....	93
Tabla IV-13Resumen de la pérdida de agua en el secador de tiro forzado.....	94
Tabla IV-14 Contenido de calcio en las muestras de manzana.....	95
Tabla IV-15 Componentes fisicoquímicos de la muestra #2 .....	96
Tabla IV-16 Componentes fisicoquímicos de la muestra #1.....	97
Tabla IV-17 Factores inter-sujetos .....	98
Tabla IV-18 Variable dependiente: Concentracion_Ca .....	99
Tabla IV-19 ANOVA <sup>b</sup> para la ganancia de calcio (concentración de calcio) .....	100
Tabla IV-20 coeficientes <sup>a</sup> del modelo de regresión lineal para concentración de calcio .....	100
Tabla IV-21 Flujos operativos y componentes del proceso para la obtención de manzana deshidratada fortificada con calcio .....	102
Tabla IV-22 Costo productivo para 100gr de manzana deshidratada fortificada con calcio .....	115

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Obesidad en Tarija por grupos de edad, año 2015. (En número) .....	2
Figura 2-1 Corte longitudinal y transversal de una manzana .....	10
Figura 2-2 Planta de Manzana (Granny Smith) .....	12
Figura 2-3 Importación Total de Manzanas al Mercado Nacional 2000 – 2016 (Tn).....	18
Figura 2-4 Plasmólisis de una célula vegetal .....	34
Figura 2-5 Humedad libre vs Tiempo .....	38
Figura 2-6 Evaluación de las respuestas sensoriales de manera discriminativa, descriptiva y afectiva .....	43
Figura 3-1 Recolección de Manzanas Granny Smith en el Alto Valle .....	58
Figura 3-2 Manzana Verde (Granny Smith) .....	68
Figura 3-3 Limpieza de la Manzana.....	68
Figura 3-4 Selección de la manzana verde .....	69
Figura 3-5 Eliminación de la piel de la manzana .....	69
Figura 3-6 Rodajas de manzana.....	70
Figura 3-7 Pesado de la materia prima para el proceso .....	70
Figura 3-8 Solución isotónica de sal de calcio y glucosa .....	71
Figura 3-9 Impregnación de calcio en la manzana a presión atmosférica.....	72
Figura 3-10 Deshidratación de la manzana .....	73
Figura 3-11 Producto final con Carbonato de Calcio .....	73
Figura 3-12 Producto final con Citrato de Calcio .....	74
Figura 3-13 Resultados de las pruebas organolépticas.....	77
Figura 3-14 Manzana deshidratada fortificada con carbonato de calcio .....	77

Figura 3-15 Manzana deshidratada fortificada con citrato de calcio .....	78
Figura 4-1 Tiempo vs $\log (q /q_0)$ para el calcio.....	82
Figura 4-2 Curva de secado de la muestra M1 .....	86
Figura 4-3 Curva de secado de la muestra M2 .....	87
Figura 4-4 Curva de secado de la muestra M3 .....	88
Figura 4-5 Curva de secado de la muestra M4 .....	89
Figura 4-6 Curva de secado de la muestra M5 .....	90
Figura 4-7 Curva de secado de la muestra M6 .....	91
Figura 4-8 Curva de secado de la muestra M7 .....	92
Figura 4-9 Curva de secado de la muestra M8 .....	93
Figura 4-10 Resultados de las pruebas organolépticas .....	94
Figura 4-11 Valor real vs Valor corregido y curva de error de los resultados .....	101
Figura 4- 12 Diagrama de Bloques del proceso tecnológico experimental.....	104

## GLOSARIO

<b>Sigla</b>	<b>Definición</b>
CFA	Componentes Fisiológicamente Activos
DCMN	Desnutrición por carencia de micronutrientes
DO	Deshidratación Osmótica
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FUFOSE	Functional Food Science in Europe
GCM	Ganancia de calcio en la manzana
IBCE	Instituto Boliviano de Comercio Exterior
IA	Impregnación a presión atmosférica
IV	Impregnación a Vacío
MDRyT	Ministerio de desarrollo Rural y Tierras
NIH	National Institutes of Health
OMS	Organización Mundial de la Salud
P <sub>i</sub> M	Peso inicial de la manzana fresca en gramos
P <sub>f</sub> MI	Peso final de la manzana impregnada
SNIS	Sistema Nacional de Información en Salud
SPSS	Statistical Package for Social Sciences

## NOMENCLATURA

<b>Sigla</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidades</b>
T	Diferencia de Temperaturas	°C
	Calor latente para el cambio de fase	kJ/kg
C <sub>p</sub>	Capacidad Calorífica	kJ/kg °C
H <sub>bs</sub>	Humedad libre en base seca del SAC	Fracción
m	Masa	g
Q <sub>A</sub>	Calor Absorbido	kcal o kJ
Q <sub>E</sub>	Calor entregado	kcal o kJ
Q <sub>L</sub>	Calor Latente	kJ
Q <sub>S</sub>	Calor sensible	kJ
T	Temperatura	°C
t	Tiempo	h o seg

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCION**

## INTRODUCCION

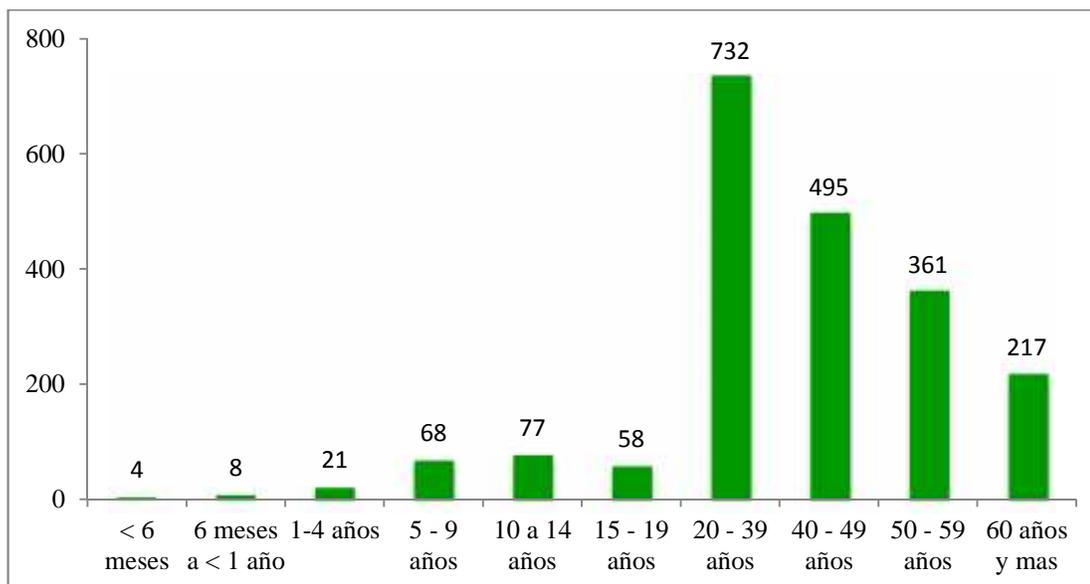
### 1.1. ANTECEDENTES

Uno de los factores que contribuyen a tener una vida saludable, es el tipo de alimentos que consumimos. Es por ello que muchos estudios realizados por universidades en el mundo revelaron datos importantes acerca de los alimentos funcionales, entre ellos, que son alimentos los cuales proporcionan un beneficio para la salud más allá de los nutrientes tradicionales que contienen.

Actualmente no existe una definición aceptada del término "alimento funcional", y tiende a ser entendido como un concepto más que como un grupo bien definido de productos alimenticios. Es por ello que podrían definirse como “cualquier alimento en forma natural o procesada que, además de sus componentes nutritivos, contienen componentes adicionales que favorecen la salud, tanto física como mental de una persona”.

Por lo mencionado anteriormente se pudo observar un cambio en el panorama de la población ya que las conductas, estilos y hábitos en el consumo de alimentos ha contribuido a la emergencia de nuevos problemas de salud relacionados con la nutrición, adquiriendo relevancia en el perfil epidemiológico enfermedades crónicas no transmisibles, entre las que resaltan la obesidad, la hipertensión arterial y la diabetes, cabe resaltar que la obesidad en Tarija se da entre los 20 – 39 y existen 732 casos notificados por el Sistema Nacional de Información en Salud (SNIS, 2015).

**Figura 1-1 Obesidad en Tarija por grupos de edad, año 2015. (En número)**



Fuente: Sistema Nacional de Información en Salud (SNIS) (2015)

Como se puede evidenciar en los diferentes niveles de consumo de productos alimenticios, existe un acrecentamiento de problemas de salud a causa de la mala nutrición; personas con sobrepeso e incluso personas afectadas con graves enfermedades como la diabetes, esto es debido a la *escasa ingesta de alimento saludables y productos funcionales*, pues son limitados los lugares donde se pueden encontrar alimentos elaborados con estándares de calidad bajo estas características, cabe resaltar que la mayoría de los alimentos que se ofrecen a nuestro alrededor son ricos en los macronutrientes (grasas, carbohidratos y proteínas) y pobres en micronutrientes (vitaminas y minerales), es por ello que se evidencia una gran potencialidad para desarrollar una línea de investigación en torno a la elaboración de alimentos funciones, los cuales no solo benefician a las personas que luchan contra alguna enfermedad, sino también para personas que quieran bajar de peso o simplemente para quienes quieren estar mejor nutridos optando por un estilo de vida más saludable, tal es el caso de deportistas, adultos mayores, niños, etc.

En un estudio realizado por el Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad se estimó que el mercado de alimentos funcionales aumentaría hasta

el 15% con respecto a la industria alimentaria tradicional ya que esta crecería de 1% a 3% y en otra investigación realizada por la empresa DATAMONITOR, se muestra que el principal mercado a nivel global se encuentra en Asia Pacífico ya que cuenta con una participación del 50,6%, seguido por los Estados Unidos con un 37,7% y Europa con un 11,7%; todo esto indica que a nivel mundial los alimentos funcionales están siendo aceptados por la población y así lo muestran trabajos específicos en torno a dichos alimentos:

- Tal es el caso de Carpetano B (2015), quien en la Universidad Politécnica de Valencia realiza una investigación titulada: *Elaboración De Productos Funcionales De Manzana (Var. Malus Domestica) Enriquecida Con Aloe Vera*, determina que la presencia de aloe vera en las disoluciones apenas afecta a las características físico-químicas de las muestras de producto de manzana obtenidas presentándose una ligera capa gomosa durante la deshidratación de los productos.
- De igual forma Casim, S. (2011) en la Universidad de Buenos Aires ejecuta una investigación titulada: *Enriquecimiento de manzana con calcio: efecto en las propiedades físico-químicas y estructurales durante el secado en corriente de aire*, en la cual logra determinar que el secado no afectó fuertemente a la estructura del tejido de la manzana, puesto que la misma se trató previamente con trehalosa, también indica que el tejido de manzana es una buena matriz para la fortificación con calcio.

A nivel nacional, si bien no hay estudios sociabilizados sobre la elaboración de productos (funcionales o deshidratados) a base de manzana, existe una amplia gama de trabajos de investigación en torno a procesos de conservación de diferentes frutas

- Valdez F., a través de su investigación realizada en el UMSA, realizó la: *Evaluación De Cuatro Métodos De Deshidratado De Durazno (Prunus Pérsica L.) Con La Aplicación De Dos Antioxidantes En El Municipio De Luribay*, donde determino que, con referencia a la humedad, existe mayor reducción de humedad en el secador tipo túnel y no influyeron los antioxidantes en ningún tipo de secador, pero con mayor cantidad de humedad fue el secador indirecto.

- Burgoa P., plasma en su trabajo, realizado en la UMSA, *la rentabilidad de los métodos tradicional y solar tipo túnel de la deshidratación del durazno (Prunus pérsica), en el municipio de Sapahaqui del departamento de La Paz*, y llega a la conclusión de que la deshidratación por el método solar tipo túnel es altamente rentable ya que la calidad del durazno deshidratado por dicho método tiene un aspecto colorido, una fragancia duradera y sabor más dulzón de lo habitual.

En el ámbito local, la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS) también ha ido dando paso a investigaciones relacionadas con la conservación de alimentos mediante deshidratación por aire caliente como también a investigaciones que puedan dar un valor agregado a las materias primas que se encuentran disponibles en la región, como, por ejemplo:

- Ramírez E. (1999), realiza el estudio para la conservación de la manzana por factores combinados, donde utilizando una deshidratación osmótica obtiene un producto como poca variación del color y baja actividad del agua, apropiado para controlar el desarrollo de microorganismos durante su almacenaje.
- Aleman, D. (2016), en su investigación titulada: *Deshidratación de la pulpa de mango aplicando secado por aire caliente*, determina los parámetros óptimos para realizar este proceso a fin de obtener un producto acorde a los requerimientos para su consumo.

En este sentido, es que se desarrolla del presente trabajo de investigación, con las bases teórico metodológicas extraídas de diversos trabajos de investigación, lo cual de una base sólida para proceder con la elaboración de un alimento funcional a base de manzana deshidratada fortificada con calcio (carbonato y citrato de calcio).

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. OBJETIVO GENERAL**

Elaborar un alimento funcional en base a manzana (*Granny Smith*) deshidratada fortificada con calcio, aplicando los procesos de impregnación y secado con aire caliente para uso alimentario.

### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Caracterizar la composición de la materia prima para elaborar un alimento funcional en base a manzana (*Granny Smith*).
- Seleccionar el proceso tecnológico experimental para la elaboración de un alimento funcional en base a manzana deshidratada fortificada con calcio.
- Ejecutar la fase experimental a nivel de laboratorio para obtener un alimento funcional en base a manzana deshidratada fortificada con calcio.
- Determinar el tiempo y temperatura de impregnación adecuado para el alimento funcional.
- Determinar la composición de calcio final del producto y realizar el análisis fisicoquímico y organoléptico del alimento funcional para valorar los parámetros de calidad del mismo.

## **1.2. JUSTIFICACION**

### **1.2.1. Justificación Técnica**

Con la ejecución de la presente investigación se generarán los datos pertinentes sobre tiempo de secado, temperatura, concentración apropiada de la solución para la conservación de materia prima y fortificación de la misma, a fin de obtener un producto funcional de calidad. Estos resultados generados, aportaran el conocimiento técnico no solo sobre deshidratación sino también sobre el procedimiento para la elaboración de productos funcionales fortificados con calcio basados en la normativa técnica vigente, en base a los cuales se pueda consolidar una línea de investigación en base a la cual se pueda continuar realizando nuevos estudios.

### **1.2.2. Justificación Económica**

Con la ejecución del presente proyecto se busca generar un valor agregado a la materia prima lo cual en caso de ejecutarse causara varios impactos positivos en la economía del sector agropecuario del departamento de Tarija, tomando en cuenta que según datos del IBCE (Instituto Boliviano de Comercio Exterior) en Bolivia, actualmente se importa alrededor de 35 mil Tn/año de manzana, y de que según la política del gobierno existen diversos programas de fomento a la producción, en este sentido radica la importancia económica de generar proyectos que no solo coadyuven a generar valor agregado, sino también que la creación de complejos productivos en torno a productos que tienen una alta demanda en la sociedad, tal es el caso de la “manzana” y las frutas en general cuya producción e industrialización están priorizadas dentro de los planes y programas tanto a nivel nacional como departamental.

### **1.2.3. Justificación Social**

Ante la carencia de micronutrientes en algunos productos que se ofrecen en el mercado, el producto final obtenido como fruto de la ejecución de la presente investigación será una alternativa saludable para la sociedad, ya que aportará una cantidad importante de calcio al organismo por lo cual beneficiará tanto a niños como a adolescentes, asimismo jóvenes y adultos y más que todo beneficiaria a las personas de la tercera edad ya que ellos por la edad requieren una mayor cantidad de calcio; con esta investigación también se beneficiaran la calidad de vida de los productores de manzana ya que podrán utilizar la manzana que no se haya podido comercializar transformándolas en manzanas deshidratadas fortificadas con calcio y así darle un valor agregado el cual aumente sus ingresos económicos y no pierdan su inversión inicial, también se beneficiaran a aquellos comerciantes que se dedican a la comercialización de la misma ya que al existir un aumento de la demanda del producto habrá mayor demanda de la materia prima.

#### **1.2.4. Justificación Ambiental**

Es importante destacar que el proceso productivo de la elaboración de un producto funcional en base a manzana (*Granny Smith*) deshidratada fortificada con calcio, no es un proceso contaminante por el hecho de no producir gases tóxicos, ni desechos peligrosos. Por el contrario, con su ejecución se brinda una alternativa para la reducción de desechos orgánicos, generados a causa del desaprovechamiento de la materia prima (manzana) y por ende la reducción de zonas que pueden ser focos de proliferación de vectores que transmiten enfermedades.

En caso que exista un volumen de materia prima que no cumpla con los parámetros establecidos para ser usados en el proceso, se utilizaran los mismos como abono orgánico en forma de compost y ellos se llevaran a espacios que requieran este tipo de abono.

#### **1.3.5. Justificación Personal**

Este Trabajo de grado me permitirá aportar mejoras significativas en la elaboración de productos como la manzana fortificada y de esta manera devolver tanto a la universidad como a la sociedad en conocimientos los años de esfuerzo y aporte que la universidad a través de mis docentes puso en mi persona, también fortalecerá mi capacidad personal y como futuro profesional de seguir aportando al país a través de investigaciones y trabajos científicos.

**CAPITULO II**  
**MARCO TEORICO**

## **2.1. Generalidades sobre los Alimentos Funcionales**

La idea de los alimentos funcionales es muy antigua, estaba fundamentada en la visión de ser utilizado como fármaco sin embargo en los 1980s las autoridades alimentarias coreanas tomaron conciencia de que para controlar los gastos globales en salud era necesario desarrollar alimentos que mejoren la calidad de vida de la población por lo tanto desde ese entonces diversos países comenzaron a regular este tipo de alimentación y la industria alimentaria empezó a colocar su atención sobre dichos alimentos.

Actualmente no existe una definición aceptada del término "alimento funcional", y tiende a ser entendido como un concepto más que como un grupo bien definido de productos alimenticios. La "European Commission's Concerted Action on Functional Food Science in Europe" (FUFOSE) ha propuesto que "un alimento puede ser considerado como funcional si se demuestra satisfactoriamente que afecta benéficamente a una o más funciones requeridas en el cuerpo, más allá de los efectos nutricionales adecuados, de manera que es relevante para mejorar la salud y/o para reducir el riesgo de enfermedad. Un alimento funcional debe permanecer como alimento y debe demostrar su efecto en cantidades que puedan normalmente ser consumidas en la dieta: no es una pastilla o una cápsula, pero es parte del patrón normal del alimento" (Diplock y col. 1999).

Los alimentos funcionales podrían entonces definirse como "cualquier alimento en forma natural o procesada que, además de sus componentes nutritivos, contienen componentes adicionales que favorecen la salud tanto física como psicológica" (Vasconcellos, 2001).

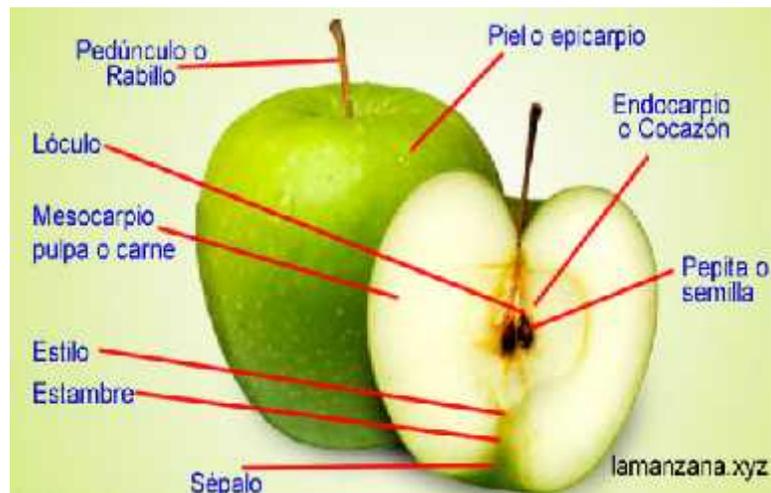
## 2.2. Materias Primas

### 2.2.1. Manzana

Los manzanos son los árboles frutales cultivados de mayor abundancia en las regiones templadas del planeta debido a su facilidad de adaptación a diferentes tipos de clima y suelos, su alto rendimiento, su valor alimenticio y por la calidad y diversidad de productos que se obtienen en la industria, tales como jugos, bebidas fermentadas, vinagres, jaleas, mermeladas, purés, conservas, deshidratados, etc.(Casim, 2011)

La manzana es una de las frutas de mayor consumo y una excelente fuente de vitaminas (C, E) y minerales, especialmente potasio. La amplia variedad de manzanas disponible en el mercado (Golden, Gala, *Malus Domestica*, Reineta, Fuji, etc.) hace que pueda ser consumida durante todo el año.

**Figura 2-1 Corte longitudinal y transversal de una manzana**



Fuente: Partes de la manzana (Revista educativa Partes del.com, 2017)

La manzana es un fruto monotalámico de corteza carnosa y comestible que se desarrolla a partir del receptáculo. La división celular se completa en la etapa de crecimiento, por elongación de las células parenquimáticas y por el aumento del tamaño de los espacios intercelulares. Las células se organizan de modo algo imperfecto en forma de conjuntos de cinco o seis células agrupadas de forma que van

creando grandes espacios intercelulares. El tejido de manzana es muy esponjoso, debido precisamente a la presencia de estos espacios intercelulares que se mantienen conectados entre sí y que llegan a ocupar el 25-30% del volumen total del tejido (Albors, 2002).

Desde el punto de vista nutritivo, la manzana es una de las frutas más completas y enriquecedoras en la dieta. Un 85% de su composición es agua, por lo que resulta muy refrescante e hidratante. Los azúcares, la mayor parte fructosa (azúcar de la fruta) y en menor proporción, glucosa y sacarosa, de rápida asimilación en el organismo, son los nutrientes más abundantes después del agua. Es fuente discreta de vitamina E o tocoferol y aporta una escasa cantidad de vitamina C. Es rica en pectina, fibra abundante en la manzana, que mejora el tránsito intestinal. Entre su contenido mineral sobresale el potasio y es baja en sodio. El potasio, mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula (Consumer, 2006)

Según Hidalgo, R. (2016), el fruto del manzano contiene 12,6 % de hidratos de carbono en forma de azúcares (fructosa en su mayor parte, glucosa y sacarosa en menor proporción). Igualmente, contiene pequeñas cantidades de proteínas y grasas. Entre las vitaminas se destacan la C y la E; y entre los minerales, el potasio y el hierro. En conjunto, sus nutrientes aportan 59 Kilo calorías por cada 100 gramos (59 Kcal/100g).

#### **2.2.1.1. Características Taxonómicas y Morfológicas de la Manzana**

**Reino:** *Vegetal*

**División:** *Espermatophyta*

**Subdivisión:** *Angiospermae*

**Clase:** *Dicotyledoneae*

**Orden:** *Rosales*

**Familia:** *Rosaceae*.

**Género:** *Pyrus*

**Especie:** *Pyrus malus* L.

**Porte:** alcanza como máximo 10 m. de altura y tiene una copa globosa. Tronco derecho que normalmente alcanza de 2 a 2,5 m. de altura, con corteza cubierta de lenticelas, lisa, adherida, de color ceniciento verdoso sobre los ramos y escamosa, y gris parda (Partes del árbol de manzana) sobre las partes viejas del árbol. Tiene una vida de unos 60-80 años. Las ramas se insertan en ángulo abierto sobre el tallo, de color verde oscuro, a veces tendiendo a negruzco o violáceo. Los brotes jóvenes terminan con frecuencia en una espina.

**Sistema radicular:** raíz superficial, menos ramificada que en peral.

**Hojas:** ovales, cortamente acuminadas, aserradas, con dientes obtusos, blandas, con el haz verde claro y tomentosas, de doble longitud que el pecíolo, con 4-8 nervios alternados y bien desarrollados.

**Flores:** grandes, casi sentadas o cortamente pedunculadas, que se abren unos días antes que las hojas. Son hermafroditas, de color rosa pálido, a veces blanco, y en número de 3-6 unidas en corimbo.

**Fruto:** pomo globoso, con pedúnculo corto y numerosas semillas de color pardo brillante.

**Figura 2-2 Planta de Manzana (Granny Smith)**



Fuente: Bioenciclopedia (2015)

### 2.2.1.2. Características Fisicoquímicas y Nutricionales de la Manzana

Entre las características más resaltantes de la Manzana Granny Smith tenemos a:

**Altura promedio:** Entre 7 y 9 cm

**Peso:** Entre 170 a 250 gramos

**Diámetro:** 6 – 7 cm

En cuestión de componentes del fruto del manzano se puede mencionar los siguientes:

**Pectina:** Se trata de un hidrato de carbono que no se absorbe en el intestino, y que forma la mayor parte de la fibra vegetal insoluble. La mayor parte de los 2,4 g/100 g de fibra de la manzana, están formados por pectina; y solamente la quinta parte de la pectina de la manzana se encuentra en la piel del fruto, por lo que al pelarlas se pierde una pequeña cantidad. La pectina retiene agua y diversas sustancias de desecho en el intestino, actuando como una auténtica escoba intestinal que facilita la eliminación de las toxinas junto con las heces.

**Ácidos Orgánicos:** Presentan el 1% y el 1,5% del peso de la manzana, según las variedades. El más abundante es el ácido málico, aunque también se encuentran el cítrico, succínico, láctico y salicílico. Al igual que ocurre con los cítricos, estos ácidos orgánicos producen al metabolizarse un efecto alcalinizante (antiácido) en la sangre y en los tejidos. Además, estos ácidos renuevan la flora intestinal y evitan fermentaciones intestinales.

**Azúcares:** Se encargan de brindar el valor energético a la fruta. Los principales azúcares que se encuentran en la manzana son levulosa, dextrosa, sacarosa y sorbitol. Conforme avanza el proceso de maduración el contenido de azúcares aumenta debido a que el almidón presente se transforma en dextrosa y levulosa. Un rango medio de azúcares es 12% a 17%.

**Enzimas:** Las manzanas poseen principalmente enzimas oxidasas encargadas de la transformación e hidrólisis de los hidratos de carbono, aceites esenciales y proteínas. La peroxidasa y la polifenoloxidasas junto con los fenoles y en presencia de oxígeno

son las responsables del oscurecimiento de la pulpa de la manzana después de un corte o magulladura; estas reacciones son indeseables ya que disminuyen la calidad del producto.

**Taninos:** La manzana es, después del membrillo, una de las frutas más ricas en taninos, que son astringentes y antiinflamatorios.

**Flavonoides:** Constituyen un grupo de elementos fitoquímicos presentes en muchas frutas y hortalizas, capaces de impedir la oxidación de la lipo-proteínas de baja densidad (sustancias que transportan el colesterol a la sangre). De esta forma los flavonoides impiden que el colesterol se deposite en las paredes de las arterias y detienen el proceso de la arteriosclerosis (endurecimiento y estrechamiento de las arterias).

Como se mencionó anteriormente la manzana cuenta con una amplia gama de nutrientes los cuales se mencionan en la siguiente tabla:

**Antocianinas:** En las manzanas son las antocianinas las responsables del desarrollo del color, estos pigmentos se encuentran disueltos en las vacuolas de la célula de la epidermis, pero principalmente en las células subepidérmicas. Se forman a medida que la fruta madura, a partir de carbohidratos que deben acumularse en ella durante su crecimiento, la transformación de azúcares precursoras de antocianinas está directamente afectada por la luz y temperatura.

Las antocianinas, antocianidinas y antocianos, son compuestos coloreados que derivan de las agliconas de los tres tipos de antocianidinas, la cianidina y la delphinidina cuando se condensan con uno o más azúcares principalmente en la posición tres forman los antocianos

Varias prácticas de manejo como la intensidad de poda, el riego y la carga frutal están asociadas al desarrollo de las antocianinas.

**Tabla II-1 Composición del fruto de manzano en 100gr**

<b>Composición</b>	<b>Cantidad</b>
Agua (g)	84,00
Calorías (Kcal)	59,00
Carbohidratos (g)	15,00
Proteínas (g)	0,19
Fibras (g)	2,70
Lípidos (g)	0,40
Potasio (mg)	115,00
Calcio (mg)	7,00
Fosforo (mg)	7,00
Magnesio (mg)	5,00
Azufre (mg)	5,00
Hierro (mg)	0,18
Vitamina B3 (mg)	0,17
Vitamina E (mg)	0,40

Fuente: Composición de la manzana CASIM (2011)

### **2.2.1.3. Tipos de Manzana**

Los distintos colores, sabores y las texturas están relacionados con los lugares donde se cultiva esta fruta. Las manzanas son muy similares en su composición nutricional. No hay, entre las distintas variedades, diferencias muy significativas. Si acaso, la principal distinción tiene que ver con la cantidad de fibra y de vitamina C, que es algo mayor en las especies de color amarillo, y con la cantidad de vitamina A, que es algo menor en las verdes.

- **Golden Delicious**

Su origen se encuentra en Estados Unidos; lugar donde mutaron por primera vez pero actualmente, las variedades se cultivan en las zonas templadas de todo el mundo, España incluida. La Golden es una de las especies más clásicas y conocidas, y la segunda más cultivada en el mundo. Está disponible durante todo el año.

Color: amarillo verdoso, con puntitos oscuros.

Forma: redondeada y muy regular

Sabor: es dulce, aromática, de pulpa jugosa y muy crujiente.

- Red Delicious

Esta especie es casi centenaria. Surgió alrededor de 1915 en Estados Unidos, tras una mutación, y en la actualidad es la variedad más cultivada y una de las que más cuota de mercado concentra. Color: rojo brillante. Forma: alargada y grande. Sabor: la pulpa es jugosa, blanda, amarillenta y de textura granulada. De sabor dulce, es aromática y agradable al paladar, algo perfumada y con tendencia a volverse harinosa si no se conserva adecuadamente.

- Royal Gala

Procedente de Nueva Zelanda, es una especie muy productiva.

Color: tiene la piel con estrías rojas y naranjas sobre una base de color verde-amarillo.

Forma: muy redondeada.

Sabor: su pulpa blanca es muy crujiente, aromática, jugosa y fina. Es de una calidad organoléptica neutra, apropiada para quienes no les atrae demasiado los sabores ácidos o demasiado dulces.

- Starking

Procede de Estados Unidos y es una mutación de la especie Red Delicious. Es una de las más conocidas y muy parecida a su predecesora original. Se encuentra casi todo el año, excepto en los meses de más calor.

Color: rojo brillante con estrías verdosas.

Forma: redondeada.

Sabor: la pulpa es blanca-amarilla, de sabor dulce y muy crujiente.

- Verde Criolla

Color: Verde

Forma: Redondeada

Sabor: textura crujiente, semi dulce y jugosa.

- Granny Smith

Australia es su país originario y es muy fácil reconocer esta variedad, ya que es la única manzana cuyo color suele ser verdaderamente homogéneo

Color: verde Brillante.

Forma: muy redondeada, lisa y cerosa.

Sabor: es de textura muy crujiente, de pulpa blanca, muy jugosa y con un sabor pronunciadamente ácido.

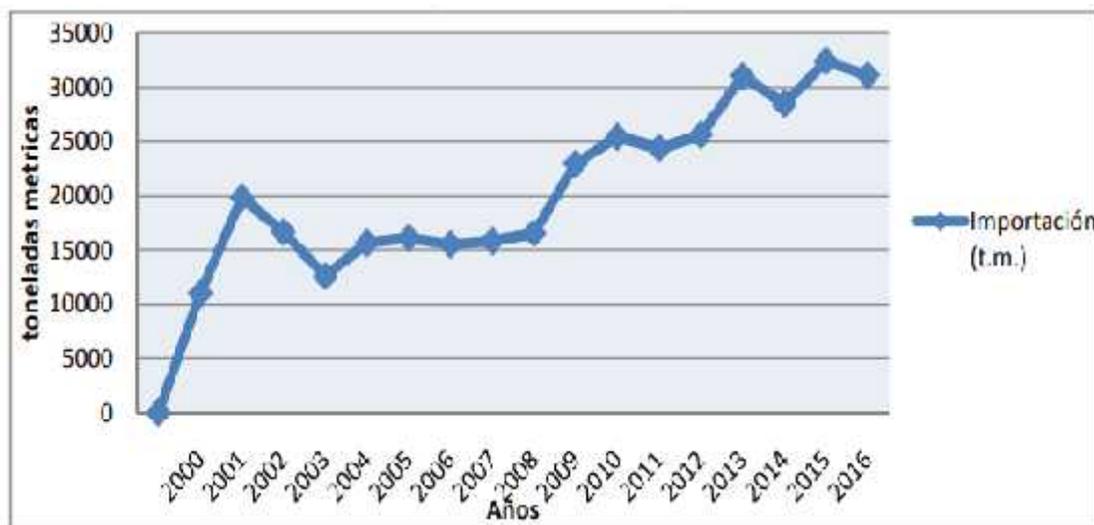
Es muy resistente al transporte, la manipulación y el almacenamiento en frigorífico y atmosferas controladas, cabe resaltar que esta variedad no se oxida rápido y que favorecen el crecimiento de bacterias beneficiosas en el colon por su alto contenido en sustancias no digeribles (como fibra y polifenoles antioxidantes) y por su escaso contenido en hidratos disponibles.

### **2.2.2. Importación de Manzana en Bolivia**

En la actualidad la superficie total estimada de manzana en Bolivia es de 495,0hectáreas, la cual es muy reducida comparada a otros países ya que ni siquiera aparece en las estadísticas de la FAO. El volumen anual de manzana alcanza a 3145,2toneladas, producción que no cubre ni el 20% del consumo local. El reducido volumen de producción se puede explicar por los bajos rendimientos por unidad de superficie, por este motivo Bolivia opto por recurrir a la importación.

Según datos del Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (MDRyT), Bolivia importó manzanas por un valor total de 12 millones de dólares en la gestión 2016 y este valor tiende a incrementarse ya que desde el año 2000 al 2005 se puede observar un aumento en la importación de 20,78% en volumen, en el periodo 2006 al 2010 se dispara en 120,66%, esto se debe principalmente al creciente interés de invertir en el sector industrial, en las gestiones 2011 al 2016 se incrementó en 78,17% lo que quiere decir que el valor de importación de manzanas ha crecido incluso casi triplicándose en valor.

**Figura 2-3 Importación Total de Manzanas al Mercado Nacional 2000 – 2016 (Tn)**



Fuente: Efecto de la Importación de Manzanas y su Incidencia en la producción Nacional (2017)

### 2.3. Calcio

El calcio es un mineral presente en muchos alimentos y es indispensable para mantener los huesos fuertes y llevar a cabo muchas funciones importantes en el cuerpo humano. Casi todo el calcio se almacena en los huesos y los dientes, donde apoya su estructura y rigidez.

El cuerpo también necesita calcio para que los músculos se muevan y los nervios transmitan mensajes del cerebro a distintas partes del cuerpo. Además, el calcio ayuda a que la sangre circule a través de los vasos sanguíneos por todo el cuerpo y a liberar hormonas y enzimas que influyen casi todas las funciones del cuerpo.(Health, 2016).

El calcio, en sus diferentes sales, es uno de los componentes más utilizados enriquecer algunos productos. El mayor interés de este hecho radica en su relación con la prevención de la osteoporosis.

Existe un equilibrio dinámico entre los distintos compartimentos corporales, de forma

que el calcio disuelto del medio extracelular y parte del que se encuentra en el hueso, son intercambiables: aproximadamente unos 500 mg de calcio entran y salen del hueso diariamente. El hueso puede funcionar como reservorio de calcio y cederlo, si la concentración en la sangre disminuye por debajo del rango normal.

### **2.3.1. Funciones del Calcio**

Además del papel fundamental en la formación y mantenimiento de los huesos y los dientes, es esencial en numerosos procesos metabólicos interviniendo en:

- Transmisión del impulso nervioso, excitabilidad neuronal y formación de neurotransmisores
- Mantenimiento del tono del músculo esquelético y contracción del músculo liso
- Procesos de coagulación sanguínea, iniciando la formación de un coágulo sanguíneo.
- Regulación de los mecanismos de transporte en las membranas celulares e intracelulares
- Liberación y activación de numerosas actividades enzimáticas intracelulares y extracelulares
- Mitosis y fecundación

Según el Instituto Nacional de la Salud (National Institutes of Health), la cantidad diaria de calcio que requiere una persona va de acuerdo a la edad de la misma.

**Tabla II-2 Ingesta diaria de calcio**

<b>Etapa de la vida</b>	<b>Cantidad Recomendada (mg)</b>
Bebés hasta los 6 meses de edad	200
Bebés de 7 a 12 meses de edad	260
Niños de 1 a 3 años de edad	700
Niños de 4 a 8 años de edad	1,000
Niños de 9 a 13 años de edad	1,300
Adolescentes de 14 a 18 años de edad	1,300
Adultos de 19 a 50 años de edad	1,000
Hombres adultos de 51 a 70 años de edad	1,000
Mujeres adultas de 51 a 70 años de edad	1,200
Adultos de 71 o más años de edad	1,200
Adolescentes embarazadas o en período de lactancia	1,300
Mujeres adultas embarazadas o en período de lactancia	1,000

Fuente: National Institutes of Health (2016)

En la tabla II-2 se muestra los requerimientos de calcio diario y como se puede observar en la cantidad recomendada de calcio, las adolescentes en estado de gestación requieren una mayor ingesta de calcio, con respecto a las mujeres adultas en este estado, debido a que las mismas están en una etapa en donde sus huesos todavía requieren cantidades de calcio para fortalecerse y no solo ella si no también el niño que está gestando por lo tanto se puede decir que las adolescentes embarazadas requieren una mayor cantidad de calcio por dicho motivo.

No obstante frente a la necesidad de mejorar la ingesta de calcio en la población, de manera agradable y económica, el enriquecimiento y la fortificación de alimentos se convierten en estrategias útiles para mejorar la calidad nutricional de los alimentos en las dietas habituales.

Cabe resaltar que Bolivia es uno de los países que consume menor cantidad de leche (fuente rica en calcio), ya que según estudios que se realizaron, la ingesta de la misma es de 60 litros promedio persona/año, esta cifra está muy debajo de la que recomienda la organización mundial de la salud (OMS), ella menciona que los seres humanos tendríamos que ingerir al menos 182 litros al año.

## **2.4. Aditivos**

Las fuentes de calcio utilizadas fueron seleccionadas en base a su, costo, disponibilidad y biodisponibilidad de calcio. En estudios previos de otros investigadores, se concluyó que el carbonato y citrato de calcio son sales que pueden ser usadas para la preparación del medio de impregnación, pues son de bajo costo, son relativamente solubles en agua a temperatura ambiente y poseen una biodisponibilidad similar a las sales de calcio presentes en la leche.

### **2.4.1. Carbonato de Calcio**

Es un compuesto químico ternario perteneciente a la categoría de las sales derivadas del ácido carbónico (anión carbonato), formado por un átomo de calcio (Ca), un átomo de carbono (C) y tres átomos de oxígeno (O), cuya fórmula química es  $\text{CaCO}_3$ .

El carbonato de calcio es una sal con cristales incoloros, inodoros e insípidos con un alto contenido de calcio (40%) y tiene varios usos, uno de ellos como suplemento y como fortificador de alimentos.

Es el componente principal de minerales como la calcita y de rocas como la caliza, forma parte de la composición de las estructuras geológicas, también se lo encuentra en las estructuras de organismo vivos como ser el talo de algunas algas (conjunto de la raíz, el tallo y las hojas), conchas de moluscos, esqueletos de corales o en las cascaras de huevo de reptiles y aves.

En la siguiente tabla se detallan las propiedades del Carbonato de Calcio:

**Tabla II-3 Propiedades fisicoquímicas del Carbonato de Calcio (CaCO<sub>3</sub>)**

<b>Propiedad Fisicoquímica</b>	<b>Valor</b>
Fórmula química	CaCO <sub>3</sub>
Peso molecular	100.1 g/mol
Estado físico a 20°C	Sólido
Color	Polvo blanco
Olor	Inodoro
Punto de Fusión	1172 K (899°C)
Punto de ebullición	1612 K (1339 °C)
Presión de vapor, 20 °C	No aplica (NA)
Densidad	2,7 g/cm <sup>3</sup>
Solubilidad en agua	0,0013g por cada 100g de agua
Límites de explosión – Inferior [%]	No aplica (NA)
Límites de explosión – Superior [%]	No aplica (NA)

Fuente: Pontificia Universidad Javeriana de Cali, 2010

#### **2.4.1.1. Aplicación del Carbonato de Calcio en la Industria Alimentaria**

En la industria alimenticia es utilizado tanto en la elaboración de alimentos balanceados para ganado y en el enriquecimiento de algunos productos alimenticios para consumo humano. En el primer caso su uso se dirige hacia la fabricación de alimentos para pollos, puercos, perros y gatos. Funcionando como complemento alimenticio, ya que es fuente de calcio, además de proporcionar consistencia al producto. En el segundo segmento se utiliza para incrementar el contenido de calcio en los alimentos; sin embargo, también brinda al producto propiedades anti-apelmazantes, color, regulador de pH y gasificante.

### 2.4.2. Citrato de Calcio

El citrato del calcio es una sal orgánica, se presenta como un polvo cristalino blanco, inodoro y contiene un 50% de calcio además que es fácilmente absorbido por la vía intestinal.

Es una de las sales empleadas para la fabricación de suplementos de calcio, además que según estudios farmacocinéticos el citrato de calcio cuenta con una mayor biodisponibilidad que el carbonato de calcio, es decir, que el cuerpo lo absorbe de una manera más rápida y fácil.

El citrato de calcio se prepara a partir de cítricos; por reacción de ácido cítrico y calcio, entre otros. En la siguiente tabla se puede observar algunas propiedades fisicoquímicas del mismo.

**Tabla II-4 Propiedades Fisicoquímicas del Citrato de Calcio**

<b>Propiedad Fisicoquímica</b>	<b>Valor</b>
Formula Química	$\text{Ca}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2$
Peso Molecular	498,46 g/mol (anhidro)
Densidad	1,63 g/cm <sup>3</sup> (Sólido)
Punto de fusión	120 °C
Solubilidad	0,095 g/100 ml a 25 °C

Fuente: Andesia químicos, 2009

#### 2.4.2.1. Aplicación del Citrato de Calcio en la Industria Alimentaria

El Citrato de Calcio es una excelente alternativa como fuente enriquecedora, sus principales aplicaciones son los siguientes:

- Fortificación de bebidas carbonatadas y no carbonatadas
- Fortificación de fórmulas infantiles.
- Para fabricación de tabletas para suplemento de Calcio
- Suplemento de calcio en alimentos procesados (cereales, barras de cereal,

puddines, mezclas de pancakes, etc.)

- Preservación y condimentación de alimentos

### **2.4.3. Glucosa**

La glucosa es una molécula orgánica compuesta por carbono, hidrógeno y oxígeno cuya fórmula es  $C_6H_{12}O_6$ . Como tal, forma parte de un grupo mucho mayor de azúcares o carbohidratos.

Como medio de impregnación se utilizó la glucosa debido a que los azúcares están en Posición de reemplazar a las moléculas de agua alrededor de los residuos polares de las 247 macromoléculas. En el caso de las membranas celulares, se encuentran estabilizando a los fosfolípidos y proteínas.

### **2.5. Fortificación/enriquecimiento de alimentos**

Tanto enriquecer como fortificar alimentos significa añadir una serie de nutrientes que, según el caso, podían ya tener de manera natural o no. Precisamente en esta diferencia radica la distinción entre ambos conceptos.

Según el Ministerio de agroindustria, 2014, “Los alimentos enriquecidos son aquellos a los que se han adicionado nutrientes esenciales (Vitaminas y/o minerales y/o proteínas y/o aminoácidos esenciales y/o ácidos grasos esenciales) con el objeto de resolver deficiencias de la alimentación que se traducen en fenómenos de carencia colectiva”.

Es decir que los Alimentos Enriquecidos poseen una incorporación de nutrientes considerados necesarios por la Autoridad Sanitaria a fin de contribuir en la mejora de las carencias de nutrientes que existen en la población, ya sea que presentan estados fisiológicos particulares o que requieren una incorporación de cierto/s nutriente/s en mayor concentración para prevenir patologías endémicas en el país.

Los alimentos fortificados son aquellos en los cuales la proporción de proteínas y/o aminoácidos y/o vitaminas y/o sustancias minerales y/o ácidos grasos esenciales es superior a la del contenido natural medio del alimento corriente, por haber sido suplementado significativamente.

Esto quiere decir que los Alimentos Fortificados se elaboran especialmente con un contenido mayor de algún nutriente, su fin es satisfacer necesidades alimentarias específicas de determinados grupos de personas sanas, y por lo general son elecciones que toma la industria para agregar valor a sus productos”.

La fortificación de alimentos se refiere a la adición de micronutrientes a los alimentos procesados. En muchas situaciones, esta estrategia puede conducir a mejoras relativamente rápidas del estado nutricional a un costo bastante razonable, especialmente si se puede aprovechar la tecnología existente y las redes locales de distribución. Debido a que los beneficios son potencialmente considerables, la fortificación de alimentos puede ser una intervención de salud pública costo efectiva. Sin embargo, es necesario que el alimento fortificado se consuma en cantidades adecuadas por una gran proporción de la población objetivo. También es necesario tener acceso y utilizar compuestos con buena absorción y que no afecten las propiedades sensoriales de los alimentos. En la mayor parte de los casos, es preferible utilizar aquellos vehículos alimentarios que se procesan centralmente y contar con el apoyo de la industria alimentaria.

Como parte del enfoque alimentario, la fortificación de alimentos es una tecnología válida para reducir la malnutrición por carencia micronutrientes, especialmente donde la disponibilidad y el acceso a los alimentos son limitados y la dieta no proporciona los niveles adecuados de nutrientes. En dichos casos, la fortificación de alimentos refuerza y apoya otros programas nutricionales y debe considerarse como parte de un enfoque integral más amplio que complementa otros enfoques para mejorar la malnutrición por carencia de micronutrientes. (Allen, 2017)

### **2.5.1. Ventajas y limitaciones de la fortificación de alimentos como estrategia para el combate de la desnutrición por carencia de micronutrientes (DCMN)**

- Si se consumen regular y frecuentemente, los alimentos fortificados conservarán las reservas corporales de los nutrientes de una manera más eficiente y efectiva que los suplementos, son mejores para reducir el riesgo de carencias múltiples que pueden

resultar de reducciones estacionales en el suministro de alimentos o por una dieta de baja calidad. Esta es una ventaja importante para los niños en crecimiento que necesitan un suministro sostenido de micronutrientes para crecer y desarrollarse, así como para las mujeres en edad reproductiva que necesitan iniciar los períodos de gestación y lactancia con reservas adecuadas de nutrientes. La fortificación puede ser una manera excelente para aumentar el contenido de vitaminas en la leche materna y por lo tanto reducir la necesidad de suplementación en las mujeres durante el posparto y en los lactantes.

- Por lo general la fortificación está dirigida a suministrar micronutrientes en cantidades aproximadas a las proporcionadas por una dieta adecuada y bien balanceada. Por consiguiente, los alimentos básicos fortificados contendrán niveles «naturales» o casi naturales de los micronutrientes, lo cual no ocurre siempre con los suplementos.
- La fortificación de alimentos ampliamente distribuidos y consumidos tiene el potencial de mejorar el estado nutricional a una gran proporción de la población (pobre y no pobre).
- La fortificación no necesita de cambios en los patrones alimentarios actuales lo cual es particularmente difícil de lograr, especialmente a corto plazo ni en el cumplimiento individual.
- En la mayor parte de los lugares ya existe un sistema de distribución de los alimentos fortificados, por lo general por medio del sector privado. La tendencia mundial hacia la urbanización significa que una proporción cada vez mayor de la población, incluso la de los países en desarrollo, consume alimentos procesados industrialmente en lugar de alimentos de producción local. Esto les permite a muchos países desarrollar estrategias efectivas para combatir la DCMN con base en la fortificación de alimentos básicos de la dieta procesados centralmente, lo cual anteriormente tan solo habría cubierto a una pequeña proporción de la población.
- Las carencias de varios micronutrientes casi siempre coexisten en poblaciones con una alimentación deficiente. Por consiguiente, la fortificación con múltiples

micronutrientes es con frecuencia deseable. En la mayoría de los casos es posible fortificar alimentos simultáneamente con varios micronutrientes.

- Por lo general es posible agregar uno o varios micronutrientes sin aumentar de manera sustancial el costo total del producto alimentario en el punto de producción. • Cuando se reglamenta de manera apropiada, la fortificación conlleva un riesgo mínimo de toxicidad crónica.
- Con frecuencia, la fortificación tiene un mejor costo efectividad que otras estrategias, especialmente si se cuenta con la tecnología y un sistema de distribución de alimentos apropiado. Se reconoce generalmente que la fortificación de alimentos puede tener un impacto enormemente positivo en la salud pública, aunque hay, sin embargo, algunas limitaciones en esta estrategia para el control de las DCMN:
- Aunque los alimentos fortificados tienen una mayor cantidad de micronutrientes seleccionados, no existe un sustituto para una alimentación de alta calidad que proporcione cantidades adecuadas de energía, proteínas, grasas esenciales y otros constituyentes alimentarios necesarios para una salud óptima.
- Es posible que un producto alimentario fortificado específico no sea consumido por toda la población objetivo. Por el contrario, toda la población podría estar expuesta a una mayor cantidad de micronutrientes en el alimento fortificado, sin importar si se beneficiará o no de la fortificación.
- Es poco probable que los lactantes y niños pequeños que consumen cantidades relativamente pequeñas de alimentos puedan alcanzar la ingesta recomendada de todos los micronutrientes únicamente con base en la fortificación universal de alimentos básicos o de los condimentos solos. Los alimentos complementarios fortificados podrían ser apropiados para estos grupos de edad. También es probable que en muchos lugares los alimentos fortificados no suministren una cantidad adecuada de algunos micronutrientes, como el hierro a mujeres embarazadas, en cuyo caso seguirían siendo necesarios los suplementos para satisfacer las necesidades de grupos seleccionados de la población.
- Con frecuencia, los alimentos fortificados no llegan a los segmentos más pobres de

la población general, quienes están en mayor riesgo de carencia de micronutrientes. Esto se debe a que dichos grupos tienen un acceso restringido a los alimentos fortificados debido a una baja capacidad de compra y a canales de distribución poco desarrollados. Muchos grupos de población desnutrida frecuentemente viven al margen de la economía de mercado, dependiendo de los alimentos que ellos mismo producen localmente. La disponibilidad, el acceso y el consumo de una cantidad y variedad adecuadas de alimentos ricos en micronutrientes, tales como alimentos de origen animal, frutas y vegetales, son limitados. Así mismo, el acceso al sistema de distribución de alimentos es restringido y estos grupos de población compran solo pequeñas cantidades de alimentos procesados. La producción del arroz, en particular, tiende a ser doméstica o local, así como la producción del maíz. En poblaciones que dependen de estos alimentos básicos puede resultar difícil encontrar un alimento apropiado para fortificar. En algunos países, la fortificación del azúcar, salsas, aderezos y otros condimentos pueden ser la solución a este problema si los grupos objetivo consumen estos productos en cantidad suficiente.

- Los grupos de población con muy bajos ingresos tienen múltiples carencias de micronutrientes como resultado del consumo inadecuado de los alimentos tradicionales. Aunque técnicamente es posible la fortificación con varios micronutrientes, la realidad es que las personas pobres no podrán satisfacer la ingesta recomendada de todos los micronutrientes únicamente de los alimentos fortificados.
- Aún es necesario resolver completamente los problemas tecnológicos relacionados con la fortificación de alimentos, especialmente en relación con los niveles apropiados de nutrientes, la estabilidad, las interacciones y las propiedades físicas, así como la aceptación por los consumidores, tanto de las propiedades de cocción como del sabor.
- La naturaleza del vehículo alimentario o del compuesto puede limitar la cantidad del nutriente que es posible agregar. Por ejemplo, algunos compuestos de hierro cambian el color y el sabor de muchos alimentos a los que se les agrega y pueden

causar la destrucción del compuesto de vitamina A y yodo. Se han desarrollado maneras para resolver algunos de estos problemas (como el micro encapsulado con recubrimientos protectores) pero aún persisten algunas dificultades.

- Aunque por lo general es posible agregar una mezcla de vitaminas y minerales a alimentos relativamente inertes y secos, como los cereales, es posible que ocurran interacciones entre los compuestos que pueden afectar de manera adversa la calidad organoléptica del alimento o la estabilidad de los nutrientes. Se carece del conocimiento acerca del impacto cuantitativo de las interacciones entre los nutrientes que se agregan como mezcla en la absorción de los nutrientes individuales, lo cual complica la estimación de la cantidad de nutriente que se debe agregar. Por ejemplo, la presencia de grandes cantidades de calcio puede inhibir la absorción del hierro de un alimento fortificado; la presencia de vitamina C tiene el efecto opuesto y aumenta la absorción del hierro.
- Aunque con frecuencia los alimentos fortificados tienen un buen costo efectividad en comparación con otras estrategias, hay, sin embargo, costos significativos asociados con el proceso de la fortificación de alimentos, lo cual podría limitar la ejecución y la efectividad de los programas de fortificación de alimentos. Esto incluye los costos iniciales, los gastos para llevar a cabo los estudios para definir los niveles de micronutrientes, las cualidades físicas y el sabor, un análisis realista de la capacidad de compra de los beneficiarios potenciales, los costos recurrentes necesarios para crear y mantener la demanda de estos productos, así como los costos de un efectivo sistema nacional de vigilancia para asegurar que la fortificación sea eficiente.

Para asegurar su éxito y sostenibilidad, especialmente en países con pocos recursos, los programas de fortificación de alimentos deberán aplicarse junto con programas para la reducción de la pobreza y otras intervenciones agrícolas, de salud, educación y sociales que promuevan el consumo y la utilización de cantidades adecuadas de alimentos nutritivos de buena calidad por la población nutricionalmente vulnerable. Por lo tanto, la fortificación de alimentos deberá ser considerada como una estrategia complementaria para mejorar el estado nutricional de micronutrientes.(Allen, 2017)

## **2.6. Impregnación con componentes fisiológicamente activos (CFA)**

La fortificación de alimentos con CFA por medio de técnicas de impregnación es un método eficaz que admite la incorporación de CFA en el alimento de manera controlada, permitiendo el desarrollo de alimentos funcionales sin modificar considerablemente la estructura de la matriz original. Esta técnica es especialmente útil en el desarrollo de productos que poseen poros internos en los cuales el CFA pueda ser introducido y mantenido.

La incorporación de CFA en los tejidos vegetales puede realizarse mediante procesos de impregnación a presión atmosférica (IA), impregnación a vacío (I.V.) o mediante una combinación de impregnación a vacío seguido por largos periodos de impregnación a presión atmosférica. La presión de operación es uno de los factores que afecta la composición y las características estructurales del producto final.

Durante los procesos de impregnación a presión atmosférica se produce una transferencia del CFA desde la solución hacia la fruta debido al gradiente de potencial químico entre el medio y el tejido celular vegetal. La impregnación se produce por lo tanto por un mecanismo de difusión en donde la estructura celular de la planta actúa como una membrana semipermeable. En cambio, en los procesos de impregnación al vacío la solución de impregnación penetra en los poros (espacios intracelulares) de la matriz vegetal por capilaridad y mediante gradientes de presión impuestos al sistema. Este fenómeno se denomina mecanismo hidrodinámico y en algunos casos permite una mayor velocidad de transferencia de masa, aunque la efectividad de la impregnación a vacío para la incorporación de un soluto específico dentro del tejido está limitada por su solubilidad y/o la porosidad de la matriz vegetal.

Los tejidos vegetales, debido a sus apreciadas propiedades funcionales, nutricionales y sensoriales podrían ser alimentos ideales para ser fortificadas con calcio. Existen diversos estudios que demuestran la viabilidad de las matrices vegetales para incorporar compuestos bioactivos.

Los productos impregnados pueden ser comercializados directamente como productos mínimamente procesados o pueden ser secados para obtener mayor estabilidad. (Fito y Col 2005).

### **2.6.1. Impregnación a presión atmosférica (I.A.)**

La impregnación a presión atmosférica se produce por transferencia de solutos desde la solución hacia la fruta debido al gradiente de potencial químico entre el medio y el tejido. La impregnación se produce, entonces, por mecanismos difusivos en donde la estructura celular de la planta actúa como una membrana semipermeable. Debido a que la bibliografía acerca del proceso de impregnación a presión atmosférica es escasa, y dado que los mecanismos de transporte involucrados en este proceso son los mismos que los de la deshidratación osmótica (DO), se detallarán los fenómenos que ocurren en la deshidratación osmótica, pues en realidad se habla de impregnación cuando la finalidad del proceso es incorporar solutos y de deshidratación cuando se desea eliminar agua del producto.

La deshidratación osmótica implica al menos dos flujos principales simultáneos en contracorriente: un flujo de agua del alimento hacia la solución, y una transferencia de solutos desde la solución hacia el alimento, debido a los gradientes de potencial químico del agua y de los solutos a un lado y otro de las membranas celulares del tejido que conforma el producto. Dicha membrana es selectiva, permitiendo al agua fluir libremente a través de ella, pero limitando y/o restringiendo el paso de solutos (Torreggiani, 2003).

La impregnación se produce entonces por un mecanismo de difusión debido a las diferencias de potencial químico de los distintos componentes de la solución de impregnación y del líquido intercelular o intracelular a lo largo del sistema producto-disolución, en donde la estructura celular de la planta actúa de forma similar a una membrana semipermeable. El flujo de componentes de una fase a otra ocurrirá de forma espontánea hasta que se alcance la igualdad de potenciales químicos en el sistema.

Según estudios realizados por Karel, Lenart y Lewicki, se ha comprobado que la velocidad a la que sale el agua del alimento hacia la solución concentrada es mayor que la del movimiento de los sólidos solubles hacia el interior del alimento. Por lo tanto, la presión osmótica del sistema será la fuerza impulsora predominante hacia el equilibrio al comienzo del proceso. Usualmente las velocidades de flujo de agua son altas durante las primeras dos horas y la mayor cantidad de sólidos ganados ocurre dentro de los primeros 30 minutos de tratamiento. A partir de ese punto los flujos se hacen muy lentos. En cambio, las velocidades de transferencia de masa de sustancias hidrosolubles nativas (azúcares, ácidos orgánicos, minerales, sales, etc.) que atraviesan la membrana son muy pequeñas y cuantitativamente despreciables comparadas con las de los otros flujos. La transferencia de solutos intracelulares está muy impedida al inicio del proceso por la semipermeabilidad de las membranas, al igual que la de los solutos de la solución osmótica que penetrarán principalmente por capilaridad en los poros (espacios intercelulares) del tejido y en cierta medida por difusión a través de la fase líquida intercelular del tejido. A medida que avanza el proceso osmótico, las membranas celulares se desnaturalizan perdiendo su selectividad al transporte, dependiendo en gran medida de las condiciones del proceso lo cual permite que el intercambio de solutos entre la fase líquida del producto y la solución osmótica pueda ocurrir libremente. (Levi y col.; Heng y col. 2009).

Sin embargo, esto no parece ocurrir cuantitativamente a los tiempos usuales de proceso. De hecho, se ha observado que el flujo neto de azúcares y ácidos nativos del producto hacia la solución osmótica es prácticamente cero en procesos de hasta 10 h y hay una ganancia limitada (hasta un 10% en peso) de azúcares externos en el producto. En una situación de ósmosis ideal, existe una membrana semipermeable y las moléculas del solvente la atraviesan, pero no lo hacen las del soluto (Bolin y col, 1983).

Los factores más importantes que influyen en la velocidad del proceso y las características del producto final en los tratamientos de impregnación a presión atmosférica son:

- Estructura
- Tamaño de las piezas
- Composición y concentración de la solución osmótica
- Temperatura
- Presión
- Tiempo de proceso

Es por ello que según varios estudios científicos referidos a las cinéticas de deshidratación de algunas frutas se llegó a la conclusión de que en cuanto a la estructura, el tamaño y la geometría del tejido a deshidratar, el proceso es más eficaz cuanto mayor sea la relación superficie/volumen y también que la permeabilidad de la membrana celular puede modificarse por efecto de la temperatura o presión, lo que facilitaría la entrada de solutos por difusión (Levi y col, 1983).

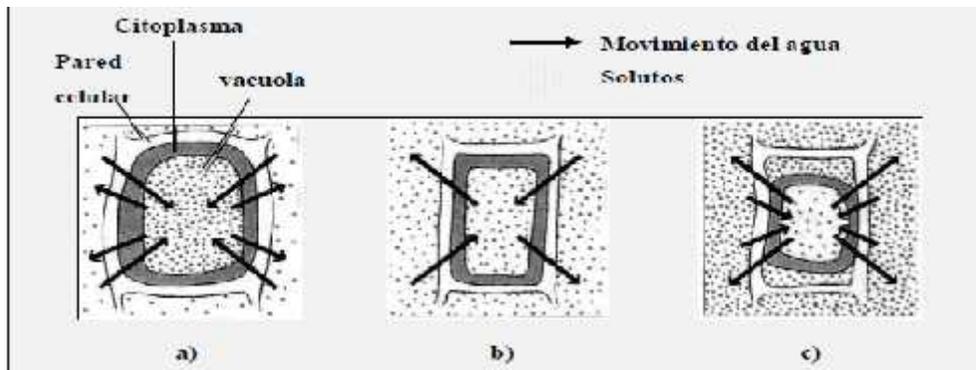
#### **2.6.1.1. Transferencia de Masa**

Durante el procesamiento osmótico de tejido fresco, los solutos difunden en el volumen extracelular y, dependiendo de sus características, pueden o no atravesar la membrana celular e ingresar al volumen intracelular. La penetración de soluto crea una diferencia de potencial químico a través de la membrana celular que da lugar a un flujo de agua desde el interior de la célula hacia el volumen extracelular. El agua fluye entonces hacia la solución osmótica a través del espacio extracelular. Por consiguiente, durante los procesos osmóticos hay al menos dos flujos simultáneos en contracorriente: el movimiento de solutos desde la solución concentrada hacia el tejido y el flujo de agua desde el tejido hacia la solución. Estos flujos interactúan entre sí de forma que los flujos convectivos y difusivos en el volumen extracelular se balancean dinámicamente con un frente de solutos que se mueve desde la superficie del tejido hacia el centro (Yao y Le Maguer, 2006).

Se conocen tres caminos en que un soluto o solvente puede seguir a través de un tejido sometido a tratamiento osmótico. El transporte apoplástico es exterior a la membrana celular y puede visualizarse como una difusión de moléculas en la pared celular y los espacios intercelulares. El transporte simplástico es interior al

plasmalemma y se caracteriza por el movimiento de moléculas de una célula a otra a través de delgados conductos (plasmodesmos). Finalmente, el transporte transmembrana, tiene lugar a través del mecanismo osmótico, es un intercambio entre el protoplasma y el espacio libre que comprende el espacio intercelular y la pared celular (Le Maguer, 2008).

**Figura 2-4 Plasmólisis de una célula vegetal**



Fuente: Casim 2011.

En la siguiente figura se puede observar en: a) Célula vegetal hinchada. La célula central es hipertónica con respecto al fluido que lo rodea y de esta manera gana agua. La expansión de la célula es contenida por la pared celular. b) Célula vegetal en solución isotónica: mantiene su elasticidad, aunque puede comenzar a marchitarse porque ya no se produce presión de agua en la vacuola. c) Célula vegetal en solución hipertónica: cede agua al líquido que la rodea y, en consecuencia, su citoplasma se retrae y su membrana se separa de la pared celular. Se dice que esta célula a perdido mucha agua.

### 2.6.2. Determinación del coeficiente de difusión

La estimación del coeficiente de difusión es importante para determinar la velocidad de transferencia de masa. En los materiales celulares, las macromoléculas pueden estar enlazadas químicamente a la matriz sólida, pero la velocidad de estas reacciones pueden ser limitadas por la difusión. Para entender estos procesos se requiere conocimiento sobre la naturaleza y propiedades de los efectos gobernados por la difusión. (Schwartzberg y Chao, 1982. Citado en Florencia Grasso, 2013).

### 2.6.2.1. Modelo matemático para la determinación del coeficiente de difusión

La segunda ley de Fick conocida también como la ecuación de difusión, es una ecuación diferencial que indica cómo la concentración de una sustancia se difunde en función de la distancia y el tiempo. Por medio de esta ley se puede obtener modelos matemáticos que sirven para la determinación del coeficiente de difusión efectivo. La difusión molecular puede ser definida por la segunda ley de Fick para estado no estacionario como:

$$\frac{\partial C}{\partial \theta} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \quad (\text{Ec. 1 - 1})$$

Dónde:

$C$  = Concentración de soluto a la distancia  $z$  del origen y al tiempo  $\theta$ .

$\theta$  = Tiempo.

$D$  = Coeficiente de difusión, cantidad de material que pasa por un plano de unidad de área en una unidad de tiempo debido a un gradiente de concentración de la unidad.

Para obtener la difusión de acuerdo a la ley de Fick ciertas condiciones deben ser establecidas (Fan y col., 1948 citado en Balbin Y. et al., 2015).

- $D$  debe ser constante e independiente del espesor.
- La forma de la lámina debe ser razonablemente homogénea.
- La distribución de calcio debe ser uniforme y la difusión a través de la orillas de la placa debe ser despreciable.
- El grosor de la muestra debe ser uniforme y el mismo para todas las muestras que son impregnadas al mismo tiempo.

Si la lámina es porosa, y las condiciones anteriores se cumplen, una de las soluciones encontradas para la ecuación (1-1) para una placa infinita está dada por (Cranck, 1957 citado en Balbin Y. et al., 2015), que corresponde al flujo en una sola dirección, solución correspondiente a las condiciones límite de:

$$C = 0, \quad z \pm l, \quad q \geq 0, \quad C = C_0, \quad -l < z < l$$

La relación entre las concentraciones  $C$  de calcio impregnado en la manzana puede

convertirse a una relación entre las cantidades de calcio por volumen de sólido  $q$ :

$$\frac{q}{q_0} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} * e^{-\frac{(2n+1)^2 D \theta}{(2l)^2}} \quad \text{Ec. (1-2)}$$

Donde:

$\theta$  = Tiempo de impregnación, s.

$q_{\theta}$  = Cantidad de calcio por unidad de sólido a  $q$  min, g/g s.s.

$q_0$  = Cantidad inicial de calcio en el sólido cuando  $q = 0$

$2l$  = Espesor de la muestra sujeta a impregnación, m.

$D$  = Coeficiente de difusión  $m^2/s$ .

$n$  = Índice de sumatoria.

La serie representada por la ecuación (1-2) converge rápidamente y así que pocos términos  $n$  son con frecuencia suficiente para los cálculos prácticos (Treybal, 1990 citado en Balbin Y. et al., 2015).

$$\frac{q_{\theta}}{q_0} = \frac{8}{\pi^2} \left( e^{-\frac{D \theta \pi^2}{(2l)^2}} + \frac{1}{9} e^{-\frac{9 D \theta \pi^2}{(2l)^2}} + \frac{1}{25} e^{-\frac{25 D \theta \pi^2}{(2l)^2}} + \dots \right) \quad (\text{Ec. 1-3})$$

Considerando estado no estacionario y partículas de geometría esféricas, suspendidas en un medio de concentración constante sin restricción de volumen, el primer término es suficiente y la ecuación se reduce a:

$$\frac{q_{\theta}}{q_0} = \frac{8}{\pi^2} e^{-\frac{\pi^2 D \theta}{(2l)^2}} \quad (\text{Ec. 1-4})$$

Entonces:

$$\log \left( \frac{q_{\theta}}{q_0} \right) = a - 1,286 \frac{D}{(2l)^2} \theta \quad (\text{Ec. 1-5})$$

Donde:

$a$  = Constante obtenida a partir de regresión lineal de valores experimentales.

## 2.7. Deshidratación

La deshidratación es la pérdida o extracción de agua que experimenta un cuerpo, tejido, sistema u organismo. La cantidad de agua que contienen las frutas varía una a otra dependiendo también del estado de madurez que tenga. La deshidratación o secado causa una pérdida de vitaminas y la cantidad que se pierda de estas dependerá del método o proceso que se utilice. La deshidratación de alimentos es una de las operaciones unitarias más relevantes e importantes en el proceso de secado de los alimentos. Consiste en eliminar la mayor cantidad de agua que sea posible, dando como resultado un bloqueo en el desarrollo de microorganismos de la misma. Siendo un método de conservación, hay que diferenciar entre el secado natural al sol, y la deshidratación propiamente dicha, que es una técnica artificial basada en la exposición a una corriente de aire caliente. (Davila, 2015).

### 2.7.1. Etapas del proceso de secado

#### 2.7.1.1. Humedad

El contenido de humedad de un sólido se lo puede expresar a base seca o base húmeda, en los cálculos de secado es más conveniente sugerir la humedad a base seca, debido a que esta permanece constante a lo largo del fenómeno de secado. Por tanto, a no ser que se indique lo contrario se entiende por humedad de un sólido; el peso de agua que acompaña la unidad de peso sólido seco.

Para estudiar el secado de sólidos es necesario definir las proporciones relativas de agua y sólido seco contenidos en los mismos. Dado que la cantidad de sólido seco no se altera en el proceso, la concentración más útil para los cálculos es la referida al peso de sólido seco:  $H_{bs}$  es la humedad al peso de agua que acompaña a la unidad de peso de sólido seco. (Escuela de Ingenierías Agrarias, 2014).

- Base Seca ( $H_{bs}$ ), cantidad de agua referida al sólido seco

$$H_D = \frac{S - S_s}{S_s} \left( \frac{K \ t_i \ d \ a}{K \ d \ s \ s_i} \right)$$

$H_{bs}$ = Contenido de humedad libre en base seca (kg de agua libre / kg de solido seco) al tiempo  $t$ .

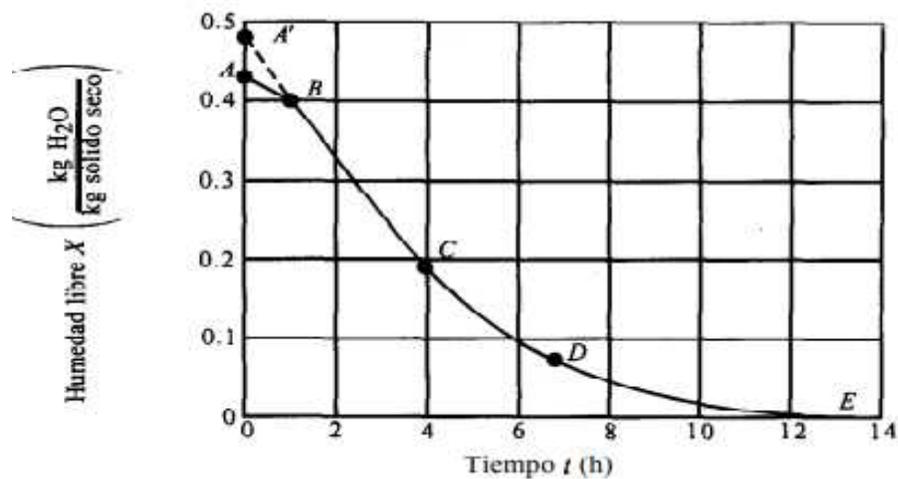
$S$ = el peso del solido húmedo en kilogramos totales de agua más el sólido seco al tiempo  $t$ .

$S_s$ = el peso del solido seco en kilogramos.

### 2.7.1.2. Curvas y periodos de secado

Las curvas de secado se obtienen a partir de muestras del alimento que se van tomando periódicamente de modo que se pueda determinar el contenido de humedad que este tiene, conforme el tiempo va avanzando. Para graficar el contenido de humedad, en función del tiempo, se necesita conocer previamente su peso seco. Graficando los datos de control, se visualiza la tendencia de la pérdida de masa en el tiempo.

**Figura 2-5 Humedad libre vs Tiempo**



Fuente: Geankoplis, 1998

En la figura 2-5 se observa la curva de secado la cual es una representación gráfica de la variación de la pérdida de humedad respecto al tiempo.

En el periodo inicial de secado, el cambio de humedad en el material está ilustrado en la curva A-B. Al terminar este primer periodo el secado toma una forma lineal del tipo  $X=f(t)$ , en este periodo la velocidad de secado es constante (recta B-C). El secado se mantiene igual por un periodo de tiempo hasta que llega al punto C, es en este punto la velocidad de secado comienza a disminuir y la línea recta comienza a adquirir una forma curvada, hasta llegar al punto D. A partir del punto D, la velocidad de secado es mucho menor hasta que casi puede llegar al punto E.

### **2.7.2. Características del agua en sistemas alimenticios**

En la mayoría de los sistemas celulares, el agua es la molécula más importante, ocupando entre el 60 al 90 % de la masa celular. En los alimentos está presente en todo sistema e ingrediente, tanto en el azúcar cristalino (0,04% base húmeda), como en tejidos vegetales (90% de agua), y tanto su contenido, como su estado y las interacciones que presenta con el resto de los componentes del sistema, es crítica y determinante del comportamiento del mismo, pues influye en su estabilidad físico-química, seguridad microbiológica, percepción sensorial, propiedades mecánicas, y comportamiento durante el procesamiento (Levine & Slade, 1991).

Debido al importante rol del agua en los alimentos, no sólo una disminución ó aumento del contenido acuoso, sino también los diferentes procesamientos, el almacenamiento y el transporte pueden afectar drásticamente la calidad del alimento y disminuir su estabilidad debido a la migración y a la redistribución del agua en la matriz del producto. Por tal motivo muchos procesos requieren del conocimiento de qué ocurre con el agua y cómo ocurre, para poder diseñar y controlarlos. Por ejemplo, en el caso de productos vegetales frescos se intenta mantener el contenido de humedad para preservar la calidad original, pero si se desea extender la vida útil lo más común es disminuir la humedad inicial. De modo contrario, la absorción de agua durante el almacenamiento de un producto vegetal deshidratado, que supone ser consumido como cracker, puede tornar al producto duro y/o gomoso. Por lo tanto, las propiedades físicas del agua tienen un fuerte impacto en el manejo, procesamiento y almacenamiento de los alimentos.

### **2.7.3. Métodos de Deshidratación**

Existen varios métodos de deshidratación, estos dependerán del producto que queremos secar. Hay tres métodos de deshidratación para las frutas y hortalizas: secado natural, deshidratación con calor artificial y deshidratación congelada. El resto de métodos que a continuación se explican también son utilizados en carnes, verduras, hortalizas y frutas.

#### **2.7.3.1. Secado Natural**

Este método es el más económico y fácil. Se llama secado natural o por medio del sol, se requiere de un clima de elevadas temperaturas y baja humedad. Cuando la fruta es secada al sol, es un proceso lento y el contenido de humedad no se reduce a menos del 15% por lo que es apto y se lo utiliza más comúnmente y de forma casera. Las características para el secado natural requieren de un amplio espacio al aire libre. Estas condiciones causan que la fruta se vuelva susceptible a factores contaminantes como polvo, insectos o plagas. Para alejar estos inconvenientes es necesario colocar una malla o tela mosquitera. Para evitar un sobre secado por medio de los rayos del sol y proteger al producto de la lluvia y humedad nocturna se deberá colocar bajo techo ya que estos factores pueden causar una mala deshidratación. Los productos obtenidos por este método no poseen seguridad alimentaria al 100% ya que su procedimiento de secado depende de una naturaleza variable, es decir que va a depender del ambiente físico en el que se encuentre. (Durán, Procesos Industriales en frutas y Hortalizas)

#### **2.7.3.2. Deshidratación por Aire Caliente**

Como su nombre lo indica, es la aplicación de aire caliente es decir a temperaturas elevadas no sobrepasando los 60°C al producto a utilizar, haciendo que el agua de los tejidos se evapore, el resultado de este vapor de agua es absorbido por el aire en circulación alejándolo del producto. Según Durán, en su libro “procesos industriales de frutas y hortalizas”, La deshidratación por aire caliente forzado se realiza en equipos en donde solo exista un flujo de aire de entrada, uno de salida y la puerta por

donde ingresará el producto el cual debe cerrarse herméticamente para que no exista un escape de calor. Para realizar este secado es necesario que la temperatura máxima que se usa sea de 60°C, si se inicia el secado con temperaturas muy altas, el agua de los tejidos de la superficie del producto se evapora demasiado rápido y dificulta la salida del agua de los tejidos internos y así resultan productos de baja calidad y no duraderos. Técnicamente las temperaturas muy altas y la humedad baja causan una caramelización de los azúcares de las frutas y decoloración de las mismas.

Según distintos autores de investigaciones similares a esta, mencionan que la temperatura más baja aceptable es de 40°C ya que depende del medio en que estemos y el tipo de equipo que utilicemos.

### **2.7.3.3. Deshidratación Congelada**

Este método de deshidratación se basa en el principio físico en el cual, bajo condiciones de vacío, el agua se evapora del hielo, sin necesidad que este se descongele o derrita. Este fenómeno es conocido como sublimación, que es el paso directo de estado sólido a gaseoso. El producto congelado se coloca en contacto directo con placas calientes, este cambio de hielo a gas va acompañado con la absorción de calor, por lo que permite que el producto en contacto con las placas siga en estado congelado. Para Durán, esta deshidratación se la realiza en armarios al vacío. En primera estancia las placas tienen una temperatura de 15°C y se sublima aproximadamente el 90% del hielo. Luego la temperatura se eleva a unos 40°C para terminar la sublimación del hielo restante. Este tipo de deshidratación toma de 5 a 10 horas hasta reducir el nivel de humedad al 1%. La característica física principal, de este método de deshidratación es que, el producto se mantiene rígido durante el proceso y su estructura se vuelve porosa y esponjosa, conservando el volumen inicial de la materia prima fresca. Este método es mayormente utilizado en productos de colores y sabores delicados, como las bayas de café, para la obtención de café instantáneo. (Durán, Procesos Industriales en frutas y Hortalizas).

#### **2.7.3.4. Deshidratación por Hornos Solares**

Este es un sistema de deshidratación en el que se invierte más tiempo y dinero para su elaboración, pero que posee ventajas a largo plazo, ya que se aprovecha la energía solar para su funcionamiento.

Los hornos solares están sujetos a variaciones térmicas del sol, resultando temperaturas y funcionamiento intermitentes, que sirven para producciones artesanales. (Barbosa).

#### **2.7.3.5. Deshidratación por Hornos Mecánicos a Combustión Interna Indirecta**

Este sistema posee un grado mayor de elaboración que el anterior, pero con mejores resultados, porque todos los parámetros pueden ser controlados, puesto que no se interrumpe bajo ningún concepto y el tiempo de secado será menor. Además el aire es filtrado al ingresar al horno, así que no hay partículas, ni polvo, insectos, no soporta tampoco la humedad de la noche y la manipulación del producto por parte del personal y es controlada bajo normas de seguridad alimentaria. Debido a que dispone de una amplia capacidad de carga en las bandejas de secado esto permite un mayor contacto entre el flujo de aire y la fruta, obteniendo un mejor rendimiento de secado. Hay que tener en cuenta que el aire es el que seca, la temperatura ayuda a romper la tensión superficial del agua contenida en el producto, esto facilita la deshidratación.

### **2.8. Evaluación sensorial**

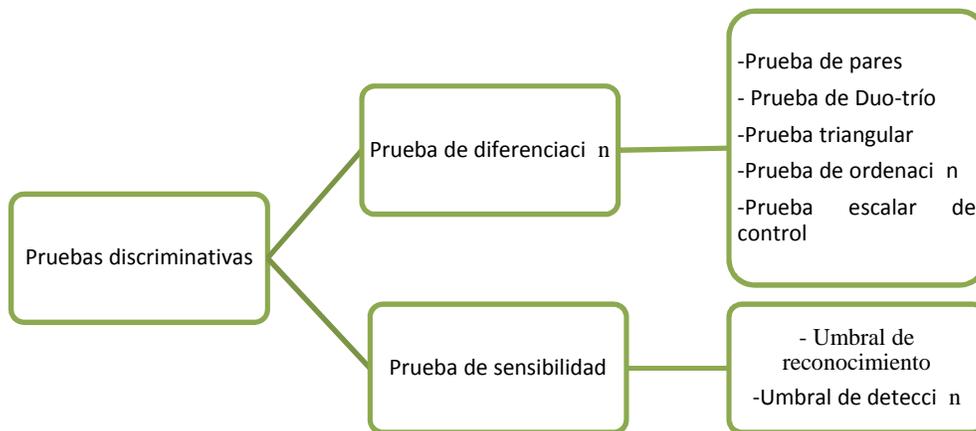
Lees (1984) indica que el análisis sensorial puede utilizarse en el control de calidad de los alimentos para resolver problemas de distinta índole; en cada caso concreto, la naturaleza de los mismos determina el tipo de prueba a realizar, las características del grupo de jueces y las condiciones de análisis.

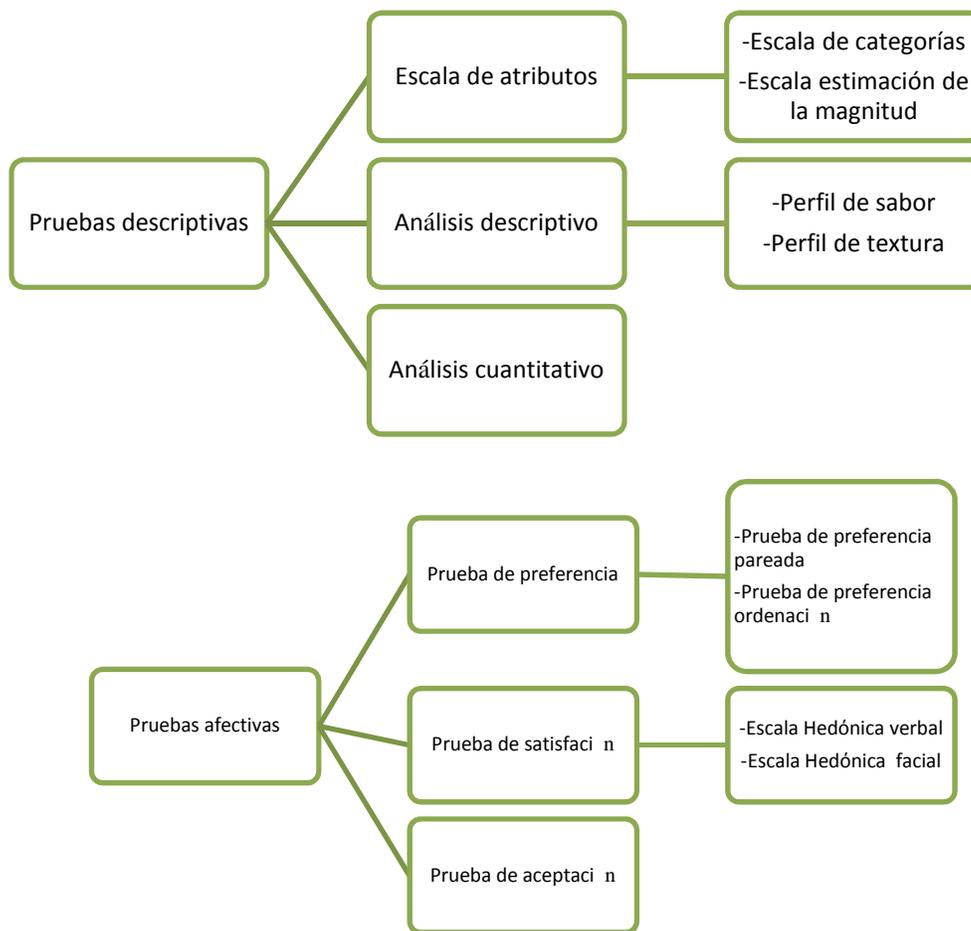
La evaluación sensorial es una técnica de medición y análisis tan importante como los métodos físicos, químicos y microbiológicos, etc. Este tipo de análisis tiene la ventaja de que lleva sus propios instrumentos de análisis, es decir sus cinco sentidos. Es un instrumento importante cuando se trata de evaluar la textura de productos con bajo

contenido de humedad y más aún cuando la crocantez es una característica indispensable para el alimento.

En este sentido, según Castañeda C. (2013), el análisis sensorial mide las respuestas de las personas hacia productos alimenticios. La industria de alimentos tiene como fin cumplir con los requerimientos de las personas, que son definidos por los gustos y preferencias del consumidor. La evaluación sensorial analiza y estudia cómo los productos, los gustos y las preferencias son percibidos por medio de los cinco sentidos. Para poder cuantificar las percepciones y medir las respuestas de los consumidores se utilizan las escalas que son fundamentales dentro del análisis sensorial. Una escala es un sistema que envuelve la asignación de valores numéricos y/o verbales a percepciones sensoriales. Se pueden evaluar las respuestas sensoriales de manera discriminativa, descriptiva y afectiva, tal como se puede observar a continuación:

**Figura 2-6 Evaluación de las respuestas sensoriales de manera discriminativa, descriptiva y afectiva**





Fuente: Castañeda C. 2013

Las más utilizadas en la industria de alimentos e investigaciones son las pruebas hedónicas afectivas que prueban o miden las respuestas de agrado y desagrado del consumidor. Existen tres tipos de escala afectiva: categóricas, de proporción y las categóricas de proporción. La operación básica de una escala categórica es catalogar respuestas limitadas enumeradas junto a opciones verbales. La escala categórica más utilizada en la evaluación de alimentos es la escala hedónica de nueve puntos que fue desarrollada por el U.S Army Food Container Institute en 1950. Los rangos de los números van desde uno a nueve, siendo uno “disgusta extremadamente”, cinco “ni me gusta ni me disgusta” y nueve “gusta extremadamente”. Esta escala fue rápidamente adaptada por la industria de alimentos e investigación por su simplicidad de uso. Es así entonces que el análisis sensorial a través de cada una de las pruebas

permite conceptualizar sobre un producto alimenticio para así poder llegar a tomar decisiones (Castañeda C. 2013).

La metodología que se emplea para realizar una prueba de evaluación sensorial a un producto alimenticio puede ser la siguiente(Castañeda C. 2013).:

1. Qué se quiere saber acerca del producto?
2. Diseño experimental o plan a seguir
3. Prueba o pruebas a utilizar
4. Número de panelistas
5. Presentación del panel
6. Método estadístico a utilizar para el tratamiento de los datos
7. Presentación del informe

## **2.9. Metodología del estudio de investigación**

### **2.9.1. Descripción de la metodología del estudio de investigación**

La metodología a emplear en este proyecto es una metodología experimental para realizar una investigación aplicada, la información se obtendrá de fuentes primarias, secundarias y terciarias.

Por lo tanto para elaborar este producto se requiere la compra de: manzana, carbonato y citrato de calcio, glucosa y empaques de plástico para colocar el producto, además de solicitar el préstamo de servicio de los laboratorios calificados para realizar los análisis correspondientes.

- **Cualitativa- cuantitativa:**

Se utiliza metodología Cualitativa en la búsqueda de estrategia para tratar de conocer los hechos, procesos, estructuras y el empleo de procedimientos que dan un carácter único de nuestras observaciones. Esta metodología permitirá examinar los datos de manera numérica en el caso de las encuestas de aceptabilidad de la barra alimenticia energética.

- **Metodología documental:**

Se investigó acerca del tema en diversos documentos tales como tesis, revistas científicas, sitios web, videos, los cuales aportaron importante información en proyectos similares con el fin de conocer criterios de diferentes autores sobre referentes al tema, toda esta información enriquece el tema de investigación y sirven como soporte científico para la presente investigación.

- **Tipo de estudio**

La presente investigación es descriptiva y experimental (Piura, 2008), la cual tiene como propósito fundamental establecer relaciones entre dos o más variables, se desarrolla con el tipo de diseño experimental cuantitativo, permitiendo la manipulación y control de las condiciones operacionales en el proceso de hidrólisis ácida diluida y fermentación separada para la obtención de un producto funcional a base de manzana deshidratada, asimismo este estudio pertenece al área tecnológica procesos industriales y a la línea de investigación energías renovables.

### **2.10. Selección del proceso experimental para la obtención del producto**

Considerando los diferentes procesos y métodos que se utilizan para obtener manzana deshidratada fortificada con calcio, se analizarán los primeros tres, descritos anteriormente, los cuales son: Secado Natural, Deshidratación por aire caliente y Deshidratación congelada, para posteriormente seleccionar el proceso más óptimo mediante una matriz de decisión, en la cual se tomara en cuenta una valoración del uno al diez siendo el número diez el valor más alto.

En la siguiente tabla se observa la escala de puntuación que recibirá cada proceso, siendo esta de mala a excelente, y de puntuación la cual definirá cuál de ellas tiene es la más óptima.

**Tabla II- 5 Escala de calificación por puntuación del 1 al 5**

<b>ESCALA DE PUNTUACION</b>	<b>PUNTUACION</b>
Me gusta mucho	1
Me gusta poco	2
No me gusta ni me disgusta	3
Me disgusta poco	4
Me disgusta mucho	5

Fuente: Elaboración propia, 2018

**Tabla III-6 Selección del proceso experimental para la obtención de manzana deshidratada fortificada con calcio**

<b>Factor Evaluado</b>	<b>Comentarios del evaluador</b>					
	<b>Secado Natural</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Deshidratación por aire caliente</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Deshidratación congelada</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Disponibilidad de Información</b>	Este proceso se encuentra descrito en la fuente de información secundaria, cuenta con detalles y especificaciones necesarias para el momento de realizar dicho proceso.	5	Se cuenta con información precisa, en la fuente secundaria, para poder utilizar este método como ser, temperatura máxima de secado, humedad y funcionamiento del equipo.	7	En los últimos años se fue optando por utilizar esta tecnología ya que es un método que preserva los elementos biológicos de las frutas, se encuentra bastante información acerca de este método.	7

<b>Condiciones de operación</b>	Este proceso está sujeto a condiciones climáticas por lo tanto no se puede tener un control preciso de los parámetros necesarios en la deshidratación, sin embargo el tiempo aproximado es de 48 horas a una temperatura aproximada de 25°C a 30°C.	3	En este método de deshidratación la temperatura máxima hasta la cual puede estar sometida la fruta en cuestión, es de 70°C, cuenta con un diámetro de 3cm y un espesor que puede estar entre 0,6 a 0,8cm.	7	Para realizar una buena deshidratación, la fruta se debe congelar a -20 y -40°C para posteriormente ser sometida a una reducción de presión en el interior de la cámara mediante una bomba de vacío, y aplicar calor (calor de sublimación, alrededor de 550 Kcal/ Kg en el caso de agua) sin subir la temperatura.	7
<b>Costo</b>	Para la ejecución de este tipo de proceso no demanda un alto costo de operación ya que se aprovecha la energía solar.	7	Su costo de operación es rápido y no es muy elevado ya que la fuente de energía que se utiliza es variada, ella se encarga de impulsar el aire caliente a través del secador por medio de ventiladores.	10	La tecnología que se usa para realizar este método es relativamente cara ya que cuenta con una gran cantidad de piezas móviles de precisión, que están involucradas en la producción del vacío, que deben trabajar a muy bajas temperaturas.	5

<b>Consumo de energía</b>	En este proceso se utiliza energía solar por lo que el consumo de energía eléctrica es prácticamente cero.	7	Para llevar a cabo este método se utilizara un equipo que cuenta con un ventilador de aire caliente el cual es impulsado por energía eléctrica por lo tanto si se requerirá dicha energía.	7	Este método es considerado uno de los más costosos de usar, en cuestión a la deshidratación, por las partes móviles que tiene, por lo tanto el consumo de energía es muy elevado.	3
<b>Complejidad</b>	El proceso consiste en distribuir la fruta, previamente tratada, en una bandeja de acero inoxidable la cual es expuesta al sol para realizar la deshidratación de la fruta.	5	En este método se debe tratar la fruta con agentes que ayudan a mantener el color y sabor de la fruta para posteriormente llevarla al equipo de deshidratación por aire caliente el cual es impulsado por un ventilador, esta fruta fresca se distribuirá en rejillas metálicas con una amplia superficie de contacto.	5	Consta de cuatro etapas: preparación, congelación, desecación primaria y desecación secundaria; se debe preparar la fruta realizando pequeños agujeros en la piel para aumentar su permeabilidad, se los congela a -20 y -40°C, luego se deseca por sublimación del solvente congelado y por último se realiza una desecación secundaria por medio de desorción	5

<b>Calidad del producto</b>	La calidad del producto es irregular ya que al realizarse al aire libre puede estar expuesto a una infinidad de insectos, polvo y otros factores que pueden deteriorar nuestros alimentos por lo tanto pueden causar daño al consumirlo.	5	El producto final de este método muy aceptable ya que la fruta alcanza periodos de conservación de hasta un año y no sufre muchos cambios en cuestión a su olor y sabor, inclusive en el color, es fácil de trasportar y controlar.	7	Tiene una excelente calidad ya que existe un movimiento mínimo de solutos, los cambios estructurales son inapreciables, el olor, color y sabor son intensificados y los nutrientes son retenidos en gran porcentaje.	10
<b>Disponibilidad del equipo</b>	Por las condiciones que se requiere para realizar este tipo de proceso se puede decir que se tiene lo necesario para ejecutarlo por lo tanto se puede realizar sin dificultad.	10	El equipo se encuentra disponible en el Laboratorio de Operaciones unitarias.	10	Por el costo que implica tener uno de estos equipos en la Universidad no se cuenta con uno a disposición.	3

Fuente: Elaboración Propia (2018)

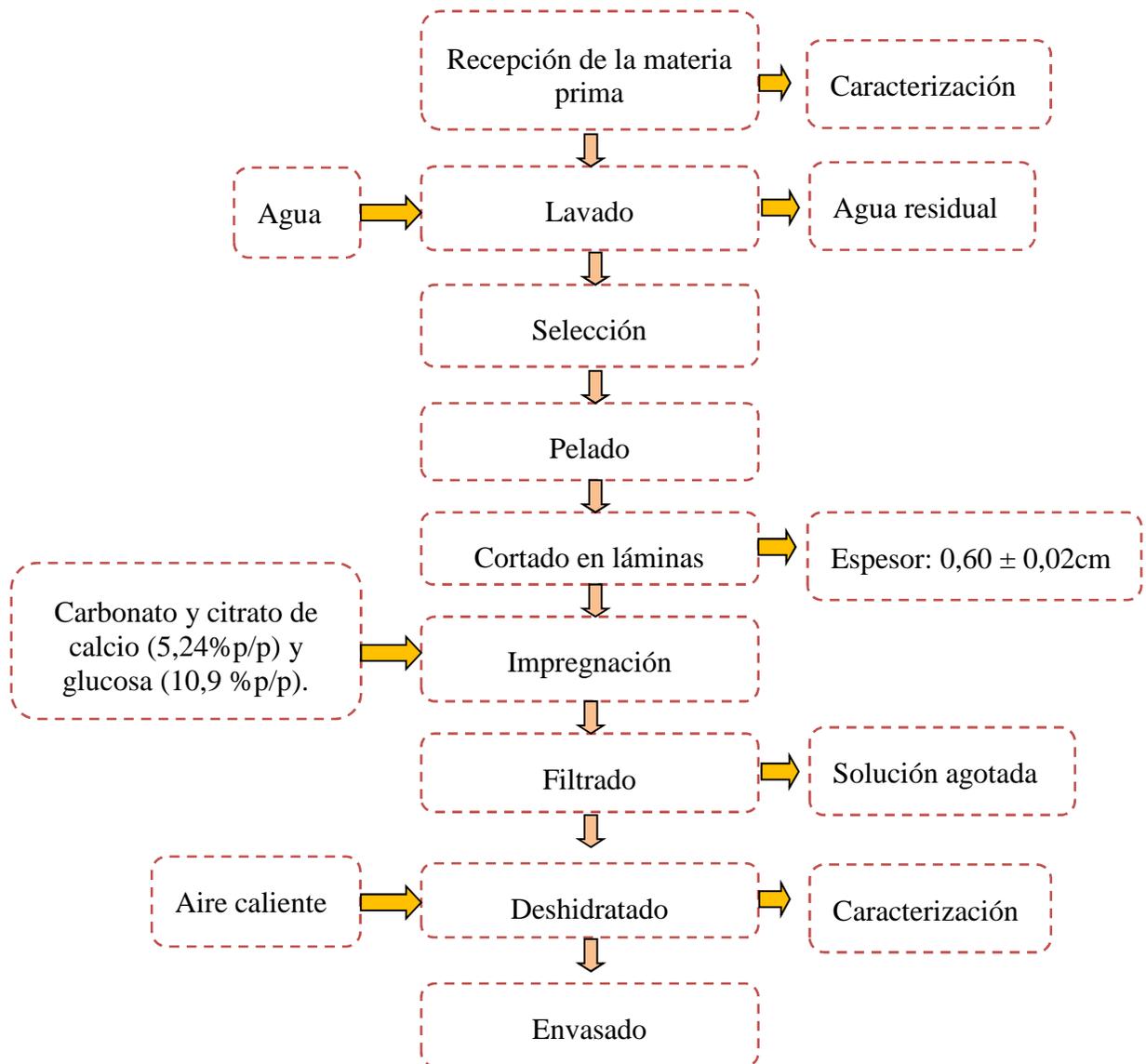
En la tabla II-6 se muestra el resumen de criterios de los procesos de obtención de manzana deshidratada fortificada con calcio, la cual se traduce en la siguiente matriz:

Tabla II-7 Selección del proceso optimo

Parámetros	Selección del proceso para la obtención de manzana deshidratada fortificada con calcio						
	Valoración Porcentual %	Secado Natural		Deshidratación por aire caliente		Deshidratación por congelación	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Disponibilidad de información	10	5	5	7	7	7	7
Condiciones de operación	20	3	6	7	14	7	14
Costo	18	7	12,6	10	1,8	5	9
Consumo de energía	10	7	7	7	7	3	3
Complejidad	10	5	5	5	5	5	5
Calidad del producto	20	5	10	7	14	10	2
Disponibilidad de equipos	12	10	1,2	10	1,2	3	3,6
<b>TOTAL</b>	100	46,6		<b>50</b>		43,6	

Analizando los resultados obtenidos se llegó a la conclusión que el método que se utilizara para obtener este producto (manzana deshidratada fortificada con calcio) será: Deshidratación por aire caliente, ya que este obtuvo el mayor puntaje.

### 2.11. Diseño del Proceso Tecnológico



Fuente: Elaboración propia (2018).

**Recepción de la materia prima, lavado, selección y cortado en láminas.-** Este primer punto es primordial en la investigación ya que influye directamente en el resultado del producto final por lo tanto la materia prima debe ser cuidadosamente seleccionada según la calidad de la misma, para posteriormente ser lavada y cortada en láminas de un espesor de 0,6mm con la ayuda de un cortador manual.

**Impregnación.-** La solución a preparar para llevar a cabo la impregnación se realizó de la siguiente manera: Se utilizó una mezcla de carbonato, otra de citrato de calcio (5,24% p/p ) y una solución de glucosa de (10,9% p/p), todo ello para conseguir una solución isotónica respecto al contenido de sólidos solubles nativos de la fruta, con el fin de minimizar la presencia de mecanismos de transferencia de masa debido a los azúcares presentes, y así, evitar la deshidratación del tejido y la pérdida de azúcares nativos durante el proceso.

Cabe resaltar que para obtener mejores resultados este proceso se debe llevar a cabo en un recipiente con agitación forzada a temperatura ambiente y presión atmosférica por cuatro horas y media.

**Filtrado.-** Impregnadas las muestras, las mismas pasan a otro recipiente en donde reposa alrededor de 10 segundos para eliminar el exceso de solución.

**Deshidratación.-** De la etapa anterior, se procede a distribuir las láminas impregnadas en rejillas de acero inoxidable para posteriormente ser introducidas en el deshidratador por aire caliente, mismo que será impulsado por un termo ventilador que funciona con energía eléctrica; el tiempo de secado depende de la temperatura de trabajo, en este caso se utilizó una temperatura constante de 60°C por lo cual se deben mantener las láminas en el deshidratador hasta que no se observen cambios considerables de masa ( $\pm 0,0001$ g).

**Envasado.-** El envase de la manzana deshidratada fortificada con calcio es importante puesto que depende de ello la conservación de la misma por lo tanto se debe utilizar bolsas de polietileno las cuales puedan ser selladas herméticamente.

**CAPITULO III**  
**PARTE EXPERIMENTAL**

### 3.1. Caracterización de la materia prima

La manzana Granny Smith además de ser una de las variedades más producidas a nivel mundial, es una de las variedades que más importa Bolivia desde Argentina y Chile, esta variedad de manzana se caracteriza por ser de color verde claro en el exterior y blanco en el interior, por tener un tamaño de grande a mediano y tener un sabor ligeramente ácido, además de poseer cualidades alimentarias como ser: reducir el nivel de colesterol, ayudar a nuestro cuerpo a eliminar metales nocivos tales como el plomo y el mercurio, y ser un auténtico tónico para el corazón y la circulación.

**Figura 3.1** Recolección de Manzanas Granny Smith en el Alto Valle



Fuente: CAFI (Cámara Argentina de Fruticultores Integrados), 2015

En la siguiente tabla se puede observar el volumen de producción de diferentes variedades de manzana por variedad en diferentes países del mundo.

**Tabla III-1 Producción de manzanas por variedad 2015 (x1000 Ton)**

VARIEDAD	EEUU	EUROPA	CHILE	BRASIL	NUEVA ZELANDA	SUDAFRICA	ARGENTINA	CHINA
Braeburn	79	321	58		111	24		
Cripps Pink	83	249	167		26	79		
Empire	131							
Fuji	466	321	199	451	43	64		28646
Gala	738	1328	698	610	141	127	151	4910
Golden Delicious	554	2677				151		2864
Granny Smith	463	383	227			199	151	
Honeycrisp	108							
Red Delicious	1246	675	244			64	658	3683
Resto	669	3362	74	104	157	87	50	818

Fuente: Importación de Manzanas y su incidencia en la producción nacional, 2016.

### 3.1.1. Características físicas de la materia prima

Las manzanas Granny Smith que se utilizaron para este trabajo fueron de tamaño mediano, cuentan con una textura firme por lo cual se puede decir que su grado de maduración es el adecuado, a continuación se puede observar diferentes propiedades física de la materia prima:

- Peso Bruto (g)
- Peso Neto (g)
- Altura (cm)
- Espesor de la pulpa (cm)

**Tabla III-2 Características físicas de la materia prima**

Muestra	Peso Bruto (g)	Peso Neto (g)	Altura (cm)	Espesor de la pulpa (cm)
1	181,92	127,72	7,6	2,6
2	175,30	121,10	6,3	2,2
3	181,74	127,54	7,3	2,5
4	170,09	115,89	5,9	1,9
5	176,96	122,76	6,4	2,1
6	178,48	124,28	7,3	2,1
7	162,66	108,46	5,7	1,8
8	180,63	126,43	7,5	2,3
9	172,25	118,05	6,8	1,9
10	175,75	121,55	7,2	2,5

Fuente: Elaboración Propia, (2020).

En la tabla III-2 se muestran datos de valores experimentales medidos en 10 muestras significativas de manzana Granny Smith, el peso bruto se refiere al peso total de la manzana, es decir a la suma de: la pulpa, la cascara y las semillas de la manzana, y el peso neto se refiere únicamente a la pulpa de la fruta.

Todas las mediciones fueron realizadas con la ayuda de una balanza y un Vernier, instrumento de medida longitudinal.

### **3.1.2. Propiedades Físicoquímicas**

Para determinar las propiedades fisicoquímicas se analizó una muestra representativa de la materia prima en el laboratorio de Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”, dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael

Saracho”. Los análisis realizados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla III-3 Propiedades Fisicoquímicas de la Manzana Granny Smith**

Parámetro	Técnica y/o Método de ensayo	Unidad	Resultados
Azúcares totales	NB 38033:06	%	6,56
Ceniza	NB 39034:10	%	0,11
Fibra	Gravimétrico	%	0,71
Grasa	NB 313019:06	%	0,14
Hidratos de Carbono	Calculo	%	12,94
Humedad	NB 313010:05	%	85,61
Proteína Total	NB/ISO 8968-1:08	%	0,49
Valor energético	Calculo	Kcal/100g	54,98
Calcio	Absorción Atómica	g/100g	3,2

Fuente: CEANID, 2020.

En la tabla III-3 se puede observar los resultados que se emitieron por parte del centro de análisis e investigación y desarrollo (CEANID) de ocho parámetros los cuales son discutidos en puntos posteriores.

### **3.2. Diseño experimental**

El actual trabajo de la investigación: “Elaboración de un producto funcional en base a manzana (*Granny Smith*) deshidratada fortificada con calcio” se realizó en los predios del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la carrera de Ingeniería Química dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, la misma plantea una fase experimental en dos bloques de estudio: impregnación de calcio a presión atmosférica y deshidratado mediante aire caliente.

#### **3.2.1. Impregnación de Calcio a presión atmosférica**

En su primera fase, el trabajo de investigación aplica un diseño factorial que permite evaluar cuál es el diseño que va a favorecer a la obtención de nuestro producto final, tanto en la ganancia de calcio como también en las propiedades organolépticas del

alimento y para ello se seleccionaron las siguientes variables:

### ***Tiempo***

Es una de las variables más representativas a estudiar en este proceso ya que se observara cual es el tiempo que registró una mayor cantidad de calcio impregnado en nuestra muestra; estos tiempos son: 4h y 6h.

### ***Temperatura***

Esta variable es importante debido a que se analizara la forma en que ella afecta en la cantidad de sólidos impregnados en nuestra materia prima y también si existe alguna variación en algunas propiedades fisicoquímicas como ser proteína.

Cabe resaltar que la concentración no se tomó en cuenta como variable en este proceso ya que como se mencionó en el capítulo anterior, según diferentes autores se alcanza una mayor cantidad de sólidos impregnados cuando se trabaja con una solución isotónica a una concentración constante.

La agitación y la relación masa/solución no se tomaron en cuenta como variables de operación si no como variables complementarias ya que permanecerán constantes y no serán objeto de estudio en este trabajo.

### **3.2.1.1. Diseño Factorial**

Las variables del diseño experimental para la investigación son:

#### **Variable Independiente**

- Tiempo de impregnación
- Temperatura de impregnación

#### **Variable Dependiente**

- Composición de la manzana deshidratada fortificada con calcio

#### **Diseño Factorial**

El diseño factorial es una técnica estadística, que tiene como objetivo definir una serie de pruebas en las cuales existen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de tal manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios que se producen en la respuesta de salida, de tal modo que el investigador obtenga estimaciones con la mayor precisión posible.

Para determinar el número de experimentos que se realizarán en el presente proyecto se analizarán dos variables: Una corresponde al tiempo de impregnación la cual cuenta con dos niveles un Máximo y un mínimo (4h y 2h) y la otra llegaría a ser la temperatura de impregnación la misma que cuenta dos niveles un Máximo y un mínimo (40°C y 25°C). Cabe resaltar que dicho diseño factorial será aplicado tanto para la fortificación de la manzana con citrato de calcio como también para el carbonato de calcio.

**Tabla III-4 Determinación del número de experimentos**

Variable (K)	Niveles (n)
Tiempo de impregnación	- Máximo (+1) -Mínimo (+1)
Temperatura de impregnación	- Máximo (+1) -Mínimo (-1)

Fuente: Elaboración Propia (2019)

Los niveles del tiempo y la temperatura de impregnación fueron adquiridos de fuentes secundarias confiables ya que según ellas, esas son las variables más influyentes dentro del proceso de impregnación, según estas fuentes bibliográficas los valores mínimos de impregnación se obtienen a las 2h y un valor máximo se obtiene a las 4h, se realizó también un estudio a las 6h de impregnación sin embargo no hubo un cambio considerable en los valores, la temperatura también tiene un papel importante ya que al aumentar la temperatura permite una mayor impregnación de calcio, en base a lo descrito anteriormente se procedió a realizar el siguiente diseño factorial:

$$\text{Número de experimentos} = n^k \times 2$$

$$\text{Número de experimentos} = 2^1 \times 2^1 = 4 = 8 \text{ experimentos}$$

La siguiente tabla representa la matriz de diseño:

**Tabla III-5 Matriz de diseño para el Carbonato de Calcio**

Numero de ensayos	Factores		Respuesta
	Tiempo (t)	Temperatura (T)	
1	-1	-1	M1
2	+1	-1	M2
3	-1	+1	M3
4	+1	+1	M4

Fuente: Elaboración Propia (2019)

**Tabla IV Matriz de diseño para el Citrato de Calcio**

Numero de ensayos	Factores		Respuesta
	Tiempo (t)	Temperatura (T)	
1	-1	0	M5
2	+1	0	M6
3	-1	1	M7
4	+1	1	M8

Fuente: Elaboración Propia (2019)

En la Tabla III-6 se puede observar el número de ensayos que se realizaron con sus respectivos tiempos y temperaturas de trabajo para posteriormente realizar el análisis y obtener el resultado final de cada una de ellas.

### **3.2.2. Deshidratación mediante aire caliente**

La matriz de decisión es una herramienta estratégica para tal fin, que nos permite seleccionar de manera ponderada la alternativa que obtiene mayor valor entre las opciones presentadas. Según la matriz de decisión que se encuentra en el capítulo dos, en la cual se evaluaron diferentes alternativas de trabajo para seleccionar el método más adecuado.

Analizando los resultados obtenidos en la Tabla II-7 “Selección del proceso óptimo”

se llegó a la conclusión que el método que se utilizara para obtener este producto (manzana deshidratada fortificada con calcio) será: Deshidratación por aire caliente, ya que este obtuvo la mayor calificación.

La temperatura de operación con la cual se va a trabajar es 60°C ya que la misma se encuentra dentro de los estándares permitidos que certifican que las propiedades nutricionales y organolépticas sensibles al calor, sufrirán un menor daño, dicha temperatura fue regulada mediante un termómetro de 100 °C.

En cuestión al tamaño de partícula, se tomó en cuenta que a mayor área de contacto, habrá mayor velocidad de secado por lo cual se determinó trabajar con un espesor de 0,6 a 0,8 cm y con un diámetro de aproximadamente 3cm, este tamaño de partícula nos garantiza una fácil manipulación tanto para el proceso de impregnación como para el proceso de deshidratación.

### **3.3. Equipos, Materiales e Insumos**

El equipamiento, materiales y reactivos más relevantes que se utilizara en este proyecto son los siguientes.

#### **3.3.1. Equipos**

- Balanza Eléctrica.- equipo de capacidad de 120gr en el cual se pueden pesar la muestra inicial, reactivos e insumos.
- Agitador magnético.- este equipo cuenta con un regulador de la agitación y también con un calentador que permite elevar la temperatura de nuestra solución.
- Refractómetro ABBE.- aparato que nos permite medir los °Brix, es decir la cantidad de sólidos disueltos en nuestra solución.
- Secador Infrarrojo.- este equipo nos ayuda a medir la humedad que tiene nuestra muestra.
- Secador por tiro forzado.- equipo que permite el paso de aire caliente hacia la muestra para eliminar el agua de la misma y así ralentizar y/o evitar el desarrollo de microorganismos en nuestro producto.

- Selladora de bolsas de polietileno.- aparato que sirve para sellar térmicamente las bolsas de plástico que contengan nuestro producto.

### **3.3.2. Materiales**

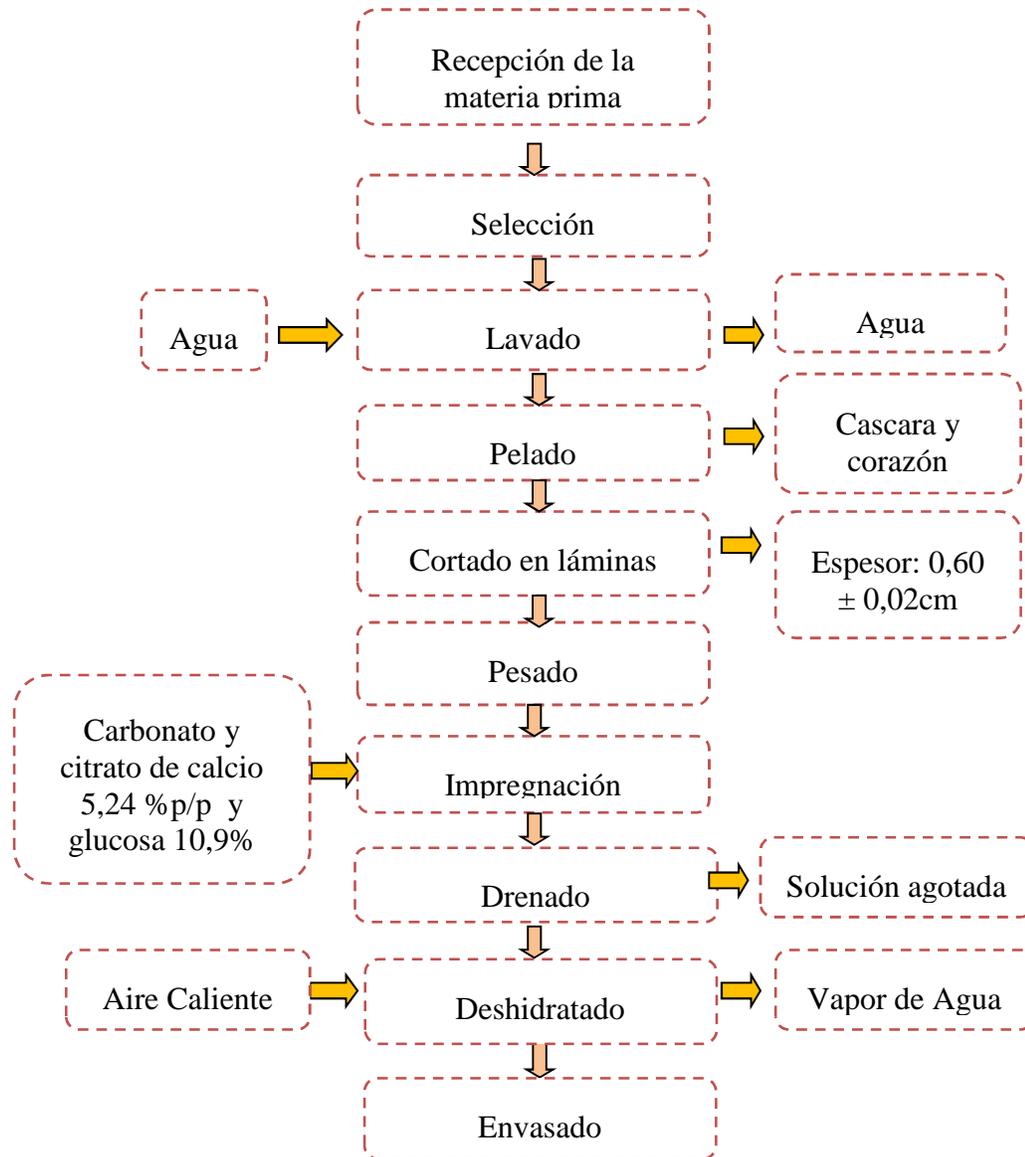
- Cortador manual regulable
- Barra de agitación magnética
- Vaso Precipitado de 600ml, 1L y 2L.
- Papel aluminio
- Termómetro
- Espátula
- Bolsas Plásticas
- Guantes de Látex
- Pinzas para manipular el alimento
- Jarra y Recipientes de plástico
- Anemómetro
- Vernier
- Cronometro
- Colador (Filtro de plástico)
- Varilla

### **3.3.3. Insumos**

- Carbonato de Calcio
- Citrato de Calcio
- Glucosa
- Agua Destilada
- Manzana

### 3.4. Diagrama del Proceso Tecnológico

Figura 3-2 Diagrama de bloques para la obtención de un alimento funcional



Fuente: Elaboración Propia, 2020.

### 3.5. Descripción del proceso productivo

#### 3.5.1. Recepción de materia prima

Como primer punto tenemos la recepción de materia prima y para ello se hizo la adquisición de la manzana variedad Granny Smith misma que se consiguió del

mercado campesino que se encuentra en la ciudad de Tarija.

La cantidad aproximada que se adquirió fue de siete docenas aproximadamente.

**Figura 3-2 Manzana Verde (Granny Smith)**



Fuente: Elaboración Propia, 2020.

### **3.5.2. Selección**

La selección de la manzana, es un proceso de separación de las frutas entre las que están en un buen estado y las que no, se descartan las manzanas que presenten las siguientes características:

**Daño microbiológico.-** Esto se debe a un desarrollo microbiano en la fruta debido a un golpe que la misma haya recibido que haya provocado una ruptura de la piel permitiendo así que los microorganismos se desarrollen con mayor facilidad por lo cual inmediatamente se debe separar de la fruta sana para evitar que los microorganismos presentes se desarrollen en ellas.

**Daño mecánico.-** Se considera dicho daño mecánico cuando la fruta recibió algunos golpes ya sea en el momento del transporte o la mala manipulación de la misma.

**Figura 3-3 Limpieza de la Manzana**



Fuente: Elaboración Propia, (2020).

### 3.5.3. Lavado

Una vez la materia prima es adquirida y seleccionada, se procede con la limpieza de la misma, la cual consta de sumergir la fruta en un recipiente que contenga 3 gotas de hipoclorito de sodio por cada litro de agua, se hace esto para eliminar cualquier microorganismo que este en nuestra fruta y también para eliminar impurezas como polvo, etc.

**Figura 3-4 Selección de la manzana verde**



Fuente: Elaboración Propia, (2020).

### 3.5.4. Pelado

Una vez seleccionada la materia prima que está en buenas condiciones, se procede a retirar la cascara y el corazón, parte en la cual se encuentra la semilla, con la ayuda de un cuchillo y un descorazonador de manzanas.

**Figura 3-5 Eliminación de la piel de la manzana**



Fuente: Elaboración Propia, (2020).

### 3.5.5. Cortado en Laminas

En este punto se utilizó un cortador tipo cuchilla de paso regulable con la finalidad de obtener rodajas uniformes de  $0,60 \text{ cm} \pm 0,02\text{cm}$  y así obtener un producto de mejor calidad.

**Figura 3-6 Rodajas de manzana**



Fuente: Elaboración Propia, (2020).

### 3.5.6. Pesado

El pesado de las rodajas de manzana se la realizo en la balanza electrónica, debido a la importancia que presenta en los cálculos del proceso tecnológico, para esta investigación se utilizó una relación de 4:1 es decir 20g de pulpa por 100g de solución, esto para garantizar el paso de calcio de la solución hacia la fruta.

**Figura 3-7 Pesado de la materia prima para el proceso**



Fuente: Elaboración Propia, (2020).

### 3.5.7. Impregnación

#### Preparación de la solución:

El medio de impregnación se preparó teniendo en cuenta una base de 100gr de solución en relación %p/p, para ello se utilizó una sal de calcio, glucosa y agua destilada, también se requirió un vaso precipitado y una balanza electrónica, posteriormente se realizó el pesado de los sólidos que llegaría a ser 5,24 %p/p de carbonato de calcio y 10,9 %p/p de glucosa; el cálculo de estas concentraciones se las realizó mediante el empleo de la ecuación de Norrish ya que se trata de un alimento constituido por agua y solutos iónicos, esta ecuación determina la actividad de agua relacionando las fracciones molares con la constante de Norrish; luego se los añadió al vaso precipitado previamente tarado, una vez hecho esto se agrega el agua destilada necesaria hasta completar la solución, es decir a 100 %p/p. Cabe resaltar que este procedimiento se realizó también para la sal de citrato de calcio.

La solución que se utilizó en esta investigación es isotónica respecto al contenido de sólidos solubles nativos de la fruta, con el fin de minimizar la presencia de mecanismos de transferencia de masa debido a los azúcares presentes, y así, evitar la deshidratación del tejido y la pérdida de azúcares nativos durante el proceso.

**Figura 3-8 Solución isotónica de sal de calcio y glucosa**



Fuente: Elaboración Propia, (2020).

### Impregnación de calcio en las rodajas de manzanas:

Una vez preparada la solución, se agrega la cantidad de rodajas de manzana que ya se calculó previamente y se coloca nuestra preparación en un equipo llamado agitador magnético la cual trabajo a 51rpm para evitar la sedimentación de los sólidos.

Cabe resaltar que en este punto del proceso se llevó a cabo la medición de las variables de acuerdo al diseño factorial: Tiempo de impregnación y Temperatura de impregnación.

**Figura 3-9 Impregnación de calcio en la manzana a presión atmosférica**



Fuente: Elaboración Propia, (2020).

### **3.5.8. Filtrado**

Pasado el tiempo de impregnación, las rodajas de manzana pasan a un colador para que se escurra el exceso de agua.

### **3.5.9. Deshidratado**

Una vez que ya se tienen las rodajas, se procede a distribuir cada una de ellas en rejillas de acero inoxidable para posteriormente introducirlas en el deshidratador de tiro forzado para eliminar el agua presente en nuestra muestra mediante aire caliente que es impulsado por un ventilador que funciona con energía eléctrica y así inhibir el crecimiento microbiano, proporcionar estabilidad al producto y aumentar su vida útil. Las rodajas se mantuvieron en el deshidratador por 6 horas a una temperatura de 60°C ya que pasado este tiempo no se observen cambios considerables de masa ( $\pm 0,0001g$ ).

**Figura 3-10 Deshidratación de la manzana**



Fuente: Elaboración Propia, (2020).

### 3.5.10. Envasado

El envasado se realizara en bolsas plásticas de polietileno que fueron sellados térmicamente para evitar el ingreso de aire del ambiente ya que este puede disminuir la vida útil de nuestro producto.

Manzana deshidratada fortificada con carbonato de calcio:

**Figura 3-11 Producto final con Carbonato de Calcio**





Fuente: Elaboración Propia, (2020).

Manzana deshidratada fortificada con citrato de calcio:

**Figura 3-12 Producto final con Citrato de Calcio**





Fuente: Elaboración Propia, (2020).

### 3.6. Evaluación sensorial del producto obtenido

Para evaluar la calidad de nuestro producto se realizaron pruebas organolépticas en las cuales participaron diferentes jueces que evaluaron cuatro parámetros principales como ser: olor, color, textura y sabor, dicha evaluación se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de ingeniería química en presencia de los tribunales del proyecto.

Cabe resaltar que cada uno de los experimentos fue sometido a pruebas de análisis sensorial (ver anexo B) en el cual existe un valor de calificación que es conocido como escala hedónica, dicha escala tiene 5 puntos de valorización los cuales se distribuyen de la siguiente manera:

**Tabla III-7 Escala de calificación de las propiedades organolépticas**

<b>Escala</b>	<b>Valor</b>	<b>Puntuación</b>
Me gusta mucho	1	100
Me gusta poco	2	75
No me gusta ni me disgusta	3	50
Me disgusta poco	4	25
Me disgusta mucho	5	0

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Una vez este definida nuestra escala se añade una puntuación de 0 a 100 a los atributos que los 20 jueces van a calificar a cada muestra, para realizar una mejor interpretación estadística.

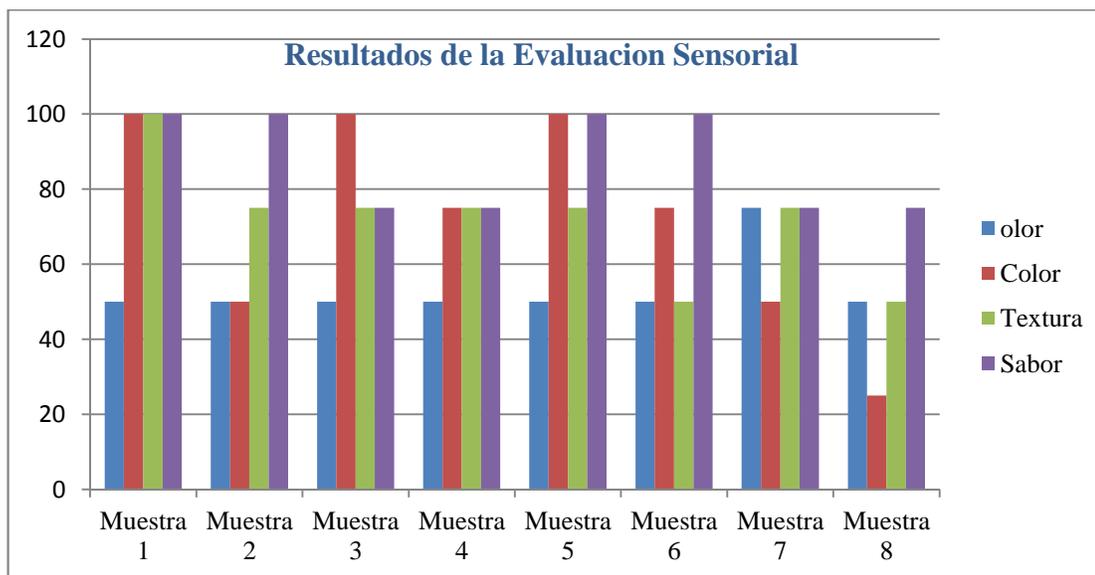
**Tabla III-8 Valor porcentual de los atributos evaluados**

<b>Atributo</b>	<b>Valoración porcentual %</b>
Olor	20
Color	30
Textura	10
Sabor	40

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la tabla III-8 se observan cuatro atributos con su respectiva valoración porcentual dando un total del 100%, todo con ello con el objetivo de obtener una gráfica representativa.

**Figura 3-13 Resultados de las pruebas organolépticas**



Fuente: Elaboración Propia, (2020).

En la figura 3-11 se puede observar que la muestra que obtuvo una mayor puntuación, según la calificación que fue dada por parte del jurado calificador, es la muestra número uno con un grado de aceptación del 65%, en dicha muestra se utilizó la sal del carbonato de calcio, seguidamente la muestra que obtuvo mayor puntuación en relación a la sal de citrato de calcio, es la muestra número cinco.

**Figura 3-14 Manzana deshidratada fortificada con carbonato de calcio**



***MUESTRA 1***

Fuente: Elaboración propia, 2020.

**Figura 3-15 Manzana deshidratada fortificada con citrato de calcio**



***MUESTRA 5***

Fuente: Elaboración propia, 2020.

**CAPITULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSION**

#### 4.1. Análisis de la Materia Prima

Los estudios que se realizaron para conocer los parámetros fisicoquímicos y nutricionales de la manzana Granny Smith y los que fueron obtenidos de fuentes bibliográficas se observa en la siguiente tabla:

**Tabla IV- 1 Características fisicoquímicas de la Manzana Granny Smith**

<b>Manzana Granny Smith</b>		
<b>Parámetros (%p/p)</b>	<b>Datos bibliográficos</b>	<b>Resultado de análisis en laboratorio</b>
Azúcares totales	9,59	6,56
Calcio	7mg/100g	3,2mg/100g
Cenizas	0,3	0,11
Fibra	2,7	0,71
Grasa	0,4	0,14
Hidratos de carbono	15	12,94
Humedad	84	85,61
Proteína	0,19	0,49
Valor energético	56 kcal/100g	54,98

Fuente: UBA (Universidad de Buenos Aires), 2011, CEANID, 2020.

Como se puede apreciar en la tabla IV-1 el porcentaje de calcio es menor en comparación a los datos que se brindan en las fuentes secundarias asimismo existe un cambio considerable en la cantidad de proteína y a la fibra contenida dentro de nuestra materia prima.

#### 4.2. Fase Experimental

Esta etapa de la investigación es el resultado del planteamiento investigativo basado en la información teórica disponible y estudios preliminares, los cuales contribuyeron a mejorar la calidad de nuestro producto final como ser color, sabor y textura mediante el incremento de la temperatura como también el grosor de las láminas de

manzana al momento de la impregnación para posteriormente ser llevado a la etapa de secado por aire caliente en la cual se busca reducir la humedad interna de la fruta para así inhibir la proliferación microbiológica de bacterias u otros agentes.

#### 4.2.1. Impregnación de Calcio

Como se mencionó en capítulos anteriores, la ecuación que más se acerca a la velocidad real de difusión del calcio hacia la manzana, es la siguiente:

$$\log \frac{q}{q_0} = a - 4,286 \frac{D}{(2l)^2} * \theta$$

Dónde:

$q_\theta$  = Cantidad de calcio por unidad de peso después de la impregnación

$q_0$  = Cantidad de calcio por unidad de peso antes de la impregnación.

$D$  = Constante de difusión a una temperatura dada.

$2l$  = Espesor de las láminas.

$\theta$  = Tiempo de impregnación.

##### 4.2.1.1. Coeficiente de difusión

El coeficiente de difusión es un valor que representa el área en el que el soluto se impregna en un segundo de impregnación, depende de factores como ser la temperatura, tiempo, concentración y también la membrana de nuestra materia prima.

Para determinar el coeficiente de difusión del Carbonato de calcio se utilizó un modelo matemático que deriva de la segunda ley de Fick juntamente con los valores descritos en la siguiente tabla:

**Tabla IV-2 Datos obtenidos para la determinación del coeficiente de difusión en la impregnación de calcio**

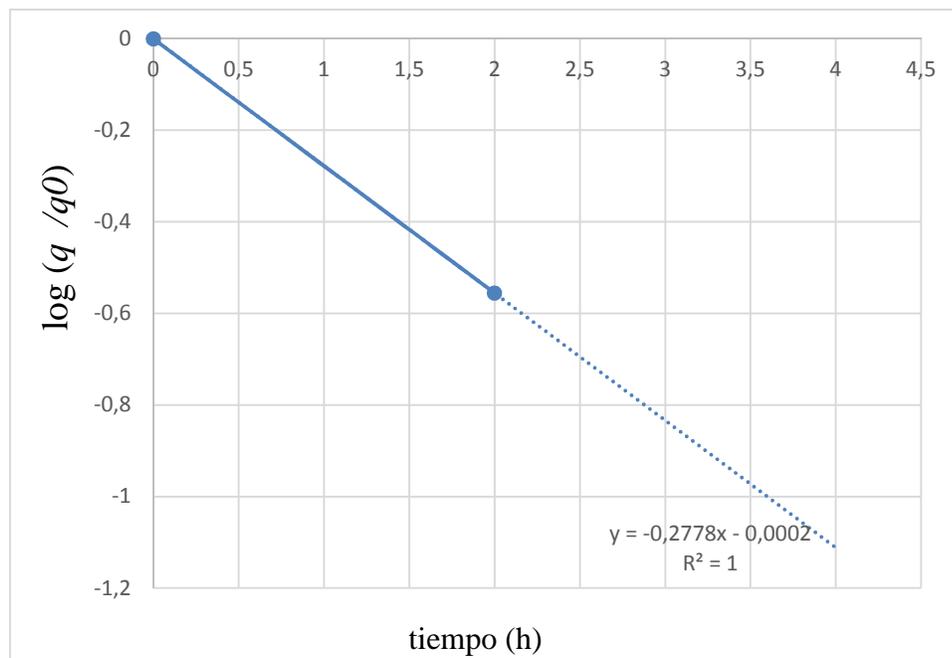
t (h)	Ca impregnado (g)	% Ca impregnado	Fracción de Ca impregnado	log(q /q0)
0	0,0032	0,053872054	0,999461279	-0,000234
2	4,288	72,1885219	0,278114478	-0,5557764
4	5,94	100	0	

Ver Anexo C

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Una vez teniendo los datos experimentales se elaboró el grafico 4-1 de tiempo vs  $\log(q /q_0)$ , que representa el calcio impregnado, para luego determinar la función de la curva.

**Figura 4-1 Tiempo vs  $\log(q /q_0)$  para el calcio**



Fuente: Elaboración Propia, 2020.

La función de esta grafica es la siguiente:

$$y = -0,2278x - 0,0002$$

Dónde:

$$\log \frac{q}{q_0} = a \qquad 4,286 \frac{D}{(2l)^2} * \theta$$

Reemplazando los datos y despejando, se obtiene el siguiente coeficiente de difusión de la impregnación de calcio.

$$\log \frac{q}{q_0} = -0,0002 - 4,286 \frac{D}{(2l)^2} * \theta$$

$$-4,286 \frac{D}{(2l)^2} * \theta = -0,2778$$

$$\frac{D}{(2l)^2} = \frac{0,2778}{4,286}$$

$$D = \frac{0,2778}{4,286} * (2 * 0,006m)^2$$

$$D = 9,33 \times 10^{-6} \frac{m^2}{h} * \frac{1}{3600s} = 2,59 \times 10^{-9} \frac{m^2}{s}$$

Finalmente se puede decir que cuando transcurre 1 segundo en el tiempo de impregnación se logra difundir  $2,59 \times 10^{-9} m^2$  de muestra.

#### 4.2.1.2. Ganancia de Calcio

Mediante el tiempo de impregnación transcurre, la manzana va adquiriendo mayor peso debido a que el calcio se va adhiriendo en los poros de la manzana.

En las tablas IV-3 y IV-4 se observan los resultados de la ganancia de calcio en nuestras muestras, sometidas a un proceso de difusión con las condiciones de trabajo establecidas, siendo “P<sub>i</sub>M” el peso inicial de la manzana fresca en gramos, “P<sub>f</sub>MI” el peso final de la manzana ya impregnada en gramos y “GCM” la ganancia de calcio en la manzana por diferencia de peso entre P<sub>f</sub>MI y P<sub>i</sub>M (g).

**Tabla IV-3 Ganancia de calcio en peso con la sal de Carbonato de Calcio**

Muestra (M)	Condiciones de trabajo		P <sub>i</sub> M (g)	P <sub>f</sub> MI (g)	GCM (g)
	t (h)	T (°C)			
1	2	25	200,23	233,36	33,13
2	4	25	247,76	285,51	37,75
3	2	40	347,09	379,90	32,81
4	4	40	248,47	282,87	34,4

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la tabla IV-3 se puede observar que no existe un cambio considerable en la cantidad de sólidos ganados con respecto a la variación de temperatura, en cambio con relación al tiempo de impregnación si se ve un incremento en la ganancia de sólidos en la muestra, especialmente en la M2 (muestra numero 2).

**Tabla IV-4 Ganancia de calcio en peso con la sal de Citrato de calcio**

Muestra (M)	Condiciones de trabajo		P <sub>i</sub> M (g)	P <sub>f</sub> MI (g)	GCM (g)
	t (h)	T (°C)			
5	2	25	422,42	443,58	21,16
6	4	25	223,20	246,51	23,31
7	2	40	423,80	453,44	29,64
8	4	40	446,20	478,75	32,55

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la tabla IV-4 se puede apreciar que la temperatura si tuvo un efecto significativo en el incremento de sólidos impregnados a nuestra manzana; la muestra que obtuvo un mayor aumento de sólidos es la número ocho.

#### 4.2.2. Deshidratado mediante aire caliente

En la fase final de la investigación, se somete la manzana impregnada a una corriente de aire caliente con una velocidad de flujo de entrada de 5,2 m/h, el cual se encarga de eliminar el agua presente en la muestra en forma de vapor ya que esto evita el desarrollo de microorganismos perjudiciales y también aumenta la vida útil del alimento además de reducir su volumen y peso los cuales pueden afectar directamente en el costo del transporte en caso de proyectar a futuro una producción a gran escala.

##### 4.2.2.1. Determinación del contenido de sólido seco

El comportamiento de la pérdida de agua en la manzana durante el secado por aire caliente se considera como la variación de la humedad libre respecto al tiempo expresada matemáticamente mediante la ecuación:

$$H_D = \frac{S - S_s}{S_s} \left( \frac{K t_i}{K d s} \frac{d a}{s_i} \right)$$

Seguidamente se procede a reemplazar en la ecuación los datos de cada muestra obtenidos en la parte experimental del proceso de deshidratación para graficar la curva de secado, los cuales quedarían de la siguiente manera:

Condiciones de Secado

T (°C) = 60

Para la muestra 1 (M1), se utilizó:

S = 223,657 g

S<sub>s</sub> = 33,272 g

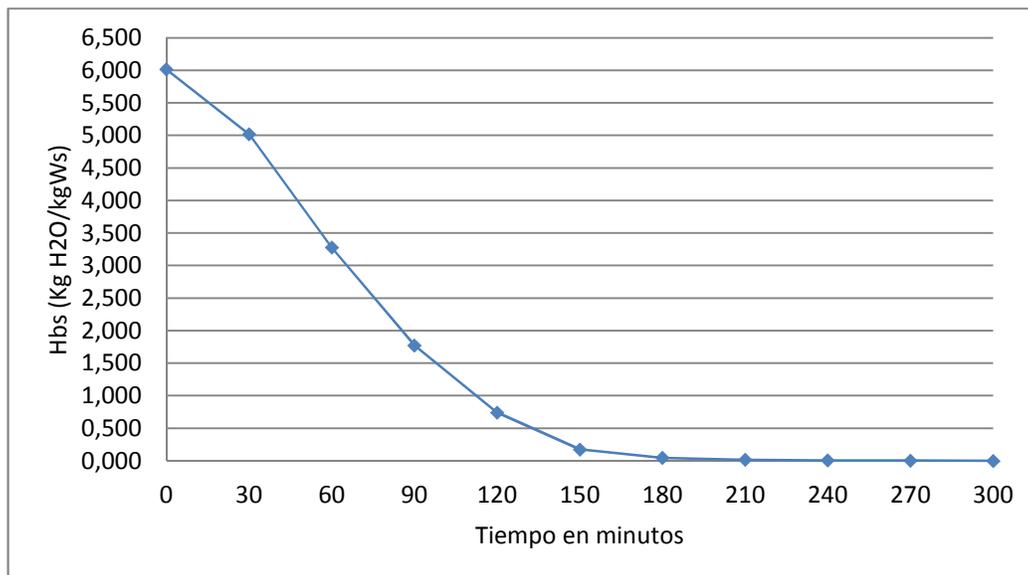
Reemplazando en la fórmula la humedad en base seca (H<sub>bs</sub>) quedaría de la siguiente manera:

**Tabla IV-5 Variación de la humedad respecto al tiempo de la muestra 1**

Nº	Tiempo (min)	S (g)	Hbs (Kg H <sub>2</sub> O/kgWs)
1	0	233,360	6,014
2	30	200,231	5,018
3	60	142,276	3,276
4	90	92,261	1,773
5	120	57,962	0,742
6	150	39,101	0,175
7	180	34,792	0,046
8	210	33,807	0,016
9	240	33,502	0,007
10	270	33,37	0,003
11	300	33,272	0,000

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Una vez teniendo los datos de la variación de la humedad en base seca respecto a un tiempo “t” se procede a realizar la curva de secado para visualizar el comportamiento del agua mediante el tiempo avanza.

**Figura 4-2 Curva de secado de la muestra M1**

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

En la figura 4-2 se observa que a partir del minuto 180 la cantidad de agua es muy

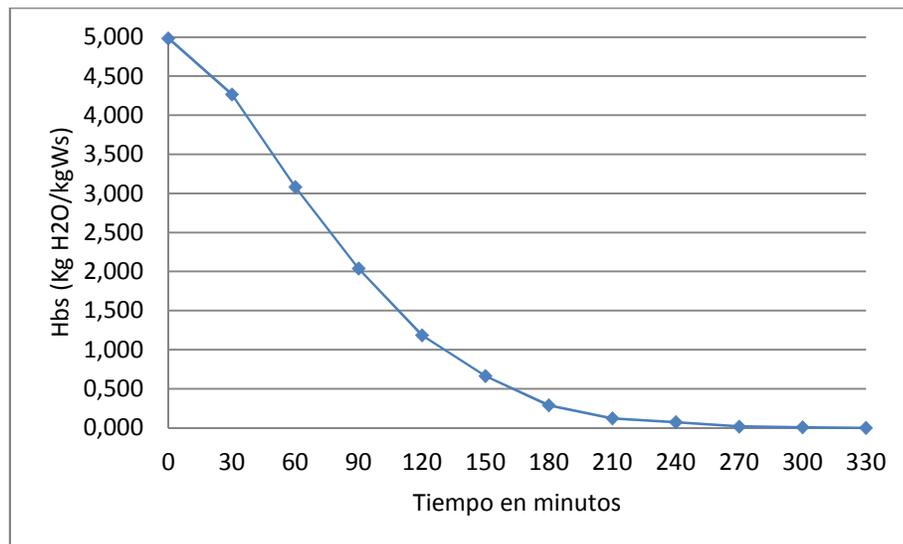
reducida lo cual indica que al min 300 ya no existe una variación significativa de humedad.

**Tabla IV-6 Variación de la humedad respecto al tiempo de la muestra 2**

Nº	Tiempo (min)	S(g)	Hbs (Kg H <sub>2</sub> O/kgWs)
1	0	567,553	4,984
2	30	499,73	4,269
3	60	387,35	3,084
4	90	288,21	2,039
5	120	207,142	1,184
6	150	157,837	0,664
7	180	122,235	0,289
8	210	106,391	0,122
9	240	101,764	0,073
10	270	96,624	0,019
11	300	95,59	0,008
12	330	94,839	0,000

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

**Figura 4-3 Curva de secado de la muestra M2**



Fuente: Elaboración Propia, 2020.

En la figura 4-3 se puede observar que en el minuto 210 ya empieza a notarse

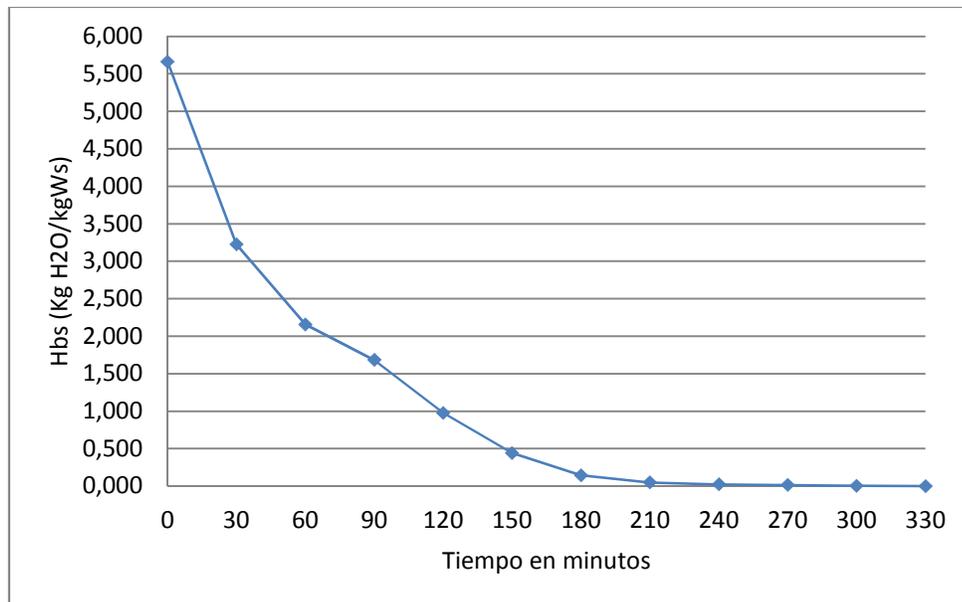
cambios significativos respecto a la humedad presente en la muestra.

**Tabla IV-7 Variación de la humedad respecto al tiempo de la muestra 3**

N°	Tiempo (min)	S(g)	Hbs (Kg H <sub>2</sub> O/kgWs)
1	0	382,902	5,661
2	30	242,818	3,224
3	60	181,401	2,156
4	90	154,181	1,682
5	120	113,568	0,976
6	150	82,791	0,440
7	180	65,787	0,145
8	210	60,22	0,048
9	240	58,825	0,023
10	270	58,303	0,014
11	300	57,67	0,003
12	330	57,48	0,000

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

**Figura 4-4 Curva de secado de la muestra M3**



Fuente: Elaboración Propia, 2020.

En la figura 4-4 se observa que en el minuto 210 la humedad libre empieza a decaer

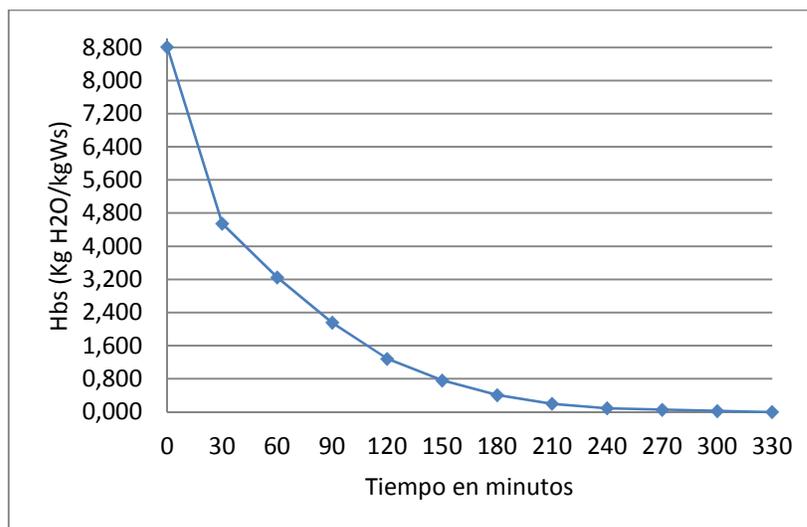
hasta llegar al minuto 330 donde se puede apreciar un contenido mínimo de humedad libre en la muestra.

**TablaIV-8 Variación de la humedad respecto al tiempo de la muestra 4**

Nº	Tiempo (min)	S(g)	Hbs (Kg H <sub>2</sub> O/kgWs)
1	0	276,877	8,809
2	30	156,48	4,544
3	60	119,979	3,251
4	90	89,064	2,155
5	120	64,438	1,283
6	150	49,761	0,763
7	180	39,785	0,410
8	210	33,769	0,196
9	240	30,808	0,091
10	270	29,777	0,055
11	300	28,956	0,026
12	330	28,226	0,000

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

**Figura 4-5 Curva de secado de la muestra M4**



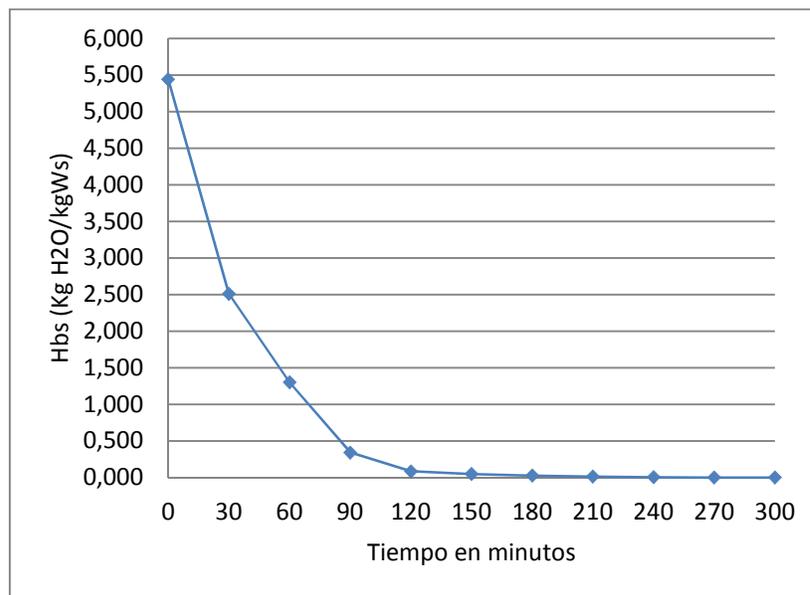
Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Figura 4-5 se observa que a partir del minuto 240 se apreció una reducción considerable en el contenido de humedad en la muestra 4.

**Tabla IV-9 Variación de la humedad respecto al tiempo de la muestra 5**

Nº	Tiempo (min)	S(g)	Hbs (Kg H <sub>2</sub> O/kgWs)
1	0	459,58	5,439
2	30	250,62	2,512
3	60	164,179	1,300
4	90	95,804	0,342
5	120	77,475	0,086
6	150	74,773	0,048
7	180	73,218	0,026
8	210	72,35	0,014
9	240	71,738	0,005
10	270	71,414	0,001
11	300	71,371	0,000

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

**Figura 4-6 Curva de secado de la muestra M5**

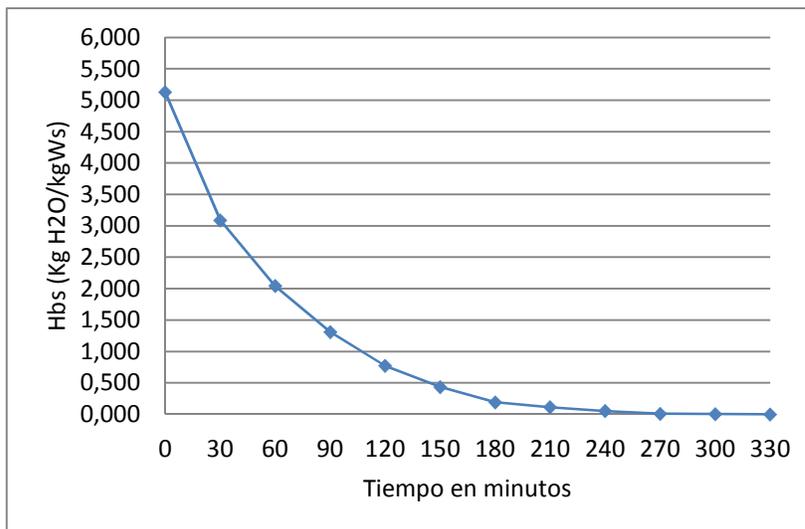
Fuente: Elaboración Propia, 2020.

En la figura 4-6 se observa la variación de la humedad respecto al tiempo, en el minuto 180 se puede apreciar como el contenido de humedad libre en la muestra tiende a bajar a una velocidad menor ya que la misma tiende a acercarse a cero.

**Tabla IV-10 Variación de la humedad respecto al tiempo de la muestra 6**

Nº	Tiempo (min)	S(g)	Hbs (Kg H <sub>2</sub> O/kgWs)
1	0	244,167	5,128
2	30	162,956	3,090
3	60	121,288	2,044
4	90	92,033	1,310
5	120	70,58	0,771
6	150	57,182	0,435
7	180	47,454	0,191
8	210	44,302	0,112
9	240	41,875	0,051
10	270	40,176	0,008
11	300	40,016	0,004
12	330	39,845	0,000

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

**Figura 4-7 Curva de secado de la muestra M6**

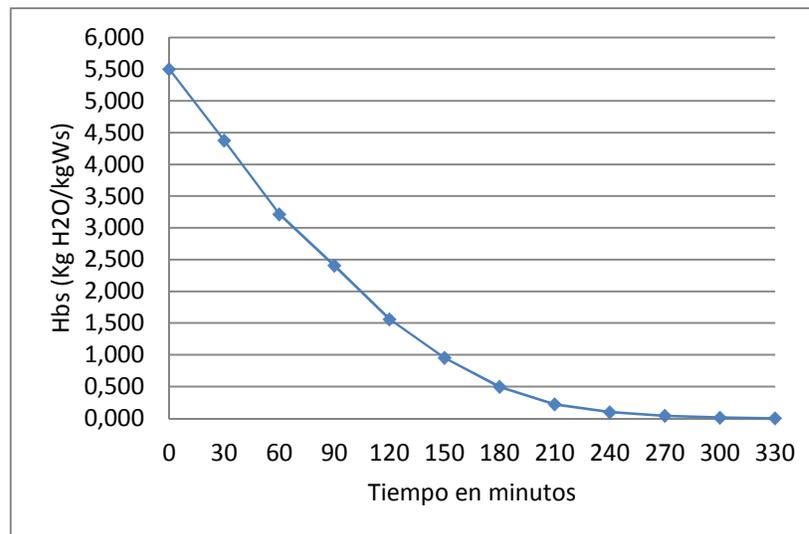
Fuente: Elaboración Propia, 2020.

En la figura 4-7 se observa que en el minuto 240 la humedad libre empieza a decaer hasta llegar al minuto 330 donde se puede apreciar un contenido mínimo de humedad libre en la muestra.

**Tabla IV-11 Variación de la humedad respecto al tiempo de la muestra 7**

Nº	Tiempo (min)	S(g)	Hbs (Kg H <sub>2</sub> O/kgWs)
1	0	473,442	5,499
2	30	391,591	4,375
3	60	306,98	3,214
4	90	247,966	2,404
5	120	186,516	1,560
6	150	142,184	0,952
7	180	108,988	0,496
8	210	88,869	0,220
9	240	79,923	0,097
10	270	75,66	0,039
11	300	73,765	0,013
12	330	72,848	0,000

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

**Figura 4-8 Curva de secado de la muestra M7**

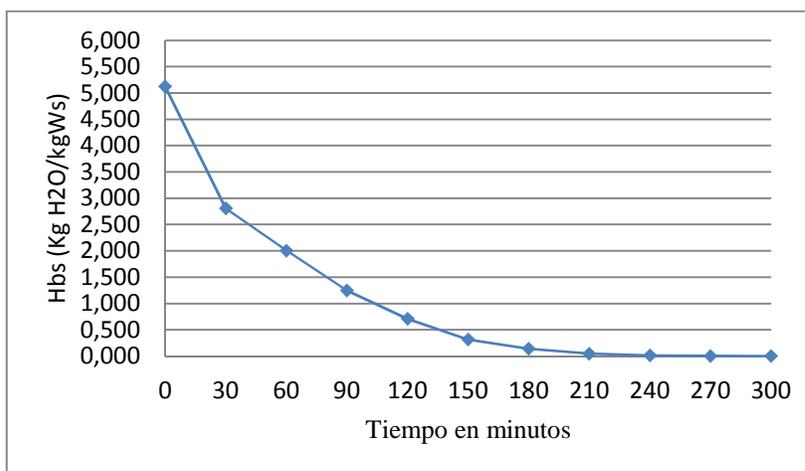
Fuente: Elaboración Propia, 2020.

En la figura 4-8 se observa que al minuto 270 la humedad libre en la muestra m7 empieza a decaer y a partir de ahí en contenido de humedad es mínimo.

**Tabla IV-12 Variación de la humedad respecto al tiempo de la muestra 8**

Nº	Tiempo (min)	S(g)	Hbs (Kg H <sub>2</sub> O/kgWs)
1	0	484,751	5,121
2	30	301,439	2,806
3	60	238,094	2,006
4	90	177,934	1,247
5	120	135,222	0,707
6	150	104,176	0,315
7	180	90,399	0,141
8	210	82,791	0,045
9	240	80,313	0,014
10	270	79,456	0,003
11	300	79,195	0,000

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

**Figura 4-9 Curva de secado de la muestra M8**

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

En la figura 4-9 se observa que en el minuto 210 la humedad libre empieza a decaer hasta llegar al minuto 300 donde se puede apreciar un contenido mínimo de humedad libre en la muestra.

En la tabla IV-13 se puede apreciar un cuadro resumen del porcentaje de humedad a la cual llegaron cada una de las muestras, la mayoría de ellas llegaron a un porcentaje entre 14 a 16% en un tiempo de 5 horas.

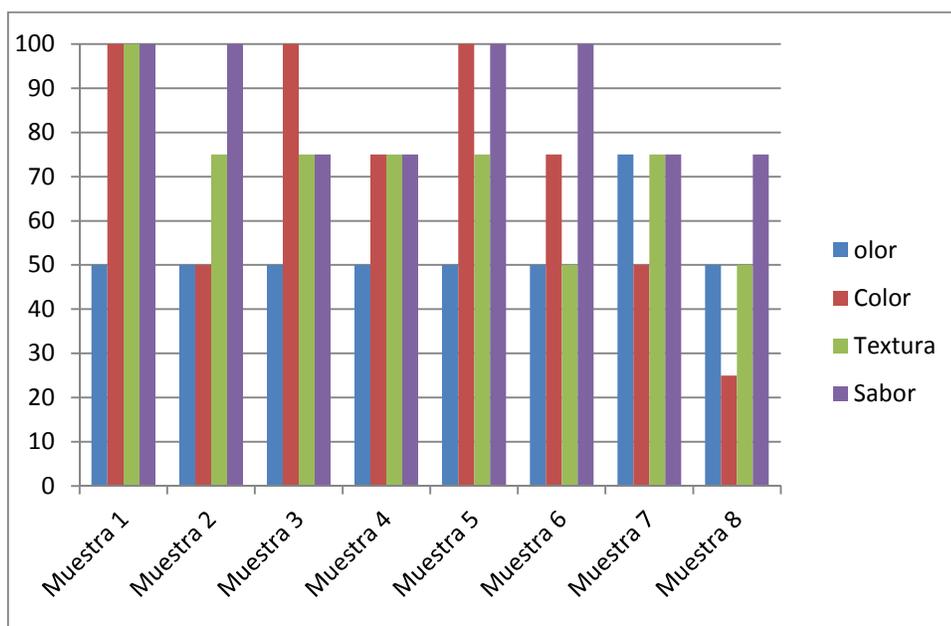
**Tabla IV-13 Resumen de la pérdida de agua en el secador de tiro forzado**

Muestra	Porcentaje (%)
1	14,876
2	14,575
3	15,012
4	10,194
5	15,530
6	16,319
7	15,387
8	16,337

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

### 4.3. Análisis de las pruebas organolépticas

En la evaluación de la manzana deshidratada fortificada con calcio se describe el grado de aceptabilidad del producto obtenido mediante una evaluación olfativa, visual, gustativa y de contacto, las cuales fueron calificadas mediante un panel de jueces de diferentes edades.

**Figura 4-10 Resultados de las pruebas organolépticas**

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Según los resultados obtenidos de la evaluación sensorial, se llegó a la conclusión que la prueba que obtuvo un mayor aceptación fue la Muestra N° 1, ya que ella obtuvo una mayor calificación en los 4 parámetros evaluados, con la única diferencia que en cuestión al sabor todas las pruebas obtuvieron el mismo resultado.

#### 4.4. Análisis del producto final

Una vez realizado el procedimiento descrito en anteriores puntos, se procede a realizar un análisis de laboratorio a todas las muestras obtenidas a partir del diseño factorial, con el fin de conocer cuál es el ensayo que presenta los mejores resultados en relación a la cantidad de calcio impregnado.

**Tabla IV-14 Contenido de calcio en las muestras de manzana**

Nº	Parámetro	Técnica y/o método de ensayo	Unidades mg/100g
1	Calcio	Absorción Atómica	4288
2	Calcio	Absorción Atómica	5940
3	Calcio	Absorción Atómica	3469
4	Calcio	Absorción Atómica	4235
5	Calcio	Absorción Atómica	2450
6	Calcio	Absorción Atómica	2478
7	Calcio	Absorción Atómica	2239
8	Calcio	Absorción Atómica	3769

Fuente: CEANID, 2020.

En la tabla IV-14 se puede apreciar el contenido de calcio en cada uno de los ensayos realizados de la manzana deshidratada fortificada con calcio, según los análisis realizados en el centro de análisis e investigación y desarrollo de la UAJMS , la muestra que presenta mayor cantidad de calcio impregnado es la muestra número 2 con una cantidad final de 5,94gr.

Una vez conociendo que la muestra número 2 obtuvo mayor cantidad de calcio impregnado se procedió a realizar los análisis de laboratorio correspondientes para determinar sus principales propiedades nutricionales como también algunas propiedades químicas de la misma.

**Tabla IV-15 Componentes fisicoquímicos de la muestra #2**

<b>PARAMETRO</b>	<b>TECNICA y/o METODO DE ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RESULTADO</b>
Azucares Totales	NB 38033:06	%	60,74
Calcio	Absorción Atómica	mg/100g	5940
Ceniza	NB 39034:10	%	13,22
Fibra	Gravimétrico	%	2,44
Grasa	NB 313019:06	%	0,29
Hidratos de Carbono	Calculo	%	76,99
Humedad	NB 313010:05	%	6,41
Proteína Total	NB/ ISO 8968-1:08	%	0,65
Valor energético	Calculo	Kcal/100g	313,17

Fuente: CEANID, 2020.

También se realizó el análisis de laboratorio a la muestra número 1 ya que obtuvo un mayor porcentaje de aceptación en la evaluación organoléptica por lo tanto se procedió a hacer análisis al producto ganador los cuales quedaron de la siguiente manera:

**Tabla IV-16 Componentes fisicoquímicos de la muestra #1**

<b>PARAMETRO</b>	<b>TECNICA y/o METODO DE ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RESULTADO</b>
Azucares Totales	NB 38033:06	%	55,96
Calcio	Absorción Atómica	mg/100g	4288
Ceniza	NB 39034:10	%	10,80
Fibra	Gravimétrico	%	2,02
Grasa	NB 313019:06	%	0,49
Hidratos de Carbono	Calculo	%	77,77
Humedad	NB 313010:05	%	7,60
Proteína Total	NB/ ISO 8968-1:08	%	1,32
Valor energético	Calculo	Kcal/100g	320,77

Fuente: CEANID, 2020.

Como se puede observar en la tabla IV-16 el valor de la mayoría de los parámetros aumenta mediante va aumentando el tiempo de impregnación sin embargo al observar el porcentaje de proteínas se puede decir que va bajando en relación al tiempo de impregnación ya que el mismo se va desnaturalizando.

#### **4.5. Análisis Estadístico del diseño experimental**

Para realizar el análisis estadístico del diseño experimental posterior al experimento se utilizó el programa SPSS el cual evalúa las variables más influyentes del proceso, así como la variable respuesta, que en nuestro caso es concentración de calcio obtenido, compara los datos reales extraídos del laboratorio con los datos corregidos por el programa, además de arrojar datos que nos muestran el grado de error y significancia de cada variable en el proceso.

#### 4.5.1. Análisis de Varianza Univariante

**Tabla IV-17 Factores inter-sujetos**

Numero de ensayos	Factores		Respuesta I (mg)	Respuesta II (mg)
	Tiempo (t)	Temperatura (T)		
M1	-1	-1	4288	4209
M2	+1	-1	5940	5907
M3	-1	+1	3469	3456
M4	+1	+1	4235	4214

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

En la tabla anterior se muestran los factores inter-sujetos de 4 experimentos, cada una con su réplica respectiva los cuales serán insertados en el programa SPSS para que la misma pueda corregir los datos y arrojar los datos para conocer el grado de error y la significancia de las variables que se consideraron en esta investigación.

##### 4.5.1.1. Pruebas de los efectos inter-sujetos

En la tabla se observar los resultados de las pruebas inter-sujetos evaluados en SPSS.

**Tabla IV-18 Variable dependiente: Concentracion\_Ca**

<b>Pruebas de los efectos inter-sujetos</b>					
Variable dependiente: Concentracion_Ca					
<b>Origen</b>	<b>Suma de cuadrados tipo III</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Modelo corregido</b>	<b>6473971,525<sup>a</sup></b>	<b>3</b>	<b>2157990,508</b>	<b>2199,273</b>	<b>0,000</b>
<b>Intersección</b>	<b>1,595E8</b>	<b>1</b>	<b>1,595E8</b>	<b>162530,852</b>	<b>0,000</b>
<b>Tiempo</b>	<b>2968680,344</b>	<b>1</b>	<b>2968680,344</b>	<b>3025,472</b>	<b>0,000</b>
<b>Temperatura</b>	<b>3088333,192</b>	<b>1</b>	<b>3088333,192</b>	<b>3147,413</b>	<b>0,000</b>
<b>Tiempo * Temperatura</b>	<b>416957,988</b>	<b>1</b>	<b>416957,988</b>	<b>424,934</b>	<b>0,000</b>
<b>Error</b>	<b>3924,916</b>	<b>4</b>	<b>981,229</b>		
<b>Total</b>	<b>1,660E8</b>	<b>8</b>			
<b>Total corregida</b>	<b>6477896,440</b>	<b>7</b>			

**a. R cuadrado = ,999 (R cuadrado corregida = 0,999)**

Fuente: Elaboración Propia (SPSS),2020.

**Tabla IV-19 ANOVA<sup>b</sup> para la ganancia de calcio (concentración de calcio)**

**ANOVA<sup>b</sup>**

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	6057013,537	2	3028506,768	35,978	0,001 <sup>a</sup>
	Residual	420882,904	5	84176,581		
	Total	6477896,440	7			

a. Variables predictoras: (Constante), Temperatura, Tiempo

b. Variable dependiente: Concentracion\_Ca

**Tabla IV-20 coeficientes<sup>a</sup> del modelo de regresión lineal para concentración de calcio**

Coeficientes <sup>a</sup>							
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	4464,862	102,577		43,527	0,000	4201,180	4728,545
Tiempo	609,168	102,577	0,677	5,939	0,002	345,485	872,850
Temperatura	-621,323	102,577	-0,690	-6,057	0,002	-885,005	-357,640

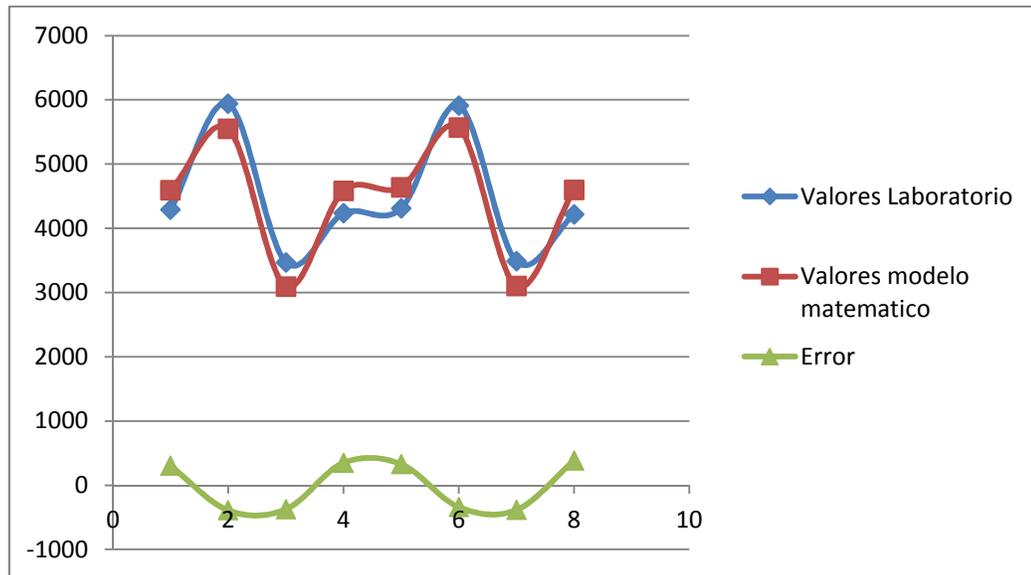
a. Variable dependiente: Concentracion\_Ca

En la tabla se observan los resultados que fueron arrojados por el SPSS de los coeficientes del modelo matemático ideal para determinar la variable dependiente concentración de calcio en la etapa de impregnación con una combinación de las

variables de tiempo y temperatura.

Concentración de Calcio =  $4464,862 + 609,168 * \text{tiempo} - 621,323 * \text{temperatura}$

**Figura 4-11 Valor real vs Valor corregido y curva de error de los resultados**



Fuente: Elaboración propia (SPSS),2020.

En la figura se aprecia la variación de la curva según los valores reales y corregidos y el error que presentaron nuestros valores reales frente a los datos ajustados por el programa SPSS.

#### 4.6. Balance de Materia y Energía

##### 4.6.1. Balance de Materia

En este punto se expone el balance de materia para la muestra M2, misma que destaco en la cantidad de calcio impregnado.

**Tabla IV-21 Flujos operativos y componentes del proceso para la obtención de manzana deshidratada fortificada con calcio**

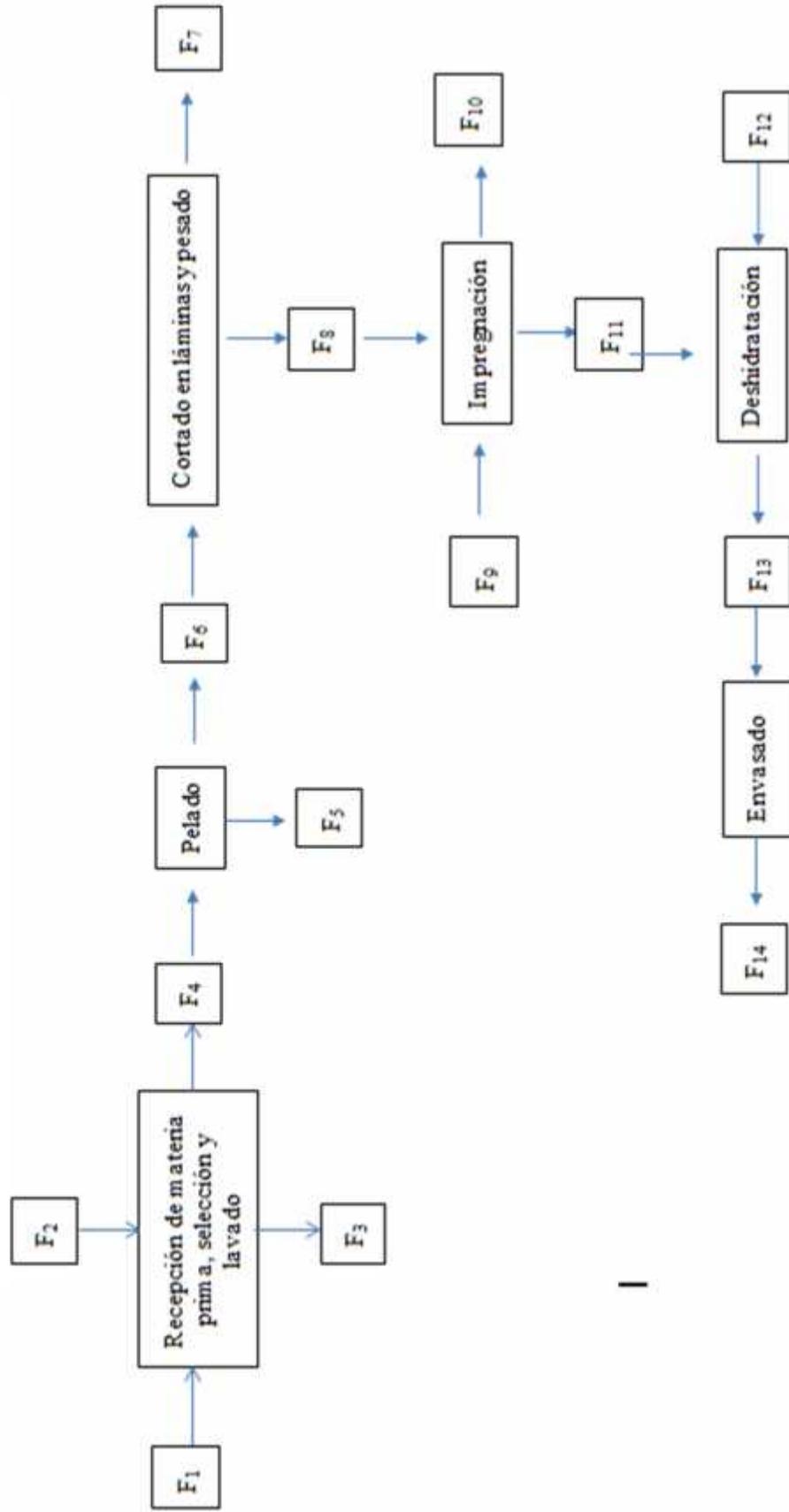
<b>Flujo Másico</b>	<b>Nombre</b>
F <sub>1</sub>	Manzana Fresca
F <sub>2</sub>	Agua potable
F <sub>3</sub>	Agua residual
F <sub>4</sub>	Manzana Seleccionada y lavada
F <sub>5</sub>	Cascara, semillas, corazón
F <sub>6</sub>	Manzana Pelada
F <sub>7</sub>	Perdidas
F <sub>8</sub>	Láminas de manzana
F <sub>9</sub>	Solución de calcio
F <sub>10</sub>	Solución agotada
F <sub>11</sub>	Manzana impregnada
F <sub>12</sub>	Vapor de agua
F <sub>13</sub>	Manzana deshidratada
F <sub>14</sub>	Manzana envasada
<b>Componentes</b>	<b>Nombre</b>
X <sub>H2O</sub>	Fracción de agua
X <sub>Ca</sub>	Fracción de Calcio
X <sub>Glucosa</sub>	Fracción de glucosa
X <sub>SS</sub>	Fracción solidos solubles

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

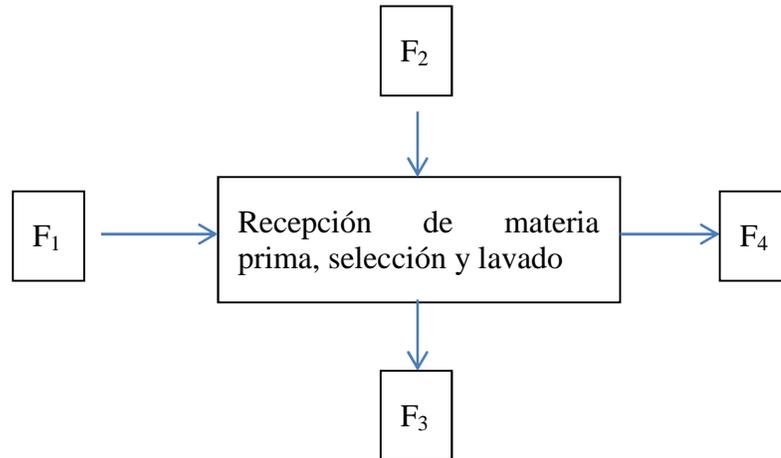
De acuerdo a los datos obtenidos experimentalmente se analizara el balance de materia partiendo de la etapa de recepción de la muestra hasta el envasado de nuestro producto.

Se describe el balance de materia en cada etapa considerando que durante el proceso se registraron los datos que se observaran en el desarrollo del balance.

Figura 4- 12 Diagrama de Bloques del proceso tecnológico experimental



Fuente: Elaboración propia, 2020.

**Balance Global:****Dónde:**

$$mF_1 = 829,44 \text{ gr}$$

$$mF_2 = 1000\text{ml} * 1 \text{ gr/ml} = 1000\text{gr}$$

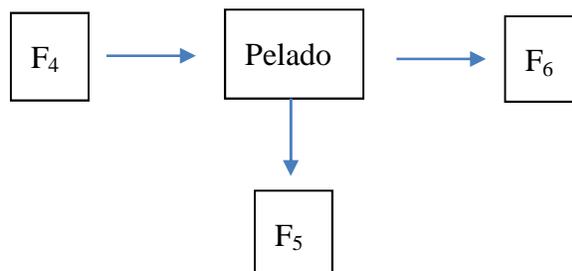
$$mF_3 = ?$$

$$mF_4 = 823,68\text{gr}$$

$$F_1 + F_2 = F_3 + F_4$$

$$F_3 = F_1 + F_2 - F_4$$

$$F_3 = 829,44 \text{ gr} + 1000\text{gr} - 823,68\text{gr} = 1005,75\text{gr}$$

**Dónde:**

$$m F_4 = 823,689 \text{ g}$$

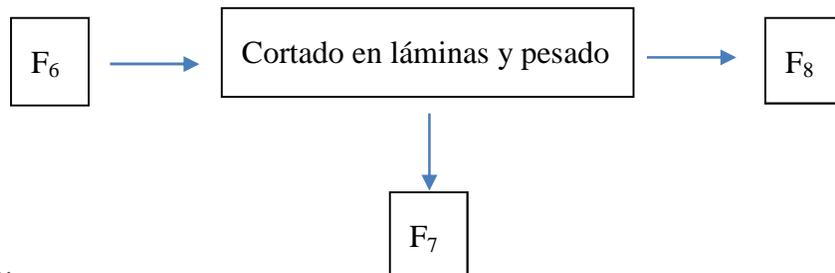
$$m F_5 = ?$$

$$m F_6 = 576,198 \text{ g}$$

$$F_4 = F_5 + F_6$$

$$F_5 = F_4 - F_6$$

$$823,689g - 576,198g = 247,491g$$



Dónde:

$$m F_6 = 576,198 g$$

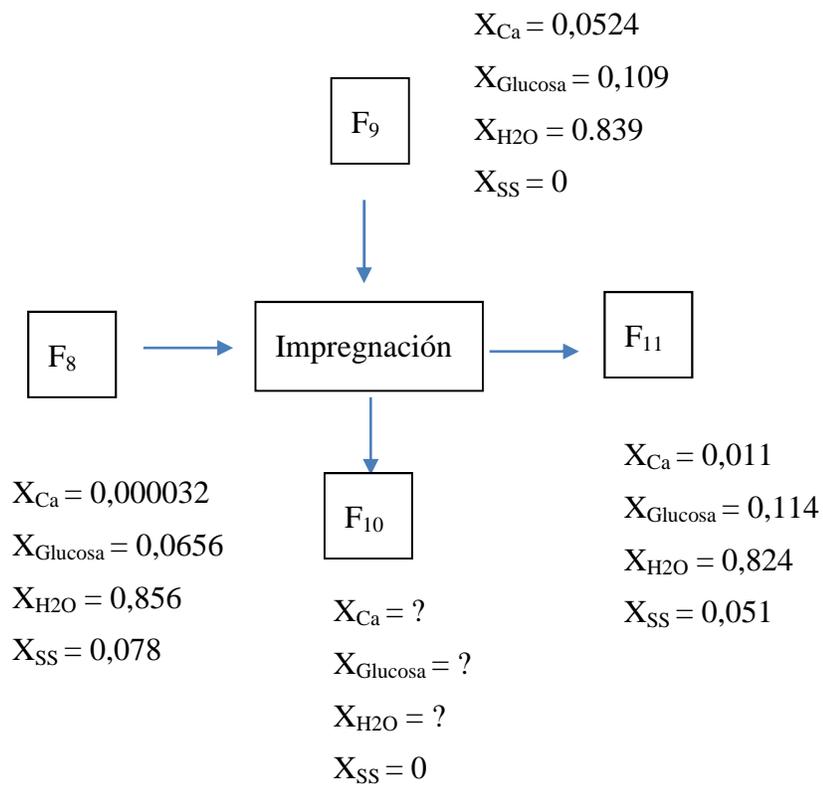
$$m F_7 = ?$$

$$m F_8 = 545,958 g$$

$$F_6 = F_8 + F_7$$

$$F_7 = F_6 - F_8$$

$$576,198g - 545,958g = 30,24g$$



Dónde:

$$m F_8 = 545,958 \text{ g}$$

$$m F_9 = 2200 \text{ g}$$

$$m F_{10} = ?$$

$$m F_{11} = 567,553 \text{ g}$$

$$F_8 + F_9 = F_{10} + F_{11}$$

$$F_{10} = F_8 + F_9 - F_{11}$$

$$F_{10} = 545,958 \text{ g} + 2200 \text{ g} - 567,553 \text{ g}$$

$$F_{10} = 2178,405 \text{ g}$$

**Balance por componentes:**

**Para el calcio:**

$$F_8 * X_C + F_9 * X_C = F_1 * X_C + F_1 * X_C$$

$$545,958g * 0,000032 + 2200g * 0,0524 = 2178,405g * X_C + 567,553g * 0,011$$

$$X_C = 0,050$$

**Para la Glucosa:**

$$F_8 * X_G + F_9 * X_G = F_1 * X_G + F_1 * X_G$$

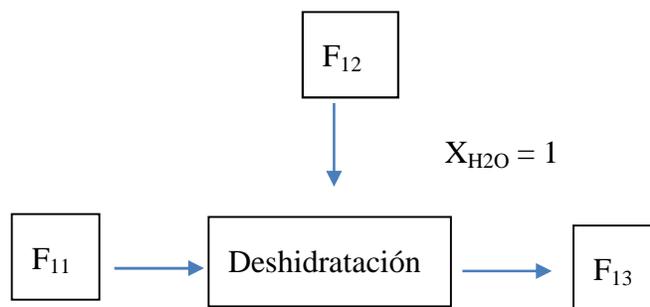
$$545,958g * 0,0656 + 2200g * 0,109 = 2178,405 * X_G + 567,553g * 0,114$$

$$X_G = 0,097$$

**Para el H<sub>2</sub>O:**

$$X_{H_2O} = 1 - X_C - X_G$$

$$X_{H_2O} = 0,853$$



$$X_{Ca} = ?$$

$$X_{Glucosa} = ?$$

$$X_{H_2O} = ?$$

$$X_{SS} = ?$$

$$X_{Ca} = 0,059$$

$$X_{Glucosa} = 0,6074$$

$$X_{H_2O} = 0,0641$$

$$X_{SS} = 0,2695$$

Dónde:

$$m F_{11} = 567,553 \text{ g}$$

$$m F_{12} = ?$$

$$m F_{13} = 106,391 \text{ g}$$

$$F_1 = F_1 - F_1$$

$$F_1 = 567,553 \text{ g} - 106,391 \text{ g} = 461,162 \text{ g}$$

**Balance por componentes:**

**Para el H<sub>2</sub>O :**

$$F_1 * X_{H_2O} = F_1 * X_{H_2O} - F_1 X_{H_2O}$$

$$X_{H_2O} = 0,824$$

**Para la Glucosa:**

$$F_1 * X_G = F_1 * X_G - F_1 X_G$$

$$461,162 \text{ g} * 0 = 567,553 \text{ g} * X_G - 106,391 \text{ g} * 0,6074$$

$$X_G = 0,114$$

**Para la Calcio:**

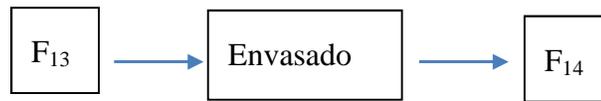
$$F_1 * X_C = F_1 * X_C - F_1 X_C$$

$$461,162 \text{ g} * 0 = 567,553 \text{ g} * X_C - 106,391 \text{ g} * 0,059$$

$$X_C = 0,011$$

**Para los Solidos Solubles:**

$$X_S = 1 - X_{H_2O} - X_G - X_C = 0,824 - 0,114 - 0,011 = 0,051$$



**Dónde:**

$$m F_{13} = 106,391 \text{ g}$$

$$m F_{14} = 106,391 \text{ g}$$

#### 4.6.2. Rendimiento

Para conocer el rendimiento del proceso se utiliza la siguiente relación donde la masa del producto final es: 106,391 g y la masa inicial de manzana es de: 829,44g.

$$\%R = \frac{106,391}{829,44} * 100 = 12,83\%$$

Cabe resaltar que más del 80% de la manzana es agua por lo cual se obtuvo el anterior resultado.

Ahora tomando en cuenta los valores de calcio al final y al inicio del proceso se llegó a la siguiente conclusión:

$$F \quad d \quad c_i = \frac{C_F}{C_I} = \frac{5,940}{0,265} = 22,41$$

El calcio se incrementa en un 22,41 con relación a la cantidad inicial:

$$C_F = 22,41 C_I$$

En cuestión a datos Bibliográficos acerca de la fortificación de calcio, al usar lactato de calcio como agente fortificante se observó que la cantidad de calcio impregnado es de 90 con relación a la cantidad de calcio inicial:

$$F \quad d \quad c_i = \frac{C_F}{C_I} = \frac{0,54}{0,006} = 90,00$$

Observando los valores obtenidos en la investigación y los valores bibliográficos se puede decir que se llegó a impregnar la cuarta parte, sin embargo se debe tomar en cuenta que el valor de referencia es de una fortificación con lactato de calcio el cual es una sal más soluble y tiene mayor facilidad de adherencia.

### 4.6.3. Balance de Energía

En este acápite se realizarán los balances de energía en los procesos de impregnación y el secado por aire caliente.

#### 4.6.3.1. Balance de energía en la impregnación

En la impregnación tenemos que tomar en cuenta que la capacidad máxima de trabajo es de 80 W a 1500 y que la velocidad a la cual se trabaja es 51rpm por lo tanto se procedió a realizar la siguiente relación con la cual se obtuvo la Kcal utilizada.

$$Q_A \cdot a \cdot m = Q_i \cdot t \cdot a$$

$$Q_A = \frac{80 [W] * 51 [rpm]}{1500 [rpm]} = 2,72 [W]$$

$$Q_A = 2,72 [W] * \left( \frac{0,859 \frac{k}{h}}{1 W} \right) = 2,33 \frac{k}{h} * 5,5 h = 12,85 k$$

La energía consumida en el agitador magnético es el siguiente:

$$\mathbf{Energía = P * t}$$

Dónde:

$$\mathbf{T tiempo = 4h}$$

$$\mathbf{Potencia = 0,08 kW}$$

$$\mathbf{Energía = 0,08 kW * 4h = 0,32 kWh}$$

El costo de la energía consumida es:

$$\mathbf{Costo = 0,32 kWh * 0,90 Bs/kWh = 0,288 Bs}$$

#### 4.6.3.2. Balance de energía en el secado por aire caliente

Para eliminar el agua contenida en la manzana impregnada con calcio, es necesario someter dicha muestra a un flujo continuo de calor por medio de aire caliente forzado a 60°C al sistema, cabe recalcar que los siguientes datos mostrados son datos obtenidos experimentalmente como también datos tabulados del libro Cengel y tesis de grado, a continuación se procederá a calcular el calor en el secado.

$$Q_A = Q_s = Q_{s1} + Q_{lc}$$

El calor sensible se refiere al calor aplicado a la manzana en su aumento de temperatura, por lo tanto se tiene la siguiente ecuación:

$$Q_s = C * m_m * \Delta T$$

Dónde:

$$m_{\text{manzana}} = 0,567 \text{ kg}$$

$$C_p = 3,81 \text{ KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{C} \text{ (Ver Anexo E)}$$

$$T = 60^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 35^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 3,81 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} * 0,567 \text{ kg} * 35^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 75,609 \text{ K}$$

También en este proceso se debe tomar en cuenta el calor latente del agua, ya que existe un cambio de fase, por lo tanto se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{lc} = m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \lambda_{\text{H}_2\text{O}}$$

Dónde:

$$m_{\text{H}_2\text{O evaporada}} = 0,4611 \text{ Kg}$$

$$\lambda_{\text{H}_2\text{O a } 60^\circ\text{C}} = 2330,89 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{lc} = 0,4611 \text{ Kg} \cdot 2330,89 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{lc} = 1074,77 \text{ K}$$

Una vez teniendo el calor sensible y latente se procede a calcular el calor de secado.

$$Q_s = Q_{s1} + Q_{lc}$$

$$Q_s = 75,609 \text{ K} + 1074,77 \text{ K} = 1150,38 \text{ K}$$

$$Q_s = 1150,38 \text{ K} \cdot 0,239 \frac{\text{K}}{\text{K}} = 274,94 \text{ K}$$

La energía consumida en el secador de tiro forzado es el siguiente:

$$\text{Energía} = P \cdot t$$

Dónde:

$$\text{Tiempo} = 5,5$$

$$\text{Potencia} = 1,5 \text{ kW}$$

$$\text{Energía} = 1,5 \text{ kW} \cdot 5,5 = 8,25 \text{ kWh}$$

El costo de la energía consumida es:

$$\text{Costo} = 8,25 \text{ kWh} \cdot 0,90 \text{ Bs/kWh} = 7,425 \text{ Bs}$$

#### 4.7. Costos

##### 4.7.1. Costos de investigación

Costos	Detalle	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs)	Costo Total (Bs)
Costos de Información	Internet mensual	10MB	----	340	340
Costo de materia prima e insumos	Manzana	Docena	7	24	168
	Carbonato de Calcio	g	500	100,10	100,10
	Citrato de Calcio	g	500	71,20	71,20
	Glucosa	kg	2	40	80
Costo de análisis y pruebas de Laboratorio	Pruebas fisicoquímicas de cada elemento para identificar:				
	-Azúcares totales		2	100	200
	-Fibra		2	100	200
	-Proteínas		2	100	200
	-Grasas		2	90	180
	-Humedad		2	40	80

	<b>-Hidratos de Carbono</b>		2	10	20
	<b>-Valor Energético</b>		2	10	20
	<b>-Cenizas</b>		2	70	140
	<b>-Calcio</b>		8	120	960
<b>Costos de material de laboratorio</b>	<b>-Vaso precipitado</b>		3	85	255
	<b>-Espátula</b>		1	20	20
	<b>-Balanza</b>		1	75	75
	<b>-Pinzas</b>		2	10	20
	<b>-Envases de plástico</b>		10	0.5	5
<b>Costos auxiliares</b>	<b>Transporte</b>	Viajes mes	140	2	280
	<b>Impresiones</b>	Hojas	1200	0,50	600
	<b>Material de escritorio</b>	Varios	1	50	50
	<b>Guantes</b>	Pares	8	1,5	12
	<b>Barbijo</b>	Unidad	3	0,5	1,5
	<b>Gorro de laboratorio</b>	Unidad	3	1	3
<b>Costo de mano de obra</b>	<b>1 personal</b>	Bs	1	2000	2000
<b>Total en Bs</b>					<b>6080,8</b>

#### 4.7.2. Costos de producción

Los costos para producir 100gr de manzana deshidratada fortificada con calcio se obtuvieron a partir del estudio que se realizó en el balance de materia y energía por lo cual en la tabla IV-22 que se presenta a continuación, se detallan los precios en Bs de todos los insumos y la energía consumida para elaborar dicho producto.

**Tabla IV-22 Costo productivo para 100gr de manzana deshidratada fortificada con calcio**

<b>Insumos y Energía</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario (Bs)</b>
Manzana	5 U	10
Glucosa	10,9gr	0,43
Calcio	5,24gr	1,04
Envase	1	0,5
Agitador Magnético	0,32 Kwh	0,29
Secador de tiro forzado	8,25 Kwh	7,425
Mano de obra	12h	100,2
<b>Costo Total</b>		<b>119,9</b>

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Tomando en cuenta el costo de producción observado en la Tabla IV-22 para producir 100gr de manzana deshidratada se requiere invertir 119,9 Bs y para producir 10gr como se muestra en el mercado se necesitan 11,9 bs.

**CAPITULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1. Conclusiones

- Los parámetros más importantes en la caracterización de la materia prima fueron la cantidad de calcio y los parámetros nutricionales con las que se dio inicio el trabajo experimental siendo el contenido de calcio inicial de 3,19%, azúcar 6,56% y agua 85,61%.
- El proceso tecnológico fue elegido bajo ciertos criterios que se obtuvieron después de un arduo estudio acerca de los procesos que se utilizan para la elaboración de un producto funcional deshidratado con aire caliente, como se observa en la sección 2.9., el proceso elegido demostró ser un proceso efectivo y nutritivo ya que se logró incorporar más del doble de la cantidad de calcio inicial y se consiguió eliminar más del 90% de agua para conseguir un producto con un mayor tiempo de vida útil.
- Referente a la impregnación de calcio en las láminas de manzana se pudo observar que las condiciones que favorecen a la calidad del producto final, tanto en las características organolépticas como en la cantidad de calcio impregnado, son las siguientes: trabajar con un espesor de 6mm a temperatura ambiente, presión atmosférica y un tiempo de impregnación de 4 horas, con dichas condiciones se obtienen mejores rendimientos y también se reduce el costo de producción puesto que no existe un gasto de energía al momento de impregnar la muestra con una temperatura mayor a la ambiente.
- La impregnación a presión atmosférica y temperatura ambiente demuestra ser buena para fortificar la manzana debido a que logra mantener las características sensoriales propias de la manzana, esto se evidencia en las pruebas organolépticas ya que el producto obtuvo una aceptación del 65% y la impregnación de calcio fue del 49,26 % respecto al valor inicial, es decir que se logra impregnar 22,41 veces más respecto al calcio inicial como se observa en la Tabla IV-15 donde también se resume las características fisicoquímicas del producto final:

**Tabla IV-15 Componentes fisicoquímicos de la muestra #2**

<b>PARAMETRO</b>	<b>TECNICA y/o METODO DE ENSAYO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RESULTADO</b>
Azucares Totales	NB 38033:06	%	60,74
Calcio	Absorción Atómica	mg/100g	5940
Ceniza	NB 39034:10	%	13,22
Fibra	Gravimétrico	%	2,44
Grasa	NB 313019:06	%	0,29
Hidratos de Carbono	Calculo	%	76,99
Humedad	NB 313010:05	%	6,41
Proteína Total	NB/ ISO 8968-1:08	%	0,65
Valor energético	Calculo	Kcal/100g	313,17

Fuente: CEANID, 2020.

## 5.2. Recomendaciones

- Se recomienda a los productores a tomar en cuenta este proyecto ya que con esta investigación ellos podrán darle un valor agregado a la materia prima y así aumentar sus ingresos económicos y no desechar la fruta que no pudo ser comercializada.
- Se recomienda realizar investigaciones respecto al calcio restante que se queda en la solución agotada.
- Respecto a la factibilidad técnica y económica se recomienda realizar más investigaciones con relación a las variables y los porcentajes de los insumos para producir una cantidad específica de manzana deshidratada fortificada con calcio que cumpla con los requerimientos diarios de ingesta de calcio y que se pueda comercializar a un precio fijo y razonable.
- Realizar estudios para observar como varia proteína respecto a la temperatura a la cual es sometida la muestra en el proceso de la deshidratación
- Se recomienda realizar esta investigación por la variedad verde criolla para observar el comportamiento que tiene la misma frente a las condiciones de trabajo a la cual será sometida.
- Se recomienda realizar más investigaciones acerca del tamaño de partícula en la impregnación.
- Debido a que el trabajo se realizó a nivel de laboratorio, se recomienda escalar el proceso a nivel de planta piloto para observar el comportamiento del mismo y ajustar algunas variables en caso se lo requiera.

## **BIBLIOGRAFIA**

A.Q. (20 de Mayo de 2016). *efeagro*. Obtenido de <https://www.efeagro.com/noticia/secos/>

Ainia, A. (2015). *Ainia*. Obtenido de Por que los consumidores eligen alimentos funcionales: <https://www.ainia.es/tecnalimentalia/consumidor/por-que-los-consumidores-eligen-alimentos-funcionales/>

Allen, L. (2017). *Guías para la fortificación de alimentos con micronutrientes*. Recuperado el Noviembre de 2018, de <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255541/9789243594019-spa.pdf;jsessionid=7EFBF502C9D7D2740E2B2BF037D26D87?sequence=1>

Allen, L. (2017). *Guías para la fortificación de alimentos con nutrientes*. Switzerland: Fiat Panis.

Badui. (2006). *Química de los Alimentos*. Mexico: Pearson Education Cuarta Edición.

Barbosa, P. (2017). Secado solar de frutas y verduras en quintana roo. *Revista Iberoamericana de Tecnología postcosecha*.

Barrena, R. ACEPTACIÓN DE UNA INNOVACIÓN ALIMENTARIA DISCONTINUA POR PARTE DEL CONSUMIDOR. *APLICACIÓN PARA UN PRODUCTO LÁCTEO*. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS AGRÓNOMOS, Navarra.

Berrio. (2019). *Alimentos Funcionales*. Obtenido de impacto y Retos para el Desarrollo y Bienestar de la sociedad colombiana.: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v13n2/v13n2a16.pdf>

Berrú, M. *DISEÑO DE PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE CARBONATO DE CALCIO A PARTIR DE LA CONCHA DE ABANICO DE LA CIUDAD DE SECHURA*. UNIVERSIDAD DE PIURA, PERU.

Bird. (1992). *Fenómenos de transporte*. Mexico: Reverté S.A.

Bojorquez, R. *La Manzana [Licenciatura en Nutrición]*. Universidad Autónoma de

Occidente.

Buendía, M. *DETERMINACIÓN DE LA SOLUBILIDAD DEL CARBONATO DE CALCIO, CONCHUELA Y SU EVALUACION BIOLOGICA EN POLLOS DE CARNE [Post Grado]*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Casim, S. *Enriquecimiento de manzana con calcio: efecto en las propiedades fisico-químicas y estructurales durante el secado en corriente de aire [Tesis Doctoral]*. Universidad de Buenos aires.

Casim, S. M. (2011). *Biblioteca Digital*. Recuperado el Noviembre de 2018, de [https://digital.bl.fcen.uba.ar/download/tesis/tesis\\_n4853\\_Casim.pdf](https://digital.bl.fcen.uba.ar/download/tesis/tesis_n4853_Casim.pdf)

Cengel. (2011). *Termodinamica* (7ma Edicion ed.). Mexico.

Comex. (2014). *Comex-informes de Bolivia de frutas y frutos comestibles*. Recuperado el Junio de 2019, de <https://trade.nosis.com/es/Comex/Importacion-Exportacion/Bolivia/manzanas-y-peras--manzanas-peras-y-membrillos-frescos/BO/0808>

Contreras, C. *Influencia del metodo de secado en parametros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas [Tesis Doctoral]*. Uniersidad Politecnica de Valencia, Valencia, España.

Cortes. (2007). *Scielo*. Recuperado el Abril de 2019, de Manzana deshidratada fortificada con vitamina e utilizando la ingeniería de matrices: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-40042007000200003&script=sci\\_arttext&tlng=en%C3%A7](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-40042007000200003&script=sci_arttext&tlng=en%C3%A7)

Davila. *Elaboracion de saborizantes en polvo, a partir de cinco frutas deshidratadas como: higo, menbrillo, nispero, mortiño, y uvilla para la aplicacion en cinco tipos de bizcochos y cinco tipos de galletas*. Universidad de Cuenca, Cuenca.

Davila, M. (Julio de 2015). *Tesis*. Recuperado el Noviembre de 2018, de ELABORACIÓN DE SABORIZANTES EN POLVO: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22376/1/tesis.pdf>

Diaz, F. *Caracterizacion Fisico-Quimica de variedades de manzana resistentes al metoeadado (Venturiainaequalis (Cke.) Winter) Y VALORIZACION SENSORIAL*. Escuela superior de agricultura.

Diplock, A. T. (01 de Enero de 1999). *Ilsi Europe*. Recuperado el agosto de 2019, de <https://ilsi.eu/publication/scientific-concepts-of-functional-foods-in-europe-consensus-document/>

Ditta. *Plan de negocios para la creacion de una planta deshidratadora de frutas en el D.T.C.H*. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta.

Duran, F. (2009). *Procesos industriales en frutas y hortalizas*. Latino.

Elena Valencia, M. R. (junio de 2011). *Revista Lasallista*. Recuperado el Noviembre de 2018, de <http://www.redalyc.org/pdf/695/69522600012.pdf>

Elias, M. F. (2014). *Industria y Fortificacion de alimentos* . Recuperado el Enero de 2019, de [http://revista-fi.com.br/upload\\_arquivos/201606/2016060735534001464893074.pdf](http://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201606/2016060735534001464893074.pdf)

Elias, M. F. (2014). *Industria y fortificacion de alimentos: Una historia de suceso. DSM Bright science, brighter living*, 28-30.

Fernandez, I. *Frutas tropicalles deshidratadas fortificadas con calcio y vitamina C [Doctorado]*. Universidad Nacional de Misiones, Posadas.

Fesler, G. (2007). *ScienceDirect*. Recuperado el Diciembre de 2018, de [https://digital.bl.fcen.uba.ar/download/paper/paper\\_02608774\\_v87\\_n3\\_p323\\_GonzalezFesler.pdf](https://digital.bl.fcen.uba.ar/download/paper/paper_02608774_v87_n3_p323_GonzalezFesler.pdf)

Fésler, G. (2007). *ScienceDirect*. Recuperado el Diciembre de 2018, de [https://digital.bl.fcen.uba.ar/download/paper/paper\\_02608774\\_v87\\_n3\\_p323\\_GonzalezFesler.pdf](https://digital.bl.fcen.uba.ar/download/paper/paper_02608774_v87_n3_p323_GonzalezFesler.pdf)

Gaite, A. *Caracterización sensorial y físico-química de manzanas reineta y pera conferencia, figuras de Calidad en castilla y león [Tesis doctoral]*. Universidad de Leon, España.

- Galvez, E. *Diseño de una secadora de quinua en el departamento de La Paz - Bolivia*. Universidad Mayor de San Andres, La Paz, Bolivia.
- Gamboa. (2017). *Estructura de la membrana plasmática*. Obtenido de <https://es.khanacademy.org/science/high-school-biology/hs-cells/hs-the-cell-membrane/a/structure-of-the-plasma-membrane>
- Geankoplis. (1998). *fenomenos de transporte*. Minnesota: Continental, S.A. de C.V. Mexico.
- Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Mexico: CESCA.
- Health, N. I. (Noviembre de 2016). *Office of Dietary Supplements*. Recuperado el Noviembre de 2018, de <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Calcium-DatosEnEspañol/>
- Houtkooper. (2020). Guia de los suplementos de Calcio. *UA campus repository*, 1-5.
- Jaller, S. *Comparación de la transferencia de materia en los procesos de deshidratación osmótica a presión atmosférica y con impregnación de vacío en la piña cayena lisa, a través de un modelo matemático*. Universidad de la Sabana, Chia.
- Jauregui, P. *Rentabilidad de los metodos tradicional y solar tipo tunel de la deshidratacion del durazno (Prunus persica), en el municipio de Sapahaqui del Departamento de La Paz*. Universidad Mayor de San Andres, La Paz, Bolivia.
- Klaenhammer, T., & Kullen, M. (1999). Selection and desing of probiotics. *EureKa life, earth and health Sciences*, 45-57.
- Levi, A. G. (1983). Intermediate moisture tropical fruit products for developing countries. *Journal of Food Technology*.
- Levi, A. G. (1983). Intermediate moisture tropical fruit products for developing countries. *Journal of Food Technology*.
- Maguer, R. (1988). *Osmotic dehydration: review and future directions*.
- Martinez, Y. Universidad nacional de trujillo, Trujillo.

Martinez, Y. *Prediccion de propiedades termofisicas en alimentos*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

Martinez, Y. *Prediccion de propiedades termofisicas en alimentos*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

Martinez, Y. (2011). *Propiedades termofisicas en alimentos*. Trujillo.

Martinez, Y. *Propiedades termofisicas en alimentos*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

Moreira. (NN). *Cajamar*. Recuperado el Diciembre de 2018, de <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/publicaciones-periodicas/mediterraneo-economico/15/15-263.pdf>

Moreiras. (s.f.). *Cajamar*.

Moreiras. (s.f.). *Cajamar*. Recuperado el Diciembre de 2018, de <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/publicaciones-periodicas/mediterraneo-economico/15/15-263.pdf>

N/N. (2016). *National Institutes of Health*. Recuperado el Noviembre de 2018, de <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Calcium-DatosEnEspanol/>

N/N. (2016). *National Institutes of Health*. Recuperado el Noviembre de 2018, de <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Calcium-DatosEnEspanol/>

N/N. (2017). *Pil Andina*. Recuperado el Diciembre de 2018, de Consumo de lacteos en Bolivia

Ochoa, D. *Evaluacion de glucosa, maltosa y trehalosa como agentes criofijadores de tejidos artificiales obtenidos por ingenieria tisular [Tesis Doctoral]*. Universidad de Granada, Granada.

Ochoa, D. S. (2010). *Tesis Doctoral*. Recuperado el Noviembre de 2018, de <https://hera.ugr.es/tesisugr/18676182.pdf>

Pachecho, L. *Determinacion de nutrientes en manzanas de las variedades fuji royal,*

*granny smith y fuji en frutos libres y afectados por bitter pit*. Universidad de Chile, Santiago.

Pirovani. (2009). *ResearchGate*. Recuperado el Mayo de 2019, de Características fisicoquímicas de los frutos de tres variedades de manzanas cultivadas en la región centro-este de la provincia de santa fe

Retamal, M. N. (2012). *Elaboracion de Mermelada Ligth de Durazno*. Recuperado el 15 de junio de 2018, de Pdf: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112185/Elaboracion-de-mermelada-light-de-durazno.pdf?sequence=3>

Retamal, N. *Elaboracion de mermelada Light de durazno*. Universidad de Chile, santiago.

Rodriguez, M. (2016). Efecto del mínimo procesamiento y tratamiento con yerba mate sobre el potencial saludable y los atributos de calidad de manzanas Granny Smith. *Innotec*.

Rodriguez, V. *Estrategia tecnologica sustentable para deshidratar frutas, verduras y legumbres*. Universidad Politecnica Tulancingo, España.

Rodriguez, V. G. (s.f.). *Books.google.es*. Recuperado el 01 de Noviembre de 2018, de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=cHMBbXTx5eMC&oi=fnd&pg=PA4&dq=antecedentes+de+la+deshidrataci%C3%B3n+de+frutas&ots=rclfQ3auoc&sig=29UGa1k-3-39vQ2HPpOioKiHObU#v=onepage&q=antecedentes%20de%20la%20deshidrataci%C3%B3n%20de%20frutas&f=false>

Ruiz, M. (2010). *Perdida de calidad en frutos manipulados en líneas industriales de confeccion*. Santiago.

S/N. (2014). Difusión y osmosis. *Bioted*.

S/N. (2015). Catedra de integración III- Tablas de vapor de agua. En s/n, *Catedra de integracion III*.

- S/N. (2015). Difusion - Ley de Fick. En S/N, *Termodinamica* (págs. 1-3).
- S/N. (Noviembre de 2017). *Fedefruta*. Recuperado el Julio de 2019, de <https://fedefruta.cl/consumo-mundial-de-frutas-deshidratadas-seria-de-4-millones-de-toneladas-en-2020/>
- S/N. (17 de Noviembre de 2017). *Latinoamerica*. Recuperado el julio de 2019, de <https://www.mundomaritimo.cl/noticias/cuatro-millones-de-toneladas-alcanzaria-el-mercado-mundial-de-frutas-deshidratadas-en-2020>
- S/N. (Abril de 2017). *Partesdefrutas*. Recuperado el Noviembre de 2018, de [https://www.partesdel.com/partes\\_de\\_la\\_manzana.html](https://www.partesdel.com/partes_de_la_manzana.html)
- Sanchez, C. (2011). Usos de procesos de secado e impregnacion para el desarrollo de alimentos funcionales: enriquecimiento de placas de manzana con beta-caroteno. *Lasallista*, 104 - 116.
- Sedó, P. (Julio de 2002). *Scielo*. Recuperado el Julio de 2019, de [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1409-14292002000100004](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292002000100004)
- Sevillano, E. *Influencia de los parametros en la deshidratacion de piña (Ananas comosus) fortificada con vitamina C*. Universidad tecnica del norte, Ibarra.
- Torregiani, D. a. (2003). *The role of an osmotic step: combined processes to improve quality and control functional properties in fruit and vegetables*.
- Uson. (2015). Tabla de propiedades termicas de los alimentos.
- Valencia. (2011). El calcio en el desarrollo de alimentos funcionales. *Revista Lasallista*, 3.
- Valencia, F. (2011). *Scielo*. Recuperado el Julio de 2020, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-44492011000100012](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-44492011000100012)
- Varela, G. (2010). *Evaluación del consumo de alimentos enriquecidos/fortificados en España a travez del panel de consumo alimenario*. Madrid: Jomagar.

Vasquez, M. (2018). *El deber*. Recuperado el Julio de 2019, de [https://eldeber.com.bo/dinero/importacion-de-frutas-crece-hasta-un-157\\_9887](https://eldeber.com.bo/dinero/importacion-de-frutas-crece-hasta-un-157_9887)

Velasquez, M. *Obtención de carbonato de calcio a partir de valvas residuales de caracol (Thais chocolata)*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa.

Vidal, C. (s/a). Alimentos enriquecidos y complementos alimenticios. En *Manual de Nutrición* (págs. 132 - 151).

Vidal, E. (2014). Tablas de transferencia calor y masa.

Vincent, J. F. (1991). Texture of plants and fruits. En *Feeding and texture of food* (págs. 19-33).

York, N. (2017). *Alimentos Funcionales en Estados Unidos*.

Yujra, M. *El efecto de la importación de manzanas y su incidencia en la producción nacional: periodo 2000-2016*. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz.

# **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**ESPECIFICACION DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN EL**  
**PROYECTO**

EQUIPOS	ESPECIFICACIONES	
<p data-bbox="298 268 526 296">Balanza Eléctrica</p> 	Marca	GIBERTINI
	Industria	Italia
	Tipo	EUROPE 500
	Capacidad para muestra	510g
	Rango de temperatura	10-40°C
	Tensión	120 V
	Frecuencia	50 Hz
	Error de precisión	0,001g
<p data-bbox="298 1018 558 1045">Agitador Magnético</p> 	Marca	J.P SELECTA S.A.
	Industria	España
	Tipo	WYA-1S
	Capacidad para muestra	13.5kg
	Rango de temperatura	0-350°C
	Tensión	115,230 V
	Potencia	44W
	Velocidad de Agitación	20-1500rpm
	Frecuencia	50/60 Hz
<p data-bbox="298 1822 581 1850">Refractómetro Digital</p>	Marca	ABBE

	Industria	E.E.U.U.
	Tipo	WYA-IS
	Capacidad para muestra	Area: 0,7cm x 3,5 cm
	Rango de medida	Índice refractivo; 1300-1700 +/- 0,0002 Brix Bx-TC: 0-95 % +/- 0,1% Brix Bx: 0-95 % +/-1%
	Tensión	220V +/- 20V/50Hz
	Lámpara de iluminación	6,3 V; 0,25A
	Rango de temperatura	0-50°C
	Rango correctivo de temperatura	15-45°C
Secador de tiro forzado	Marca	-
	Industria	-
	Modelo	-
	Capacidad	3 bandejas de 45cm de ancho y 38cm de alto
	Temperatura	60°C
	Velocidad	11,17 m/h
	Tensión	220 V
	Potencia total	1000W
	Medidas internas	Alto: 49cm Ancho: 54cm Profundidad: 41cm Area de entrada: 16x24,3cm Area de salida: 8x8cm
	Secador Infrarrojo	Marca
	Industria	Alemana

	Modelo	MA 100/MA 50
	Capacidad para muestra	5,0g
	Rango de temperatura	30-200°C
	Tensión de red	230 V
	Consumo máximo de corriente	700 V
	Frecuencia	48-60Hz
	Dimensiones	350x453x156mm
Selladora de Bolsas de Polietileno	Nombre	Selladora térmica
	Industria	Boliviana
	Nombre de la fabrica	Electrónica 2001
	Temporizador de sellado	10 s
	Potente	250 W
	Tensión	220 V
	Amperios	5 A
	Frecuencia	50 Hz

**ANEXO B**  
**EVALUACION ORGANOLEPTICA**

**TEST PARA ELEGIR EL PRODUCTO FINAL DEL PROYECTO DE GRADO**  
**“OBTENCION DE MANZANA DESHIDRATADA FORTIFICADA CON**  
**CALCIO”**

**NOMBRE:**

FECHA:

Tomando en cuenta la escala hedónica, pruebe por favor las siguientes muestras e indique su nivel de agrado o desagrado marcando con una “X” el punto que mejor describa su reacción para cada uno de los atributos.

- 1) Me gusta mucho
- 2) Me gusta poco
- 3) No me gusta ni me disgusta
- 4) Me disgusta poco
- 5) Me disgusta mucho

<b>Muestra</b>  <b>1</b>	<b>Atributo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	Olor					
	Color					
	Textura					
<b>Muestra</b>  <b>2</b>	<b>Atributo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	Olor					
	Color					
	Textura					
<b>Muestra</b>  <b>3</b>	<b>Atributo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	Olor					
	Color					
	Textura					
<b>Muestra</b>  <b>4</b>	<b>Atributo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	Olor					
	Color					
	Textura					
<b>Muestra</b>  <b>5</b>	<b>Atributo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	Olor					
	Color					
	Textura					
<b>Muestra</b>  <b>6</b>	<b>Atributo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	Olor					
	Color					
	Textura					
<b>Muestra</b>  <b>7</b>	<b>Atributo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
	Olor					
	Color					

	Textura					
	Sabor					
<b>Muestra</b>	<b>Atributo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>8</b>	Olor					
	Color					
	Textura					
	Sabor					

**ANEXO C**  
**DETERMINACIÓN DEL PROCESO DE DIFUSIÓN**

Cálculos para determinar el coeficiente de difusión

Se utilizó un modelo matemático a partir de la Ley de Fick la cual es la siguiente:

$$\log \left( \frac{q_t}{q_0} \right) = a - 4,286 \frac{D}{(2l)^2} \theta \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

$q_{\theta}$  = Cantidad de calcio por unidad de peso después de la impregnación

$q_0$  = Cantidad de calcio por unidad de peso antes de la impregnación.

$D$  = Constante de difusión a una temperatura dada.

$2l$  = Espesor de las láminas.

$\theta$  = Tiempo de impregnación

Para encontrar el coeficiente de difusión ( $D$ ), se debe encontrar el valor de  $\log(q/q_0)$  que es el logaritmo de la fracción de Calcio ( $Ca$ ) impregnado y para ello se requiere los 3 datos de calcio impregnado a 0h (Tabla IV-2), 2h y 4h (Tabla IV-14), con estos valores se debe encontrar el valor del porcentaje impregnado con la siguiente ecuación:

$$\%C_n = \frac{C_n}{C_s} \cdot 100 \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde  $C_n$  es el calcio impregnado a la 0h, 2h y 4h

$Ca_{0h} = 0,0032 \text{ g}$

$Ca_{2h} = 4,288 \text{ g}$

$Ca_{4h} = 5,94 \text{ g}$

Reemplazando los datos en la ecuación, se encontraron los siguientes valores:

$\% Ca_{0h} \text{ impregnado} = 0,053872054$

$\% Ca_{2h} \text{ impregnado} = 72,18855219$

$\% Ca_{4h} \text{ impregnado} = 100$

Una vez hecho esto se puede hallar la fracción de  $Ca$  impregnado con la siguiente relación:

$$F = \frac{C_n}{C_s} = \frac{1 - \frac{C_n}{C_s}}{1} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde  $C_n$  es el porcentaje de  $Ca$  impregnado, reemplazando los valores en la anterior relación se observa el siguiente resultado:

Fracción de  $Ca$  impregnado a 0h = 0,999461279

Fracción de  $Ca$  impregnado a 2h = 0,278114478

Fracción de  $Ca$  impregnado a 3h = 0

Posteriormente se saca el logaritmo de estos valores de fracción de calcio para luego graficar  $\log(q/q_0)$  vs tiempo y así encontrar la ecuación de la recta la cual nos dará

el valor de la pendiente y la constante de la función, con estos valores procedemos a reemplazar en la ecuación 1, esta operación esta detalla en la sección 4.2.1.1.

**ANEXO D**  
**INFORMES DE LABORATORIO**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"**

*Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales*

HERBARIO UNIVERSITARIO (T. B.)



Campus "El Tejar" - Tel. (591)-66-43121 - Fax: (591)-66-43403 - P.O. BOX 51 Tarija - Bolivia

Tarija, 27 de junio de 2019

Taxonomía del manzano, a favor de la señorita Abigail Yesenia Yucra Oquendo, para su trabajo de grado, en la Facultad de Ciencias y Tecnología.

Reino: Vegetal.  
Phylum: Tracheophytae.  
División: Tracheophytae.  
Subdivisión: Anthophyta.  
Clase: Angiospermae.  
Subclase: Dicotyledoneae  
Grado Evolutivo: Archichlamydeae  
Grupo de Ordenes: Corolinos  
Orden: Rosales  
Familia: Rosaceae  
Subflia.: Pomoideae  
Nombre científico: *Malus silvestris* Mill.  
Nombre común: Manzano

  
Ing. M.Sc. Ismael Acosta Galarza  
Encargado Herbario Universitario





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
 FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGÍA"  
 CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"  
 Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes  
 Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos  
 Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes  
 Laboratorio Oficial del "SENASAG"



CLAND FOR BB  
 Versión 01  
 Fecha de emisión: 2018-10-11

**INFORME DE ENSAYO**

**I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE**

Cliente:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo		
Solicitante:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo		
Dirección:	Calle O Connor N° 169		
Teléfono/Fax:	69333112	Carreo-e:	*****
		Código:	AL 027/20

**II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA**

Descripción de la muestra:	Manzana fresca		
Código de muestreo:	M1	Fecha de vencimiento:	*****
		Lote:	*****
Fecha y hora de muestreo:	2020-03-16		
Procedencia (Cantidad/Prove./ País):	Tarija - Cercado - Tarija Bolivia		
Lugar de muestreo:	Lugar de elaboración		
Responsable de muestreo:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo		
Código de la muestra:	148 FQ 098	Fecha de recepción de la muestra:	2020-09-11
Cantidad recibida:	358 g	Fecha de ejecución de ensayo:	De 2020-09-11 al 2020-09-28

**III. RESULTADOS**

PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITES PERMISIBLES		REFERENCIA DE LOS LÍMITES
				Min.	Max.	
Azúcares totales	NB 38033-06	%	6,56	Sin Referencia		Sin Referencia
Ceniza	NB 39034-10	%	0,11	Sin Referencia		Sin Referencia
Fibra	Gravimétrico	%	0,71	Sin Referencia		Sin Referencia
Grasa	NB 313019-06	%	0,14	Sin Referencia		Sin Referencia
Hidratos de Carbono	Cálculo	%	12,94	Sin Referencia		Sin Referencia
Humedad	NB 313010-05	%	85,61	Sin Referencia		Sin Referencia
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%	0,49	Sin Referencia		Sin Referencia
Valor energético	Cálculo	Kcal/100 g	54,98	Sin Referencia		Sin Referencia

NB: Norma Boliviana  
 %: porcentaje

CEANID: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo  
 DIO: Organización Interministerial de Normalización

- 1) Los resultados reportados se refieren a la muestra ensayada en el laboratorio.
- 2) El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID.
- 3) Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente.

Tarija, 28 de septiembre del 2020

Ing. *[Firma]*  
 Ing. **Andrés Aceituno Cáceres**  
 JEFE DEL CEANID

Original: Cliente  
 Copia: CEANID





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
 FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGÍA"  
 CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"  
 Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes  
 Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos  
 Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes  
 Laboratorio Oficial del "SENASAG"



CEANID-FOR 08  
 Versión 01  
 Fecha de emisión: 2016-10-31

## INFORME DE ENSAYO

### I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Cliente:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo		
Solicitante:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo		
Dirección:	Calle O' Connor N° 169		
Teléfono/Fax:	69333112	Correo-e:	*****
		Código:	AL 027/20

### II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción de la muestra:	Manzana deshidratada		
Código de muestreo:	M1	Fecha de vencimiento:	*****
		Lote:	*****
Fecha y hora de muestreo:	2020-03-16		
Procedencia (Localidad/Prov/Dpto):	Tarija - Cercado - Tarija Bolivia		
Lugar de muestreo:	Lugar de elaboración		
Responsable de muestreo:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo		
Código de la muestra:	149 FQ 099	Fecha de recepción de la muestra:	2020-09-11
Cantidad recibida:	77 g	Fecha de ejecución de ensayo:	De 2020-09-11 al 2020-09-28

### III. RESULTADOS

PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITES PERMISIBLES		REFERENCIA DE LOS LÍMITES
				Min.	Max.	
Azúcares totales	NB 38033-06	%	55,96	Sin Referencia		Sin Referencia
Calcio	Absorción Atómica	mg/100g	4288	Sin Referencia		Sin Referencia
Ceniza	NB 39034-10	%	10,80	Sin Referencia		Sin Referencia
Fibra	Gravimétrico	%	2,02	Sin Referencia		Sin Referencia
Grasa	NB 313019-06	%	0,49	Sin Referencia		Sin Referencia
Hidratos de Carbono	Cálculo	%	77,77	Sin Referencia		Sin Referencia
Humedad	NB 313010-05	%	7,60	Sin Referencia		Sin Referencia
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1-08	%	1,32	Sin Referencia		Sin Referencia
Valor energético	Cálculo	Kcal/100 g	320,77	Sin Referencia		Sin Referencia

NB: Norma Boliviana  
 %: porcentaje

NB: Norma Boliviana  
 g: gramos

\*\*\*: Opacidad del extracto acuoso de Muestras con  
 mg: Miligramos

- Los resultados reportados se refieren a la muestra ensayada en el Laboratorio
- El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID
- Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente

Tarija, 28 de septiembre del 2020

Ing. Gladys Aceituno Cáceres  
 JEFE DEL CEANID



Original Cliente  
 Copia CEANID



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
 FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGÍA"  
 CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"  
 Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes  
 Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos  
 Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes  
 Laboratorio Oficial del "SENASAG"



CEANID-FOR 08  
 Versión 01  
 Fecha de emisión: 2016-10-31

## INFORME DE ENSAYO

### I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Cliente:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo		
Solicitante:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo		
Dirección:	Calle O' Connor N° 169		
Teléfono/Fax:	69333112	Correo-e	*****
		Código	AL 041/20

### II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción de la muestra:	Manzana deshidratada		
Código de muestreo:	M <sup>2</sup>	Fecha de vencimiento:	*****
Lote:	*****		
Fecha y hora de muestreo:	2019-diciembre		
Procedencia (Localidad/Prov./ Depto):	Tarija - Cercado - Tarija Bolivia		
Lugar de muestreo:	Lugar de elaboración		
Responsable de muestreo:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo		
Código de la muestra:	233 FQ 164	Fecha de recepción de la muestra:	2020-10-01
Cantidad recibida:	88 g	Fecha de ejecución de ensayo:	De 2020-10-01 al 2020-10-16

### III. RESULTADOS

PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO * DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITES PERMISIBLES		REFERENCIA DE LOS LIMITES
				Min.	Max.	
Azúcares totales	NB 38033-06	%	60,74	Sin Referencia		Sin Referencia
Ceniza	NB 39034-10	%	13,22	Sin Referencia		Sin Referencia
Fibra	Gravimétrico	%	2,44	Sin Referencia		Sin Referencia
Grasa	NB 313019-06	%	0,29	Sin Referencia		Sin Referencia
Hidratos de Carbono	Cálculo	%	76,99	Sin Referencia		Sin Referencia
Humedad	NB 313010-05	%	6,41	Sin Referencia		Sin Referencia
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1-08	%	0,65	Sin Referencia		Sin Referencia
Valor energético	Cálculo	Kcal/100 g	313,17	Sin Referencia		Sin Referencia

NB Norma Boliviana  
% porcentaje

Act: Aceleración  
g gramos

ISO Organización Internacional de Normalización  
mg. Miligramos

- 1) Los resultados reportados se remiten a la muestra ensayada en el Laboratorio
- 2) El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID
- 3) Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente

Tarija, 16 de octubre del 2020

Ing. Agnoid Aceituno Cáceres  
 JEFE DEL CEANID



Original Cliente

Copia CEANID



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
 FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGÍA"  
 CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"  
 Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes  
 Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos  
 Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes  
 Laboratorio Oficial del "SENASAG"



CEANID-FOR 08  
 Versión 01  
 Fecha de emisión: 2016-10-31

## INFORME DE ENSAYO

### I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Cliente:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo		
Solicitante:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo		
Dirección:	Calle O' Connor N° 169		
Teléfono/Fax:	69333112	Correo-e	*****
		Código	AL 041/20

### II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción de la muestra:	Manzana deshidratada		
Código de muestreo:	M <sup>2</sup>	Fecha de vencimiento:	*****
Fecha y hora de muestreo:	2019-diciembre		
Procedencia (Localidad/Prov./ Depto):	Tarija - Cercado - Tarija Bolivia		
Lugar de muestreo:	Lugar de elaboración		
Responsable de muestreo:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo		
Código de la muestra:	233 FQ 164	Fecha de recepción de la muestra:	2020-10-01
Cantidad recibida:	88 g	Fecha de ejecución de ensayo:	De 2020-10-01 al 2020-10-16

### III. RESULTADOS

PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO * DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITES PERMISIBLES		REFERENCIA DE LOS LIMITES
				Min.	Max.	
Azúcares totales	NB 38033-06	%	60,74	Sin Referencia		Sin Referencia
Ceniza	NB 39034-10	%	13,22	Sin Referencia		Sin Referencia
Fibra	Gravimétrico	%	2,44	Sin Referencia		Sin Referencia
Grasa	NB 313019-06	%	0,29	Sin Referencia		Sin Referencia
Hidratos de Carbono	Cálculo	%	76,99	Sin Referencia		Sin Referencia
Humedad	NB 313010-05	%	6,41	Sin Referencia		Sin Referencia
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1-08	%	0,65	Sin Referencia		Sin Referencia
Valor energético	Cálculo	Kcal/100 g	313,17	Sin Referencia		Sin Referencia

NB Norma Boliviana  
% porcentaje      Act: Aceleración  
g gramos      DD: Diferencias Individuales de Repetibilidad  
mg. Miligramos

- 1) Los resultados reportados se remiten a la muestra ensayada en el Laboratorio
- 2) El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID
- 3) Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente

Tarija, 16 de octubre del 2020

Ing. Ceánid Aceituno Cáceres  
 JEFE DEL CEANID



Original Cliente

Copia CEANID



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
 FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGIA"  
 CENTRO DE ANALISIS, INVESTIGACION Y DESARROLLO "CEANID"  
 Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes  
 Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos  
 Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes  
 Laboratorio Oficial del "SENASAG"



CEANID-FOR-88  
 Versión: 03  
 Fecha de emisión: 2016-10-31

## INFORME DE ENSAYO

### I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Cliente:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo		
Solicitante:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo		
Dirección:	Calle O'Connor N° 169		
Teléfono/Fax:	69333112	Correo-e:	*****
		Código:	AL 027/20

### II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción de la muestra:	Manzana deshidratada		
Código de muestreo:	M2	Fecha de vencimiento:	*****
Fecha y hora de muestreo:	2020-03-16	Lote:	*****
Procedencia (Consumidor/Proveedor):	Tarija - Cercado - Tarija - Bolivia		
Lugar de muestreo:	Lugar de elaboración		
Responsable de muestreo:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo		
Código de la muestra:	150 FQ 100	Fecha de recepción de la muestra:	2020-09-11
Cantidad recibida:	10 g	Fecha de ejecución de ensayo:	Del 2020-09-11 al 2020-09-28

### III. RESULTADOS

PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITES PERMISIBLES		REFERENCIA DE LOS LIMITES
				Min.	Max.	
Calcio	Absorción Atómica	mg/100g	5940	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia

g: gramos

mg: Miligramos

- 1) Los resultados reportados se remiten a la muestra ensayada en el Laboratorio.
- 2) El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID.
- 3) Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente.

Tarija, 28 de septiembre del 2020

Ing. Thalid Aceltiano Cáceres  
 JEFE DEL CEANID



Original: Cliente

Copia: CEANID



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
 FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGIA"  
 CENTRO DE ANALISIS, INVESTIGACION Y DESARROLLO "CEANID"  
 Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes  
 Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos  
 Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes  
 Laboratorio Oficial del "SENASAG"



CEANID-FOM-08  
 Versión 01  
 Fecha de emisión: 2016-10-31

## INFORME DE ENSAYO

### I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Cliente:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo				
Solicitante:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo				
Dirección:	Calle O Connor N° 169				
Teléfono/Fax:	693333112	Correo-e	*****	Código	Al 027/20

### II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción de la muestra:	Manzana deshidratada				
Código de muestreo:	M3	Fecha de vencimiento:	*****	Lote:	*****
Fecha y hora de muestreo:	2020-03-16				
Procedencia (Localidad/Prov./País):	Tarija - Cercado - Tarija - Bolivia				
Lugar de muestreo:	Lugar de elaboración				
Responsable de muestreo:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo				
Código de la muestra:	151 FQ 101	Fecha de recepción de la muestra:	2020-09-11		
Cantidad recibida:	10 g	Fecha de ejecución de ensayo:	De 2020-09-11 al 2020-09-28		

### III. RESULTADOS

PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITES PERMISIBLES		REFERENCIA DE LOS LIMITES
				Min.	Max.	
Calcio	Absorción Atómica	mg/100g	3469	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia
g gramos		mg Miligramos				

- 1) Los resultados reportados se remiten a la muestra ensayada en el Laboratorio
- 2) El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID
- 3) Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente

Tarija, 28 de septiembre del 2020

  
 Ing. Gladis Aceituno Cáceres  
 JEFE DEL CEANID



Digital Diente

Copia CEANID



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
 FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGIA"  
 CENTRO DE ANALISIS, INVESTIGACION Y DESARROLLO "CEANID"  
 Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes  
 Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos  
 Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes  
 Laboratorio Oficial del "SENASAG"



## INFORME DE ENSAYO

### I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Cliente:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo			
Solicitante:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo			
Dirección:	Calle O Connor N° 169			
Teléfono/Fax:	69333112	Correo-e:	*****	Código: Al 027/20

### II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción de la muestra:	Manzana deshidratada		
Código de muestreo:	M4	Fecha de vencimiento:	*****
Lote:	*****		
Fecha y hora de muestreo:	2020-03-16		
Procedencia (Localidad/Prov./País):	Tarija - Cercado - Tarija Bolivia		
Lugar de muestreo:	Lugar de elaboración		
Responsable de muestreo:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo		
Código de la muestra:	152 FQ 102	Fecha de recepción de la muestra:	2020-09-11
Cantidad recibida:	10 g	Fecha de ejecución de ensayo:	De 2020-09-11 a 2020-09-28

### III. RESULTADOS

PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITES PERMISIBLES		REFERENCIA DE LOS LIMITES
				Min.	Max.	
Calcio	Absorción Atómica	mg/100g	4235	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia

- 1) Los resultados reportados se remiten a la muestra ensayada en el Laboratorio.  
 2) El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID.  
 3) Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente.

Tarija, 28 de septiembre del 2020

Ing. Gladys Aceituno Cáceres  
 JEFE DEL CEANID



Original: Cliente

Copia: CEANID





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
 FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGÍA"  
 CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"  
 Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes  
 Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos  
 Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes  
 Laboratorio Oficial del "SENASAG"



CEANID F08-08  
 Versión 01  
 Fecha de emisión: 2016-10-31

## INFORME DE ENSAYO

### I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Cliente:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo				
Solicitante:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo				
Dirección:	Calle O'Connor N° 169				
Teléfono/Fax:	69333112	Correo-e:	*****	Código:	AL 027/20

### II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción de la muestra:	Manzana deshidratada				
Código de muestreo:	M6	Fecha de vencimiento:	*****	Lote:	*****
Fecha y hora de muestreo:	2020-03-16				
Procedencia (Localidad/Provincia):	Tarija - Cercado - Tarija - Bolivia				
Lugar de muestreo:	Lugar de elaboración				
Responsable de muestreo:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo				
Código de la muestra:	154 FQ 104	Fecha de recepción de la muestra:	2020-09-11		
Cantidad recibida:	10 g	Fecha de ejecución de ensayo:	De 2020-09-11 al 2020-09-28		

### III. RESULTADOS

PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITES PERMISIBLES		REFERENCIA DE LOS LIMITES
				Min.	Max.	
Calcio: <small>g gramos</small>	Absorción Atómica	mg/100g <small>mg. Miligramos</small>	2478	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia

- 1) Los resultados reportados se remiten a la muestra ensayada en el Laboratorio.
- 2) El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID.
- 3) Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente.

Tarija, 28 de septiembre del 2020

  
 Ing. Acacia Aceituno Cáceres  
 JEFE DEL CEANID



Original Cliente

Copa CEANID



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
 FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGÍA"  
 CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"  
 Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes  
 Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos  
 Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes  
 Laboratorio Oficial del "SENASAG"



CEANID-FOR-08  
 Versión 01  
 Fecha de emisión: 2016-10-11

## INFORME DE ENSAYO

### I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Cliente:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo				
Solicitante:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo				
Dirección:	Calle O'Connor N° 169				
Teléfono/Fax:	69333112	Correo-e:	*****	Código:	AL 027/20

### II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción de la muestra:	Manzana deshidratada				
Código de muestreo:	M7	Fecha de vencimiento:	*****	Lote:	*****
Fecha y hora de muestreo:	2020-03-16				
Procedencia (Localidad/Prov./País):	Tarija - Cercado - Tarija Bolivia				
Lugar de muestreo:	Lugar de elaboración				
Responsable de muestreo:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo				
Código de la muestra:	155 FQ 105	Fecha de recepción de la muestra:	2020-09-11		
Cantidad recibida:	10 g	Fecha de ejecución de ensayo:	De 2020-09-11 al 2020-09-28		

### III. RESULTADOS

PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITES PERMISIBLES		REFERENCIA DE LOS LÍMITES
				Min.	Max.	
Calcio	Absorción Atómica	mg/100g	2239	Sin Referencia		Sin Referencia
g. gramos		mg. Miligramo				

- Los resultados reportados se refieren a la muestra ensayada en el Laboratorio.
- El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID.
- Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el Cliente.

Tarija, 28 de septiembre del 2020

  
 Ing. Analit. Aceituno Cáceres  
 JEFE DEL CEANID



Original Cliente  
 Copia CEANID



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"  
 FACULTAD DE "CIENCIAS Y TECNOLOGÍA"  
 CENTRO DE ANÁLISIS, INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO "CEANID"  
 Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Deportes  
 Red de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos  
 Red Nacional de Laboratorios de Micronutrientes  
 Laboratorio Oficial del "SENASAG"



## INFORME DE ENSAYO

### I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Cliente:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo				
Solicitante:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo				
Dirección:	Calle O'Connor N° 169				
Teléfono/Fax:	69333112	Correo-e:	*****	Código:	AL 027/20

### II. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Descripción de la muestra:	Manzana deshidratada				
Código de muestreo:	M8	Fecha de vencimiento:	*****	Lote:	*****
Fecha y hora de muestreo:	2020-03-16				
Procedencia (Localidad/Prov/Dpto):	Tarija - Cercado - Tarija - Bolivia				
Lugar de muestreo:	Lugar de elaboración				
Responsable de muestreo:	Abigail Yesenia Yucra Oquendo				
Código de la muestra:	156 FQ 106	Fecha de recepción de la muestra:	2020-09-11		
Cantidad recibida:	10 g	Fecha de ejecución de ensayo:	De 2020-09-11 al 2020-09-28		

### III. RESULTADOS

PARÁMETRO	TECNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	LIMITES PERMISIBLES		REFERENCIA DE LOS LIMITES
				Min.	Max.	
Calcio	Absorción Atómica	mg/100g	3769	Sin Referencia	Sin Referencia	Sin Referencia

- 1) Los resultados reportados se remiten a la muestra ensayada en el Laboratorio.  
 2) El presente informe solo puede ser reproducido en forma parcial y/o total, con la autorización del CEANID.  
 3) Los datos de la muestra y el muestreo, fueron suministrados por el cliente.

Tarija, 28 de septiembre del 2020

Ing. Walid Aceituno Cáceres  
 JEFE DEL CEANID



Original: Cliente  
 Copia: CEANID

**ANEXO E**  
**TABLAS DE TEMPERATURAS Y CALOR ESPECÍFICO**

TABLA A-4E

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °F	Pres. sat., $P_{sat}$ psia	Volumen específico, ft <sup>3</sup> /lbm		Energía interna, Btu/lbm			Entalpía, Btu/lbm			Entropía, Btu/lbm · R		
		Liq. sat., $v_f$	Vapor sat., $v_g$	Liq. sat., $u_f$	Evap., $u_g$	Vapor sat., $u_g$	Liq. sat., $h_f$	Evap., $h_g$	Vapor sat., $h_g$	Liq. sat., $s_f$	Evap., $s_g$	Vapor sat., $s_g$
32.018	0.08871	0.01602	3299.9	0.000	1021.0	1021.0	0.000	1075.2	1075.2	0.00000	2.18672	2.1867
35	0.09998	0.01602	2945.7	3.004	1019.0	1022.0	3.004	1073.5	1076.5	0.00609	2.17011	2.1762
40	0.12173	0.01602	2443.6	8.032	1015.6	1023.7	8.032	1070.7	1078.7	0.01620	2.14271	2.1589
45	0.14756	0.01602	2035.8	13.05	1012.2	1025.3	13.05	1067.8	1080.9	0.02620	2.11687	2.1421
50	0.17812	0.01602	1703.1	18.07	1008.9	1026.9	18.07	1065.0	1083.1	0.03609	2.08956	2.1256
55	0.21413	0.01603	1430.4	23.07	1005.5	1028.6	23.07	1062.2	1085.3	0.04586	2.06377	2.1096
60	0.25638	0.01604	1206.1	28.08	1002.1	1030.2	28.08	1059.4	1087.4	0.05554	2.03847	2.0940
65	0.30578	0.01604	1022.8	33.08	998.76	1031.8	33.08	1056.5	1089.6	0.06511	2.01366	2.0788
70	0.36334	0.01605	867.18	38.08	995.39	1033.5	38.08	1053.7	1091.8	0.07459	1.98931	2.0639
75	0.43016	0.01606	739.27	43.07	992.02	1035.1	43.07	1050.9	1093.9	0.08398	1.96541	2.0494
80	0.50745	0.01607	632.41	48.06	988.65	1036.7	48.07	1048.0	1096.1	0.09328	1.94196	2.0352
85	0.59659	0.01609	542.80	53.06	985.28	1038.3	53.06	1045.2	1098.3	0.10248	1.91892	2.0214
90	0.69904	0.01610	467.40	58.05	981.90	1040.0	58.05	1042.4	1100.4	0.11161	1.89630	2.0079
95	0.81643	0.01612	403.74	63.04	978.52	1041.6	63.04	1039.5	1102.6	0.12065	1.87408	1.9947
100	0.95052	0.01613	349.83	68.03	975.14	1043.2	68.03	1036.7	1104.7	0.12961	1.85225	1.9819
110	1.2767	0.01617	264.96	78.01	968.36	1046.4	78.02	1031.0	1109.0	0.14728	1.80570	1.9570
120	1.6951	0.01620	202.94	88.00	961.56	1049.6	88.00	1025.2	1113.2	0.16466	1.76856	1.9332
130	2.2260	0.01625	157.09	97.99	954.73	1052.7	97.99	1019.4	1117.4	0.18174	1.72877	1.9105
140	2.8931	0.01629	122.81	107.98	947.87	1055.9	107.99	1013.6	1121.6	0.19855	1.69024	1.8888
150	3.7234	0.01634	96.929	117.98	940.98	1059.0	117.99	1007.8	1125.7	0.21508	1.65291	1.8680
160	4.7474	0.01639	77.185	127.98	934.05	1062.0	128.00	1001.8	1129.8	0.23136	1.61670	1.8481
170	5.9999	0.01645	61.982	138.00	927.08	1065.1	138.02	995.88	1133.9	0.24739	1.58155	1.8289
180	7.5197	0.01651	50.172	148.02	920.06	1068.1	148.04	989.86	1137.9	0.26318	1.54741	1.8106
190	9.3497	0.01657	40.920	158.05	912.99	1071.0	158.08	983.76	1141.8	0.27874	1.51421	1.7930
200	11.538	0.01663	33.613	168.10	905.87	1074.0	168.13	977.60	1145.7	0.29409	1.48191	1.7760
210	14.136	0.01670	27.798	178.15	898.68	1076.8	178.20	971.35	1149.5	0.30922	1.45046	1.7597
212	14.709	0.01671	25.782	180.16	897.24	1077.4	180.21	970.09	1150.3	0.31222	1.44427	1.7565
220	17.201	0.01677	23.136	188.22	891.43	1079.6	188.28	965.02	1153.3	0.32414	1.41980	1.7439
230	20.795	0.01684	19.374	198.31	884.10	1082.4	198.37	958.59	1157.0	0.33887	1.39689	1.7288
240	24.985	0.01692	15.316	208.41	876.70	1085.1	208.49	952.06	1160.5	0.35342	1.36669	1.7141
250	29.844	0.01700	13.816	218.54	869.21	1087.7	218.63	945.41	1164.0	0.36779	1.33216	1.6999
260	35.447	0.01708	11.760	228.68	861.62	1090.3	228.79	938.65	1167.4	0.38198	1.30425	1.6862
270	41.877	0.01717	10.059	238.85	853.94	1092.8	238.98	931.76	1170.7	0.39601	1.27694	1.6730
280	49.222	0.01726	8.6439	249.04	846.16	1095.2	249.20	924.74	1173.9	0.40989	1.25018	1.6601
290	57.573	0.01735	7.4607	259.26	838.27	1097.5	259.45	917.57	1177.0	0.42361	1.22393	1.6475
300	67.028	0.01745	6.4663	269.51	830.25	1099.8	269.73	910.24	1180.0	0.43720	1.19818	1.6354
310	77.691	0.01755	5.6266	279.79	822.11	1101.9	280.05	902.75	1182.8	0.45065	1.17289	1.6235
320	89.667	0.01765	4.9144	290.11	813.84	1104.0	290.40	895.09	1185.5	0.46396	1.14802	1.6120
330	103.07	0.01776	4.3076	300.46	805.43	1105.9	300.80	887.25	1188.1	0.47716	1.12355	1.6007
340	118.02	0.01787	3.7885	310.85	796.87	1107.7	311.24	879.22	1190.5	0.49024	1.09945	1.5897
350	134.63	0.01799	3.3425	321.29	788.16	1109.4	321.73	870.98	1192.7	0.50321	1.07570	1.5789
360	153.03	0.01811	2.9580	331.76	779.28	1111.0	332.28	862.53	1194.8	0.51607	1.05227	1.5683
370	173.35	0.01823	2.6252	342.29	770.23	1112.5	342.88	853.86	1196.7	0.52884	1.02914	1.5580
380	195.74	0.01836	2.3361	352.87	761.00	1113.9	353.53	844.96	1198.5	0.54152	1.00628	1.5478
390	220.33	0.01850	2.0842	363.50	751.58	1115.1	364.25	835.81	1200.1	0.55411	0.98366	1.5378

TABLAS Y DIAGRAMA DE PROPIEDADES (S.I.)

**TABLA A-7**

Propiedades de alimentos comunes (conclusión)  
b) Otras propiedades

Alimento	Contenido de agua, % (masa)	Temperatura, T °C	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Conductividad térmica, k/W/m · °C	Difusividad térmica, $\alpha$ m <sup>2</sup> /s	Calor específico, $c_p$ kJ/kg · K
<b>Frutas/Vegetales</b>						
Manzana, jugo de	87	20	1 000	0.559	$0.14 \times 10^{-6}$	3.86
Manzanas	85	8	840	0.418	$0.13 \times 10^{-6}$	3.81
Manzanas secas	41.6	23	856	0.219	$0.096 \times 10^{-6}$	2.72
Chabacanos secos	43.6	23	1 320	0.375	$0.11 \times 10^{-6}$	2.77
Plátanos frescos	76	27	980	0.481	$0.14 \times 10^{-6}$	3.59
Brócoli	—	-6	560	0.385	—	—
Moras frescas	92	0-30	1 050	0.545	$0.13 \times 10^{-6}$	3.99
Higos	40.4	23	1 241	0.310	$0.096 \times 10^{-6}$	2.69
Toronja, jugo de	89	20	1 000	0.567	$0.14 \times 10^{-6}$	3.91
Duraznos	89	2-32	960	0.526	$0.14 \times 10^{-6}$	3.91
Ciruelas	—	-16	610	0.247	—	—
Membrillos	—	—	—	—	—	—
Papas	78	0-70	1 055	0.498	$0.13 \times 10^{-6}$	3.64
Pasas	32	23	1 380	0.376	$0.11 \times 10^{-6}$	2.48
<b>Carnes</b>						
Res, bistec de	67	6	950	0.406	$0.13 \times 10^{-6}$	3.36
Res, carne magra de	74	3	1 090	0.471	$0.13 \times 10^{-6}$	3.54
Res, carne grasosa de	0	35	810	0.190	—	—
Res, hígado de	72	35	—	0.448	—	3.49
Gatos, alimento para	39.7	23	1 140	0.326	$0.11 \times 10^{-6}$	2.68
Pollo, pechuga de	75	0	1 050	0.476	$0.13 \times 10^{-6}$	3.56
Perros, alimento para	30.6	23	1 240	0.319	$0.11 \times 10^{-6}$	2.45
Bacalao	81	3	1 180	0.534	$0.12 \times 10^{-6}$	3.71
Salmón	67	3	—	0.531	—	3.36
Jamón	71.8	20	1 030	0.480	$0.14 \times 10^{-6}$	3.48
Cordero	72	20	1 030	0.456	$0.13 \times 10^{-6}$	3.49
Puerco, carne magra	72	4	1 030	0.456	$0.13 \times 10^{-6}$	3.49
Pavo, pechuga de	74	3	1 050	0.496	$0.13 \times 10^{-6}$	3.54
Ternera	75	20	1 060	0.470	$0.13 \times 10^{-6}$	3.56
<b>Otros</b>						
Mantequilla	16	4	—	0.197	—	2.08
Chocolate, pastel de	31.9	23	340	0.106	$0.12 \times 10^{-6}$	2.48
Margarina	16	5	1 000	0.233	$0.11 \times 10^{-6}$	2.08
Leche descremada	91	20	—	0.566	—	3.96
Leche entera	88	28	—	0.580	—	3.89
Olivo, aceite de	0	32	910	0.168	—	—
Cacahuete, aceite de	0	4	920	0.168	—	—
Agua	100	0	1 000	0.569	$0.14 \times 10^{-6}$	4.217
	100	30	995	0.618	$0.15 \times 10^{-6}$	4.178
Pastel blanco	32.3	23	450	0.082	$0.10 \times 10^{-6}$	2.49

Fuente: Los datos se obtuvieron principalmente del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE, versión en el SI (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), Cap. 30, tablas 7 y 9. Usado con autorización.

La mayor parte de los calores específicos se calculan a partir de  $c_p = 1.68 + 2.51 \times (\text{contenido de agua})$ , lo cual es una buena aproximación en el rango de temperatura de 3 hasta 32°C. La mayor parte de las difusividades térmicas se calculan a partir de  $\alpha = k/\rho c_p$ . Los valores patentados dados son válidos para el contenido específico de agua.

**ANEXO F**  
**FOTOGRAFIAS**

LAVADO, CORTADO Y PESADO DE LA MATERIA PRIMA



PREPARACION DE LA SOLUCION ISOTONICA



IMPREGNACION DE CALCIO EN LAS LAMINAS DE MANZANA



LAMINAS IMPREGNADAS DE MANZANA



DESHIDRATACION DE LAS LAMINAS DE MANZANA IMPREGNADAS CON CALCIO



PESADO CADA 30MIN DE LAS LAMINAS DE MANZANA IMPREGNADAS EN EL SECADOR DE TIRO FORZADO



## MANZANA DESHIDRATADA FORTIFICADA CON CALCIO



## EVALUACION ORGANOLEPTICA DEL PRODUCTO FINAL

