



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



“EFECTO DEL MÉTODO DE LIOFILIZACIÓN, DENSIDAD DE CARGA Y TEMPERATURA DE PLACA EN LA DE FRESA (*Fragaria vesca L.*) DESHIDRATADA”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

TESISTAS:

Bach. Ing. MIRELLA YANET COLCHADO IRCAÑAUPA  
Bach. Ing. ARELIS ELISA VELASQUEZ AGUILAR

ASESOR:

Dr. GILBERT NILO RODRIGUEZ PAUCAR

NUEVO CHIMBOTE - PERÚ  
2015

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
OFICINA CENTRAL DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN  
N° de Ingreso: 030730 HORA:

Fecha de Ingreso: \_\_\_\_\_

Firma

*"Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación"*

**HOJA DE CONFORMIDAD DE ASESOR**

El presente trabajo de tesis titulado:

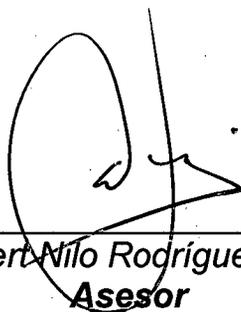
**"EFECTO DEL METODO DE LIOFILIZACION, DENSIDAD DE CARGA Y TEMPERATURA DE PLACA EN LA CALIDAD DE FRESA (Fragaria Vesca L.) DESHIDRATADA"**

Ha contado con el asesoramiento respectivo, de quien dejó constancia de su aprobación.

Por tal motivo, firmo el presente trabajo en calidad de ASESOR, designado mediante Resolución Decanatural N° 926-2014 – UNS – FI

Sin otro particular reitero a usted los sentimientos de mi especial estima.

Atentamente,



---

*Dr. Gilbert Nilo Rodríguez Paucar*  
**Asesor**

*"Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación"*

**HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO**

TITULO:

**"EFECTO DEL METODO DE LIOFILIZACION, DENSIDAD DE CARGA Y TEMPERATURA DE PLACA EN LA CALIDAD DE FRESA (Fragaria Vesca L.) DESHIDRATADA"**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL.

Revisado y aprobado por el jurado evaluador, designado mediante Resolución N° 458-2015 – UNS – CFI



Ms. Saúl Eusebio Lara  
**Presidente**



Ms. Daniel Sánchez Vaca  
**Secretario**



Dr. Gilbert Rodríguez Paucar  
**Integrante**

## **DEDICATORIA**

*A mis queridos padres Reynaldo y Margarita,  
a quienes doy muchas gracias por su apoyo incondicional  
y los sabios consejos que me brindan en cada etapa de mi vida  
dándome ánimo y fuerza para vencer los obstáculos  
y lograr mis objetivos propuestos.*

*A mis hermanas Issela y Yaritza,  
mi hermano Brayan y mi sobrina Dafne  
a quienes quiero mucho y doy gracias  
por brindar alegría en mi vida.*

**MIRELLA**

## AGRADECIMIENTO

*Agradecer de manera especial a mi asesor DR. GILBERT NILO RODRÍGUEZ PAUCAR, por su incondicional apoyo en todo momento para la realización y culminación de ésta Tesis.*

*A los docentes de la Facultad de Ingeniería por sus enseñanzas durante mi formación académica y profesional.*

*A mis amigas por su amistad incondicional, apoyo, confianza y consejos.*

**MIRELLA**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres Nicanor y Julia, aunque mi padre ya no esté presente yo sé que siempre estará acompañándome. Al esfuerzo y amor incondicional de mi madre, por hacer posible que me realice como profesional.*

*A mis hermanos: Guiler, Melsi, Lisbeth y Herlin; a mis sobrinos: Dariend, Isaias, Maria Julia, Valentino y Mayte; que con su cariño y apoyo me dan fuerza para seguir adelante; por ultimo para Edilberto a quien respeto, admiro y quiero como a un Padre.*

*ARELIS*

## AGRADECIMIENTO

*Mi agradecimiento a Dios, por todo este tiempo de bendiciones.*

*Gracias al apoyo de mi familia.*

*Agradecer de manera especial a mi asesor **Dr. Gilbert Nilo Rodríguez Paucar**, por su incondicional apoyo en todo momento para la realización y culminación de ésta Tesis. A los docentes de la E.A.P Ingeniería Agroindustrial por sus enseñanzas durante nuestra formación académica y profesional. A La Srta. Silvia por concederme toda la bibliografía necesaria para la realización de este informe de Tesis.*

*Mi total agradecimiento a mi amiga y compañera de Tesis Mirella, por su apoyo incondicional y el esfuerzo de haber logrado nuestra meta.*

*A mis amigas y compañeros por cada momento compartido.*

*ARELIS*

# ÍNDICE

## RESUMEN

I. INTRODUCCIÓN	12
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. Fresa	13
2.1.1. Cosecha y post cosecha	13
2.1.1.1. Estado de madurez	14
2.1.1.2. Manejo durante la cosecha	14
2.1.1.3. Manejo post cosecha	15
2.1.1.4. Problemas en post cosecha	15
2.1.1.4.1. Deshidratación o pérdida de peso	15
2.1.1.4.2. Daño mecánico	16
2.1.1.4.3. Enfermedades	16
2.1.2. Composición nutricional	17
2.1.3. Estudio de mercado de la fresa	18
2.1.3.1. Evolución de las exportaciones peruanas	18
2.1.3.2. Producción nacional por regiones	19
2.1.3.3. Principales empresas exportadoras peruanas	19
2.1.3.4. Principales mercados de destino	20
2.1.3.5. Principales exportadores mundiales	21
2.1.3.6. Principales importadores mundiales	22
2.2. Liofilización	22
2.2.1. Desarrollo histórico	24
2.2.2. Teoría de liofilización	27
2.2.3. Etapas de la liofilización	29
2.2.4. Transferencia de calor y materia	33
2.2.5. Equipo de liofilización	36
2.2.6. Efecto sobre los alimentos	39
III. MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1. Lugar de ejecución	41
3.2. Materiales	41
3.3. Métodos	50
3.3.1. Métodos de análisis	50

3.3.1.1.	Determinación de humedad	50
3.3.1.2.	Determinación de SS (Brix)	50
3.3.1.3.	Determinación contenido de cenizas	50
3.3.1.4.	Determinación fibra dietética total	50
3.3.1.5.	Determinación de Vitamina C	50
3.3.1.6.	Determinación ph y acidez valorable	51
3.3.1.7.	Determinación de color	51
3.3.1.8.	Determinación higroscopicidad	51
3.3.1.9.	Determinación capacidad de rehidratación	51
3.3.2.	Procedimiento	52
3.3.3.	Diseño experimental	56
3.3.4.	Diseño estadístico	57
IV.	RESULTADOS	58
4.1.	Caracterización de la fresa fresca	58
4.2.	Resultados del proceso de liofilización	60
4.3.	Evaluación de la calidad de la fresa liofilizada	62
4.3.1.	Color	62
4.3.2.	Humedad	66
4.3.3.	Capacidad de rehidratación	69
4.3.4.	Higroscopicidad	72
4.3.5.	Vitamina C	75
V.	CONCLUSION	78
VI.	RECOMENDACIONES	80
VII.	REFERENCIAS BLIOGRÁFICAS	81

## ANEXOS

## INDICE DE IMÁGENES

<b>FIGURA 01.</b> Fresas con color adecuado para la cosecha	14
<b>FIGURA 02.</b> Diagrama de fases del agua	28
<b>FIGURA 03.</b> Etapas de la liofilización	29
<b>FIGURA 04.</b> Etapas de deshidratación en la liofilización	34
<b>FIGURA 05.</b> Transferencia de masa durante el proceso de liofilización	35
<b>FIGURA 06.</b> Elementos básicos de un sistema de liofilización por contacto	38
<b>FIGURA 07.</b> Estructura porosa de un alimento liofilizado	40
<b>FIGURA 08.</b> Liofilizador	43
<b>FIGURA 09.</b> Espectrofotómetro uv-visible	43
<b>FIGURA 10.</b> Equipo para analizar fibra	44
<b>FIGURA 11.</b> Colorímetro triestimulo	44
<b>FIGURA 12.</b> Balanza analítica	45
<b>FIGURA 13.</b> Centrifuga	45
<b>FIGURA 14.</b> Estufa	46
<b>FIGURA 15.</b> Refrigeradora LG	46
<b>FIGURA 16.</b> Cámara de humedad y temperatura constante	47
<b>FIGURA 17.</b> Sensores Data Trace	47
<b>FIGURA 18.</b> Multiparametro	48
<b>FIGURA 19.</b> Mufla	48
<b>FIGURA 20.</b> Baño de María	49
<b>FIGURA 21.</b> Refractómetro	49
<b>FIGURA 22.</b> Diagrama de flujo experimental	52
<b>FIGURA 23.</b> Cosecha de la fresa	53
<b>FIGURA 24.</b> Selección de la fresa	53
<b>FIGURA 25.</b> Cortado longitudinal de la fresa	54
<b>FIGURA 26.</b> Fresas embolsadas para la congelación	54
<b>FIGURA 27.</b> Fresa liofilizada	55
<b>FIGURA 28.</b> Diagrama del diseño experimental	56

## INDICE DE CUADROS

<b>CUADRO 01.</b> Condiciones óptimas en post Cosecha	15
<b>CUADRO 02.</b> Composición de la fresa por 100 g de porción comestible	17
<b>CUADRO 03.</b> Evolución de las Exportaciones de Fresa fresca	18
<b>CUADRO 04.</b> Producción Nacional de fresa por Regiones (Tn)	19
<b>CUADRO 05.</b> Estacionalidad de la Producción	19
<b>CUADRO 06.</b> Empresas exportadoras de fresa fresca	20
<b>CUADRO 07.</b> Destinos Comerciales de la fresa fresca	21
<b>CUADRO 08.</b> Países Exportadores de fresa (Miles de US\$)	21
<b>CUADRO 09.</b> Países Importadores de fresa (Miles de US\$)	22
<b>CUADRO 10.</b> Ventajas y desventajas de la liofilización	23
<b>CUADRO 11.</b> Codificación de los tratamientos realizados a la fresa	57
<b>CUADRO 12.</b> Características fisicoquímicas y composición de la fresa variedad "Camarosa".	58
<b>CUADRO 13.</b> Resumen de tiempos y velocidad de congelación	60
<b>CUADRO 14.</b> Parámetros colorimétricos de la fresa liofilizada	62
<b>CUADRO 15.</b> Resultados de humedad de la fresa liofilizada (%)	66
<b>CUADRO 16.</b> Capacidad de rehidratación de la fresa liofilizada	69
<b>CUADRO 17.</b> Higroscopicidad de la fresa liofilizada (g agua/g m.s.)	72
<b>CUADRO 18.</b> Vitamina C de la fresa liofilizada por 100g de producto	75

## INDICE DE GRAFICOS

<b>GRAFICO 01.</b> Comparación del tiempo de sublimación de los métodos de liofilización	61
<b>GRAFICO 02.</b> Comparación del tiempo de sublimación de las densidades de carga	62
<b>GRAFICO 03.</b> Gráfico de medias de temperatura de placa vs luminosidad	64
<b>GRAFICO 04.</b> Gráfico de medias de temperatura de placa vs a*	65
<b>GRAFICO 05.</b> Gráfico de medias de temperatura de placa vs b*	65
<b>GRAFICO 06.</b> Gráfico de medias Método de Liofilización vs Luminosidad	66
<b>GRAFICO 07.</b> Gráfico de medias de humedad vs método de liofilización	68
<b>GRAFICO 08.</b> Gráfico de medias de humedad vs densidad de carga	69
<b>GRAFICO 09.</b> Gráfico de medias de humedad vs temperatura de placa	69
<b>GRAFICO 10.</b> Capacidad de rehidratación de la fresa liofilizada	71
<b>GRAFICO 11.</b> Gráfico de medias del método de liofilización y CR	72
<b>GRAFICO 12.</b> Higroscopicidad de la fresa liofilizada	74
<b>GRAFICO 13.</b> Gráfico de medias del método de liofilización vs higroscopicidad	75
<b>GRAFICO 14.</b> Gráfico de medias de temperatura de placa vs higroscopicidad	75
<b>GRAFICO 15.</b> Gráfico de medias Densidad de Carga vs Vitamina C	77
<b>GRAFICO 16.</b> Gráfico de medias temperaturas de placa vs Vitamina C	78

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia del método de liofilización, densidad de carga y temperatura de placa en la calidad de la fresa deshidratada, para evaluar la calidad se analizó la higroscopicidad, capacidad de rehidratación, color y retención de vitamina C en la fresa liofilizada.

Las fresas analizadas para esta investigación fueron de la variedad Camarosa obtenidas del Valle Rinconada, situada en la provincia del Santa; el estudio se realizó en el Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial (IITA) de la Universidad Nacional del Santa.

Para eliminar diferencias por factores de cosecha, se decidió realizar los doce tratamientos de un solo lote. Una vez transportada la materia prima al IITA se procedió a separar las fresas que no presenten daños físicos, luego se lavaron sumergiéndolas en agua potable, después de esto se procedió a cortar el pedúnculo para finalmente hacerles un corte longitudinal con espesores de  $1.15 \pm 0.02$  cm y  $1.8 \pm 0.02$  cm, medidas con un vernier. En la etapa de liofilización se definió dos métodos; el método convencional donde la etapa de congelación se realizó a presión atmosférica y para el método rápido la congelación se realizó a presión de vacío de 77,750 Pa a 77,800 Pa; finalmente se programó tres temperaturas de placa para la etapa de sublimación ( $0^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$  y  $10^{\circ}\text{C}$ ) para ambos métodos.

En cuanto a los parámetros de calidad evaluados en esta investigación se observó que el tratamiento nueve, que consiste en método rápido, temperatura de placa de  $-10^{\circ}\text{C}$  y densidad de carga de  $6 \text{ kg/m}^2$ , presentó mejores resultados para la fresa liofilizada, obteniendo como resultado en color un  $L=35.55$ ,  $a^*=39.3$ , y  $b^*=20.33$ , humedad de 6.67%, capacidad de rehidratación  $3.2375 \text{ kg de agua/kg m.s.}$ , higroscopicidad  $0.2053 \text{ g de agua/ g m.s.}$  y 70.6 % en retención de vitamina C, además se obtuvo una velocidad de congelación de  $1.13^{\circ}\text{C/min}$  y un tiempo de liofilización de 20.9 horas.

Los resultados evidenciaron, que para la fresa por ser un producto de estructura delicada el método rápido fue el óptimo, ya que obtuvo buenas características de apariencia en la rehidratación.

## I. INTRODUCCIÓN

La conservación de productos biológicos o de sustancias destinadas a la alimentación, fueron y siguen siendo un problema de difícil resolución. La extrema complejidad de estos productos y su grado de hidratación elevados, los hacen muy sensibles a las condiciones externas. El conocimiento de las propiedades del frío como preservador, abrió nuevos horizontes, teniendo en cuenta que la actividad bacteriana era frenada en su desarrollo, aunque la actividad enzimática en muchos casos presente y los fenómenos oxidativos de las fracciones susceptibles, permiten solo una corta preservación.

Se puede acrecentar la estabilidad transformando el agua en hielo, es decir congelando, fenómeno que disminuye la actividad enzimática, pero aún los fenómenos oxidativos continúan modificando las características del producto. Aunque la congelación nos asegura una conservación de larga duración en la mayoría de los productos alterables, la provisión continua de frío es un problema técnico de muy difícil resolución. Buena parte de las reacciones químicas relacionadas con la vida y con la degradación de sustratos, transcurren en solución acuosa, el reducir la actividad del agua las retarda hasta detenerlas.

La mejor solución es la eliminación total del agua contenida en el espécimen, la desecación directa es impracticable por lo tanto se recurre a la criodesecación al vacío ó liofilización, que no es más que la extracción de agua de un producto previamente congelado, en forma de vapor; es decir se produce el fenómeno denominado sublimación donde el hielo en estado sólido en condiciones de baja presión pasa a vapor sin pasar por el estado líquido intermedio. El proceso comienza con la fase de congelación continua con la fase de secado primario y finaliza con el secado secundario.

## II. REVISION BIBLIOGRÁFICA.

### 2.1. Fresa

La fresa proviene de una hierba casi sin tallo, de hasta 30 cm de altura, perteneciente a la familia de las Rosaceae. Su tálamo, convexo y comestible, es rojo, dulce, aromático, carnosos, succulento y lleva numerosos frutitos secos (aquinos) sobre su superficie, constituyendo un fruto agregado (eterio). Sus flores son blancas o amarillentas, de inflorescencia en glomérulos racimosos. Sus hojas son rombo-aovadas, pubescentes. Se conocen más de 20 especies de *Fragaria*. Las variedades cultivadas comercialmente son por lo general híbridos, en especial *Fragaria vesca*. (Encyclopedia Britanica, 2010 citado por Mosquera L., 2010)

Es una especie tradicionalmente utilizada en la mayoría de las culturas distribuidas por todo el mundo y esta gran aceptación se ve reflejada en sus variadas formas de consumo y posibilidades de transformación para el desarrollo de nuevos productos derivados. Sin embargo, al ser una fruta estacional y altamente perecedera, su consumo en fresco se encuentra muy condicionado. En este sentido, es una de las frutas que se comercializa en la mayor parte de productos procesados derivados de ella, como zumos, mermeladas, yogures, batidos, etc. (Mosquera L., 2010)

#### 2.1.1. Cosecha y Post cosecha

La frutilla se clasifica como un fruto no climatérico, es decir no mejora su calidad gustativa después de cosechada, sólo aumenta el color y disminuye la firmeza. Se caracteriza por poseer una elevada tasa respiratoria, por lo que se asocia a una corta vida de almacenamiento.

La frutilla presenta una epidermis delgada, gran porcentaje de agua, y alto metabolismo, lo cual la hace muy perecible y expuesta al deterioro causado por daño mecánico o por microorganismos. Por lo cual el manejo de cosecha y poscosecha debe ser cuidadoso, para obtener una fruta de buena calidad. ( Undurraga P. y Vargas S., 2013)

### **2.1.1.1. Estado de Madurez**

El índice de madurez es el color, es decir, se comenzará la recolección cuando el fruto ha adquirido el color típico de la variedad, al menos 2/3 a 3/4 de su color rojo (Figura 01), según sea la distancia a transportar y la temperatura reinante. ( Undurraga P. y Vargas S., 2013)



**FIGURA 01.** Fresas con color adecuado para la cosecha ( Undurraga P. y Vargas S., 2013)

### **2.1.1.2. Manejo durante la cosecha.**

La fruta debe ser cosechada en forma escalonada y temprano en la mañana cuando las temperaturas son bajas para evitar deshidratación. Se debe eliminar la fruta sobremadura, dañada por hongos, insectos o deformada, enterrándola en lugares apartados de la plantación, pues los hongos crecen y esporulan produciendo gran cantidad de inóculo y contaminando la fruta sana. ( Undurraga P. y Vargas S., 2013)

La cosecha se realiza a mano, tomando la fruta por el pedúnculo que se corta de 0,5 a 1 cm desde el cáliz, doblando y tirando suavemente para quebrarlo. Se debe evitar el exceso de presión con los dedos. Para venta en fresco se debe dejar el cáliz adherido. El cosechador no debe juntar las frutas en las manos y tampoco presionarlas ya que se provocan lesiones que disminuyen la calidad y conservación. En las cajas cosecheras no deben colocarse más de dos o tres capas de frutas. Una persona cosecha entre 150 a 200 kg/día. ( Undurraga P. y Vargas S., 2013)

### 2.1.1.3. Manejo Post Cosecha

Una vez cosechada la fruta debe ser transportada a “packing” ingresándolas a cámaras frigoríficas dentro de las 3 h siguientes, con alta humedad relativa ya que al presentar una baja humedad por un período extenso aumentará la pérdida de peso afectando la apariencia de la fruta, adicionalmente la temperatura debe ser cercana a 0 °C (Cuadro 9.1). Además se debe mantener la cadena de frío hasta el lugar de venta. ( Undurraga P. y Vargas S., 2013)

Para la venta o exportación se usan envases de plástico transparente de 300 ó 500 g, con tapa, perforados para un buen enfriamiento y evitar la condensación. Los envases deben ser rotulados o etiquetados en un lugar visible y de difícil remoción. ( Undurraga P. y Vargas S., 2013)

**CUADRO 01. Condiciones óptimas en post Cosecha**

<b>Parámetros</b>	<b>Rangos óptimos</b>
Temperatura óptima	0 ± 0.5 °C
Humedad relativa	90 a 95 %
Tasa de producción de etileno 1 µL C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> / kg por h	< 0.1 a 20 °C
Tasa respiratoria ml CO <sub>2</sub> / kg por h	6 – 10 a 0°C 25 – 50 a 10 °C 50 – 100 a 20 °C

**Fuente:** Undurraga P. y Vargas S., 2013

### 2.1.1.4. Problemas en post cosecha

#### 2.1.1.4.1. Deshidratación o pérdida de peso.

La frutilla tiene alto porcentaje de pérdida de agua debido a su alta tasa respiratoria y a su piel delgada, la cual puede ser acelerada por alta temperatura en la cosecha.

La pérdida de un 4% de su peso se distingue en la piel, la cual pierde el brillo y se arruga. Pérdidas mayores al 5% de humedad hacen que la fruta no sea comerciable, además provoca un

descenso importante de la calidad sensorial al afectar la apariencia y textura del fruto y una disminución en la calidad nutricional.

#### **2.1.1.4.2. Daño mecánico**

La estructura de la frutilla la hace muy susceptible a este daño (cutícula delgada, pulpa blanda, etc.), golpes, heridas abiertas, heridas cicatrizadas, o presión de los dedos al cosechar la fruta, son frecuentes de observar y aunque no sean notorios se hacen evidentes en el almacenamiento o en la comercialización. ( Undurraga P. y Vargas S., 2013)

#### **2.1.1.4.2. Enfermedades**

Una fuente importante de deterioro de la frutilla son los organismos que actúan sobre la fruta descomponiéndola, por lo tanto son la principal causa de pérdida en poscosecha. En esta etapa no se aplican fungicidas a la fruta, por lo tanto el inmediato enfriamiento (0 °C) y la prevención de daños físicos y el embarque con dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son los mejores métodos para el control de enfermedades. La pudrición por Botrytis o moho gris causada por Botrytis cinerea es la mayor causa de pérdidas poscosecha en frutillas. El tejido afectado se caracteriza por presentar micelio blanco que se torna gris cuando se produce la esporulación. Este hongo continúa creciendo aún a 0 °C, aunque muy lentamente. ( Undurraga P. y Vargas S., 2013)

La pudrición por Rhizopus es causada por el hongo Rhizopus stolonifer, cuyas esporas generalmente están presentes en el aire y se propagan fácilmente. Se caracteriza por el ablandamiento del fruto y exudado. Este hongo no crece a temperaturas inferiores a 5 °C, por lo tanto el buen manejo de la temperatura es el método más simple de control.( Undurraga P. y Vargas S., 2013)

### 2.1.2. Composición nutricional

En comparación con el resto de frutas, la fresa contiene una cantidad moderada de hidratos de carbono y un valor calórico bajo. Destaca su aporte de vitamina C, sustancias de acción antioxidante y un alto contenido de ácidos orgánicos, entre ellos cítrico (de acción desinfectante), málico, oxálico y salicílico (de acción anticoagulante y antiinflamatoria). También es rica en minerales como potasio y magnesio. Su contenido en fibra es moderado (Anónimo, 2003 citado por Almebar E., 2005).

Como compuestos activos presenta pigmentos, aceite esencial, vitamina C, taninos y flavonoides (Murcia y Hoyos, 2001 citado por Almebar E., 2005). En la Cuadro 02 se resume la composición básica de la fresa.

**CUADRO 02. Composición de la fresa por 100 g de porción comestible**

COMPONENTE	CANTIDAD
Agua	80 -90 %
H. de Carbono	5 – 10 %
Proteínas	0.5 – 0.9 %
Grasas	0.1 – 0.4 %
Fibra	1 - 3 %
N° de calorías	37
Vitamina A	60 UI
Vitamina C	20 – 70 mg
Tiamina	0.03 mg
Riboflavina	0.03 mg
Niacina	0.6 mg
Hierro	1 mg
Sodio	1 mg
Potasio	164 mg
Calcio	21 mg
Fosforo	21 mg

**Fuente:** Almebar E., 2005

### 2.1.3. Estudio de mercado de la fresa.

La clasificación arancelaria para el fruto de la fresa fresca es la siguiente:

0810.10.00.00

Para otras presentaciones

Fresa congelada con azúcar: 0811 .10.10.00 (Fresas con adición de azúcar u otro edulcorante, congelados)

Fresa congelada sin azúcar: 0811 .10.90.00 (Fresas sin adición de azúcar u otro edulcorante, congelados)

Jaleas o mermeladas: 2007.99.91 .00 (Las demás confituras, jaleas y mermeladas de frutas u otros frutos)

Esencia: 3302.10.90.00 (Demás mezclas de sustancias odoríferas para la industria alimentaria o de bebidas).

#### 2.1.3.1. Evolución de las Exportaciones Peruanas.

Como se puede apreciar en el cuadro las exportaciones de fresa fresca tanto en valor FOB (US\$) como en Peso Neto (Kg.) han tenido una caída en el año 2010 de (-33.98%) con respecto al año anterior, y posteriormente se han ido recuperando en los dos últimos años, hasta llegar a los US\$ 909,382 (valor FOB) y los 334,988 Kg. (peso neto) en el 2012. (AREX, 2013)

El precio promedio en los últimos cinco años (2008 - 2012) se ha mantenido en \$ 2.62 el kg., registrando el mayor precio promedio en el 2012 (\$2.78). (AREX, 2013)

#### CUADRO 03. Evolución de las Exportaciones de Fresa fresca

Valores	2008	2009	2010	2011	2012	Var.% 11-12
FOB (US\$)	586,203	1'010,518	667,147	985,205	909,382	-7.70%
PESO NETO (Kg.)	255,680	384,236	233,176	387,806	334,988	-13.62%

Fuente: SUNAT, elaborado por AREX, 2013

### 2.1.3.2. Producción Nacional por Regiones

Durante la campaña agrícola 2007-2008 el Perú concentró 1,371 hectáreas para el cultivo de fresas, de las cuales Lima contaba con una participación del 97.5% principalmente en Huaral, Chancay, Huaura y Barranca. La Libertad tenía el 2.4% del área Nacional en los valles de Moche y Chao, seguido de Apurímac con el 0.1%. (Vergara Cobián, 2008 citado por AREX, 2013)

**CUADRO 04. Producción Nacional de fresa por Regiones (Tn)**

AÑOS	LIMA	LA LIBERTAD	ICA	TOTAL
2010	21,299	266.70	4.5	21,570
2011	22,620	346.60	5.5	22,972
2012	29,446	22.80	-	29,469

Fuente: Ministerio de Agricultura, AREX, 2013.

En los últimos años la siembra del cultivo de fresas ha aumentado, llegando a las 1,839 hectáreas a nivel nacional y a un aproximado de 30,000 toneladas producidas; en donde Lima concentra cerca del 99% de la producción al 2012, seguido por La Libertad e Ica. (AREX, 2013)

**CUADRO 05. Estacionalidad de la Producción**

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
LIMA												
LA LIBERTAD												
ICA												

Fuente: Ministerio de Agricultura

### 2.1.3.3. Principales empresas exportadoras peruanas

Se puede apreciar que la única empresa que ha mantenido sus exportaciones de fresas frescas durante los últimos cinco años es Inca Frut S.A. y que por lo tanto mantiene una participación del (73.63%) al 2012, en segundo lugar le sigue Agroindustrias Vida S.A.C. con un (22.28%) y en tercer lugar Exportadora La Molina S.A.C. con (2.70%) de participación en base al valor FOB exportado en el 2012. (AREX, 2013)

## CUADRO 06. Empresas exportadoras de fresa fresca

EXPORTACIONES FRESA FRESCASUBPARTIDA 0810.10.00.00 EN PESO (Kg.)							
EMPRESAS	2008	2009	2010	2011	2012	Part. % 12	Var. % 11-12
INCA FRUT SA	216,793	322,407	203,847	336,840	243,782	72.77%	-27.63%
AGROINDUSTRIAS VIDA SAC			10,335	48,180	83,838	25.03%	74.01%
EXPORTADORA LA MOLINA SAC			1,072	2,786	4,372	1.31%	56.93%
AGROLAURES SAC					1,568	0.47%	
MALBOMIZ IMPORT EXPORT S.R.L.					1,138	0.34%	
AGROINDUSTRIAS SOLCACE SAC					290	0.09%	
AGRICOLA VIDASOL S.A.	7,522						
AGRO RIO SECO SAC	21,480						
AGROPACKERS SAC	4,280						
AGROWORLD S.A.C.		48,890	3,879				
Los Demás (8)	5,605	12,939	14,043	-	-		
<b>TOTAL PESO NETO (Kg.)</b>	<b>255,680</b>	<b>384,236</b>	<b>233,176</b>	<b>387,806</b>	<b>334,988</b>	<b>100%</b>	<b>-13.62%</b>

**Fuente:** Aduanas- Perú, elaborado por AREX, 2013

### 2.1.3.4. Principales mercados de destino.

Observando las tablas España llega a ser el mayor país importador de fresas frescas peruanas con una participación al 2012 de (66.84%), en segundo lugar se encuentra Italia con (10.31%) y en un tercer lugar vemos a Alemania (7.06%); dicho ranking en base al valor FOB exportado durante el 2012. (AREX, 2013)

En la mayoría de destinos comerciales las exportaciones comparadas al año anterior han disminuido en más del (-10%), excepto para España y Panamá que han tenido una variación positiva respecto al último año de (16.40%) y (59.10%) respectivamente. (AREX, 2013)

### CUADRO 07. Destinos Comerciales de la fresa fresca

EXPORTACIONES FRESA FRESCA PARTIDA (0810100000) EN PESO (Kg.)							
PAÍS	2008	2009	2010	2011	2012	Part. % 12	Var. % 11-12
ESPAÑA	192,200	180,135	134,844	242,348	240,612	71.83%	-0.72%
ITALIA	10,500	29,686	13,844	31,296	30,128	8.99%	-3.73%
ALEMANIA	864	640	1,920	46,524	22,080	6.59%	-52.54%
EE.UU.	48,384	158,035	74,477	35,368	16,466	4.92%	-53.44%
REINO UNIDO		960	871	15,084	14,672	4.38%	-2.73%
FRANCIA		4,307	5,440	8,000	5,520	1.65%	-31.00%
PANAMÁ			1,072	2,786	4,372	1.31%	56.93%
LOS DEMÁS (5)	3,732	10,473	708	6,400	1,138	0.34%	-82.22%
<b>TOTAL PESO (Kg.)</b>	<b>255,680</b>	<b>384,236</b>	<b>233,176</b>	<b>387,806</b>	<b>334,988</b>	<b>100%</b>	<b>-13.62%</b>

Fuente: Aduanas- Perú, elaborado por AREX, 2013

#### 2.1.3.5. Principales Exportadores Mundiales

Como se puede observar el principal exportador es España con (28.55%) de participación a nivel mundial en el 2012, además sus exportaciones de fresa fresca han ido en aumento durante los tres últimos años, llegando a exportar un valor FOB total de (670.6731 miles de US\$) en el año 2012. Seguidamente están los países de EE.UU., Países Bajos y México con una participación mundial al 2012 de (18.28%, 14.93% y 8.98%) respectivamente, de éstos últimos México es el país que ha tenido un alza de más de dos dígitos (48.53%) en la variación de sus exportaciones con respecto al 2011. (AREX, 2013)

### CUADRO 08. Países Exportadores de fresa (Miles de US\$)

PAÍS	2008	2009	2010	2011	2012	Part. % 2012	Var. % 2011-2012
ESPAÑA	584,031	539,540	525,899	615,354	670,631	8.98%	28.55%
EE.UU.	336,928	344,005	378,764	408,371	429,403	5.15%	18.28%
PAÍSES BAJOS	193,379	210,393	243,038	327,150	350,820	7.24%	14.93%
MÉXICO	128,647	93,164	142,331	142,053	210,986	48.53%	8.98%
BÉLGICA	171,977	163,133	161,708	174,068	164,650	-5.41%	7.01%
EGIPTO	52,234	86,510	65,492	58,721	77,199	31.47%	3.29%
MARRUECOS	30,234	30,683	26,399	94,731	66,026	-30.30%	2.81%
FRANCIA	73,825	63,528	49,197	61,457	62,815	2.21%	2.67%
ITALIA	80,173	47,268	63,699	58,580	54,458	-7.04%	2.32%
GRECIA	14,180	18,517	30,687	49,199	50,688	3.03%	2.16%
LOS DEMÁS	175,863	178,441	192,664	191,437	211,474	10.47%	9.00%
<b>TOTAL FOB (MILES US\$)</b>	<b>1,841,720</b>	<b>1,775,291</b>	<b>1,879,878</b>	<b>2,181,121</b>	<b>2,349,150</b>	<b>7.70%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Trademanp, elaborado por AREX, 2013

### 2.1.3.6. Principales Importadores Mundiales

Podemos apreciar que EE.UU. es el principal importador a nivel mundial de fresas frescas (14.39%) de participación, pues en el último año llegó a importar un valor FOB total de (359.345 miles de US\$), muy de cerca le sigue los pasos Canadá con (1.05%) menos de participación que EE.UU.; sin embargo es este último el país que ha elevado el índice de sus importaciones a un (47.89%) con respecto al año 2011. En tercer lugar encontramos a Alemania con un (10.57%) de participación a nivel mundial en el año 2012. (AREX, 2013)

**CUADRO 09. Países Importadores de fresa (Miles de US\$)**

PAÍS	2008	2009	2010	2011	2012	Part. % 2012	Var. % 2011-2012
EE.UU.	122,327	158,239	225,506	242,984	359,345	47.89%	14.39%
CANADÁ	240,172	265,951	294,082	319,275	333,260	4.38%	13.34%
ALEMANIA	261,254	249,074	246,572	263,180	264,089	0.35%	10.57%
FRANCIA	281,615	253,445	218,905	268,032	255,265	-4.76%	10.22%
REINO UNIDO	190,575	159,672	147,337	192,256	191,640	-0.32%	7.67%
PAÍSES BAJOS	56,825	88,590	90,396	167,956	143,748	-14.41%	5.76%
RUSIA	55,565	65,138	92,125	100,637	115,883	15.15%	4.64%
ITALIA	98,322	86,450	92,003	107,459	109,553	1.95%	4.39%
BÉLGICA	92,945	95,994	83,331	99,214	92,316	-6.95%	3.70%
AUSTRIA	48,107	48,150	44,124	52,452	59,179	12.83%	2.37%
LOS DEMÁS	405,662	370,671	457,598	489,030	573,441	17.26%	22.96%
<b>TOTAL FOB (MILES US\$)</b>	<b>1,853,761</b>	<b>1,843,350</b>	<b>1,992,133</b>	<b>2,303,079</b>	<b>2,497,719</b>	<b>8.45%</b>	<b>100%</b>

Fuente: Trademanp, Elaborado por AREX, 2013

## 2.2. Liofilización

La liofilización es el proceso de deshidratación por congelación y sublimación; el contenido líquido natural de los sistemas biológicos se congela y se elimina en forma de vapor, bajo condiciones cuidadosamente controladas de presión y temperatura, para dejar una estructura que revierta el estado previo por adición de agua; si se aplica a sustancias lábiles como alimentos, permite la conservación a la temperatura ambiente durante largos periodos, adecuadamente protegidos del agua, luz y oxígeno. Su aspecto, palatabilidad y valor nutritivo tras la reconstitución, sobreviven al almacenamiento mucho más que si los alimentos se someten a otro tipo de deshidratación, puesto que presenta diferencias muy notables tal como se muestra en la cuadro 08. No

debe confundirse con la deshidratación a vacío de los líquidos que produce evidentes alteraciones de tipo físico y químico (Ozuna, 2001 citado por Bravo M.)

**CUADRO 10. Ventajas y desventajas de la liofilización**

<b>SECADO CONVENCIONAL</b>	<b>LIOFILIZACIÓN</b>
Recomendado para obtener alimentos secos (verduras y granos)	Recomendado para la mayoría de alimentos pero se ha limitado a aquellos que son difíciles de secar mediante otros métodos
Es poco satisfactorio para carne	Recomendado para carnes crudas y cocidas
Rango de temperatura 37 – 93O <sub>c</sub>	Temperaturas debajo del punto de congelación
Presiones atmosféricas	Presiones reducidas ( 27 – 133 Pa)
Se evapora el agua de la superficie del alimento	Se sublima el agua del frente de congelación.
Movimiento de solutos y lo que causa algunas veces	Movimiento mínimo de solutos
Endurecimiento	
Las tensiones en alimentos sólidos causan daño estructural y encogimiento	Cambios estructurales y encogimiento mínimo
Rehidratación incompleta o retardada	Rehidratación completa o rápida
Partículas porosas secas tienen a menudo una densidad más alta que el alimento original	Partículas porosas secas tienen a menudo una densidad más baja que el alimento original
Olor y sabor frecuentemente anormal	Olor y sabor normalmente intensificado
Color frecuentemente más oscuro	Color normal
Valor nutritivo reducido	Nutrientes retenidos en gran porcentaje
Costos generalmente bajos	Costos generalmente altos, aproximadamente cuatro

**FUENTE:** RAMIREZ J. 2006.

La liofilización es un proceso que se aplica en tres grandes categorías de productos biológicos:

- (1) Materiales no vivientes tales como plasma sanguíneo, suero, soluciones, hormonas y productos farmacéuticos.
- (2) Trasplantes quirúrgicos de especies tales como piel, arterias y huesos.
- (3) Células vivas destinadas a permanecer en ese estado por largos periodos de tiempo tales como bacterias, levaduras y virus, además de los alimentos, pero no células de mamíferos.

El proceso es también llamado criodesecación porque consiste primero en congelar un producto húmedo y luego en vaporizar directamente el hielo a baja presión (Gómez, 2003 citado por Bravo M.).

### **2.2.1. Desarrollo histórico**

El frío es utilizado desde tiempos inmemoriales para la conservación de alimentos. Doscientos años a. C. los incas desarrollaron un proceso rudimentario de liofilización, con el fin de obtener comida hipercalórica, ultraliviana e imputrescible para sus tropas militares. Aprovechando las nieves andinas se congelaban papas y carne de llama debido a las frías temperaturas de la montaña durante la noche, y se descongelaban en el día para extraer el agua por la baja presión atmosférica (4,500 metros sobre el nivel del mar). El proceso se repetía hasta obtener un producto estable de baja humedad. La técnica también fue empleada por los vikingos, aprovechando las bajas temperaturas en el invierno, pero con montañas más bajas y sol más oblicuo, liofilizaron arenque con menos perfección (Ramírez, 2008).

En 1904 físicos franceses desarrollaron una tecnología llamada criodesecación en razón de su fase inicial de congelación y posterior deshidratación del producto. Sin saberlo, ellos estaban dando inicio a la liofilización. La conservación de bacterias, virus u otros microorganismos fueron su primera aplicación. Éste proviene de los términos griegos *luen* o solvente y *phineo* o amigo. Los trabajos de secado realizados a bajas temperaturas antes de 1905, no incluían el uso de vacío, ya que las

bombas de vacío mecánicas no estaban disponibles en aquellas épocas, fueron Benedict y Manning quienes la introdujeron en el proceso de criodesecación, ellos informaron del secado de materiales provenientes de animales en un equipo con una bomba química de vacío, que trabajaba desplazando el aire de la cámara mediante la evaporación de éter etilo, posteriormente se conectaba la cámara de secado a una vasija que contenía ácido sulfúrico concentrado, así que al disolverse el éter etilo en el ácido se producía en el sistema una presión sub-atmosférica. Reportan que esta técnica no fue muy eficiente para pruebas con gelatina, tomándoles 2 semanas para reducir su contenido de humedad hasta 20% en peso. Fue Shackell en 1909 quien agregó una bomba mecánica de vacío a un equipo de secado similar al mencionado, reduciendo la presión por debajo de 133 Pa en pocos minutos. Usó una trampa de ácido sulfúrico para los vapores condensados antes de que entraran a la trampa de vacío. Su sistema estaba compuesto de una cámara de secado, una trampa de vapor de agua y el sistema de vacío; esencialmente los componentes principales de los equipos actuales de liofilización. Fue el primero en trabajar con alimentos, demostrando que las carnes, frutas y vegetales podían ser secados mientras estuvieran congelados (Ramírez, 2008).

Aunque Flosdorf y Mudd introdujeron el término, no fue reconocido formalmente sino hasta 1934 cuando Alexander Fleming lo propuso. A finales de la década de 1930 resultó significativa la producción a gran escala de liofilizados. A través de toda la Segunda Guerra Mundial y en la posguerra, la fabricación de plasma de sangre seco, fue quizá el primer uso real de la tecnología de liofilización como un proceso productivo comercial. (Ramírez, 2008).

Entre 1935 y 1940 Folsdorf y Mudd mejoraron el proceso de secado mediante liofilización, empleando fármacos y tejido animal, definieron las mejores condiciones de proceso para plasma sanguíneo y antibióticos, liofilizar a gran escala penicilina. Sus mejoras rigen el proceso de liofilización actual.

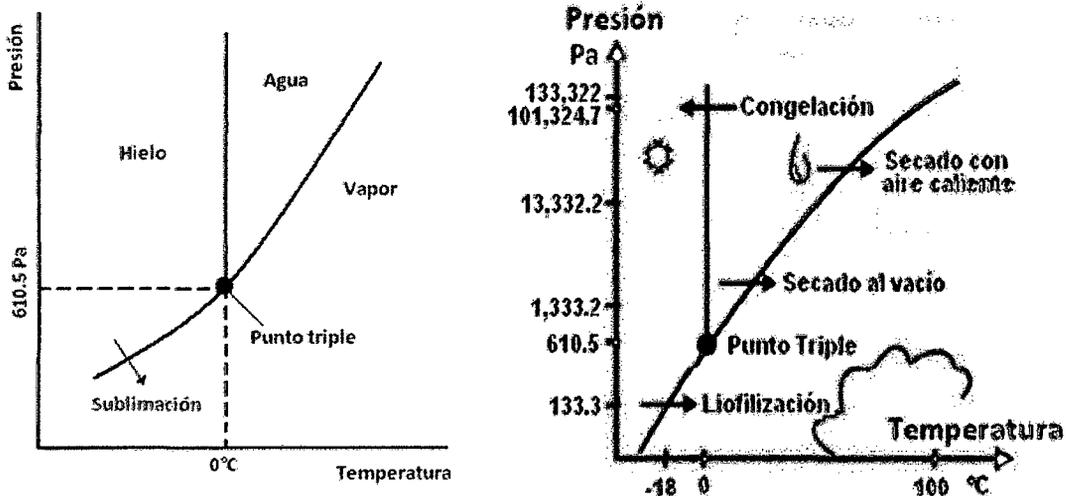
Desde 1958 se aplicó al sector alimentario, y por ser una técnica costosa se enfocó a pocos alimentos: leche, sopas, huevos, levaduras, zumos de frutas y café, aunque actualmente son más de 400 los alimentos que se liofilizan. En 1965 Cuper realizó un estudio de la aplicación de la tecnología de liofilización a los alimentos, llegando a la conclusión de su trascendental importancia estratégica con alta probabilidad de aplicación en carnes, frutos de mar, hortalizas, infusiones, etc. Respecto a la liofilización a presión atmosférica, en 1959 Meryman demostró la posibilidad de secar productos congelados sin necesidad de vacío. Estableció que el gradiente de presiones de vapor es el que facilita el paso del agua entre el frente de secado y la zona seca. Heldman, en 1974, en base a pruebas experimentales de liofilización a presión atmosférica y al desarrollo de un modelo matemático, concluyó que el principal limitante económico se debe a su baja velocidad de secado, controlada por la difusión molecular de vapor de agua en la estructura seca del producto y mostró que el mayor potencial para hacer practicable el secado por congelación a presión atmosférica es la aproximación a lechos fluidizados. Alvarado, en 1979 aplicó los principios de liofilización atmosférica a diferentes variedades de papa con el fin de realizar ensayos de almacenamiento (de 10 a 15°C durante periodos de 5 a 7 días, de 4.4°C para periodos de 4 a 5 meses) observó que temperaturas menores no son necesarias y resultan contradictorias en el almacenaje, concluyó que la liofilización atmosférica es una alternativa a la liofilización tradicional, conservando sus características y propiedades nutricionales. En 1980 Kelly diseñó un sistema de alto vacío a bajo costo, mejoró la cámara de sublimación, el aislamiento de ésta y el cierre de su puerta, aunque no reportó información sobre la eficiencia del nuevo diseño (Ramírez, 2008).

A partir de 1990, se han realizado numerosos estudios de liofilización, en los cuales se observa el comportamiento del alimento y sus componentes incluso antes de la operación misma, siendo el método de deshidratación que da lugar a productos alimenticios de más alta calidad que con cualquier otro, además de que previene el daño térmico, los volátiles diferentes al agua son retenidos, el producto se reconstituye y el encogimiento es

despreciable. Sin embargo, el secado por congelación es una forma de deshidratación de alimentos bastante costosa, debido a la velocidad lenta de secado y a la necesidad de usar vacío. Una de las causas de éste elevado costo es la longevidad del producto procesado. En efecto, la baja presión del proceso y la débil conductividad de los productos liofilizados (debido a la textura porosa) afectan de manera significativa y negativa la transferencia de calor y de masa y por consecuencia la duración de la operación de deshidratación. En la actualidad, varios estudios a escala laboratorio y escala planta piloto se realizan con el fin de obtener una mejor comprensión de los detalles de liofilización (Ramírez, 2008)

### **2.2.2. Teoría de liofilización**

El principio en que se basa la liofilización es que, en ciertas condiciones de baja presión de vapor, el agua se evapora del hielo sin que éste se derrita. Cuando un material que puede existir como sólido, líquido y gas pasa directamente del estado sólido al estado gaseoso sin pasar por la fase líquida, se dice que el material se sublima. El agua congelada se sublima si la temperatura está a 0°C o menos y se coloca en una cámara de vacío con una presión de 610.5 Pa o menos, como se observa en la figura 1 que representa el diagrama de fases del agua. Bajo estas condiciones, el agua permanece congelada y la rapidez con que las moléculas de agua salen del bloque de hielo es mayor que la de las moléculas del ambiente que vuelven a incorporarse al bloque congelado (Potter, 1973).



**FIGURA 02.** Diagrama de fases del agua (Ramírez, 2006)

Los materiales procesados por liofilización son normalmente mezclas complejas de agua y sustancias diversas. Por enfriamiento de dichos materiales a una temperatura inferior de 0°C, se produce la separación de cristales de hielo y eventualmente la masa entera se vuelve rígida debido a la formación de cristales eutécticos. La mayoría de los productos alimenticios y biológicos solidifican completamente a una temperatura en el rango de -15 a

-73°C. Cuando solidifica la masa entera, toda el agua libre se ha transformado en hielo, sólo una pequeña cantidad del agua original, el agua ligada, permanece fija en la estructura interna del material. Esta operación se ha mostrado como un método efectivo para ampliar la vida media de los alimentos, y tiene dos características importantes:

- (1) Ausencia de aire durante el procesado: la ausencia de aire y la baja temperatura previene el deterioro debido a la oxidación o las modificaciones del producto.
- (2) Secado a una temperatura inferior a la ambiente: los productos que se descomponen o sufren cambios en su estructura, textura, apariencia, y/o aromas, como consecuencia de temperaturas altas, pueden secarse bajo vacío con un daño mínimo (Barbosa-Cánovas, 2005).

Cuando va a liofilizarse un material húmedo se efectúan tres operaciones básicas que se observan en la figura 2:

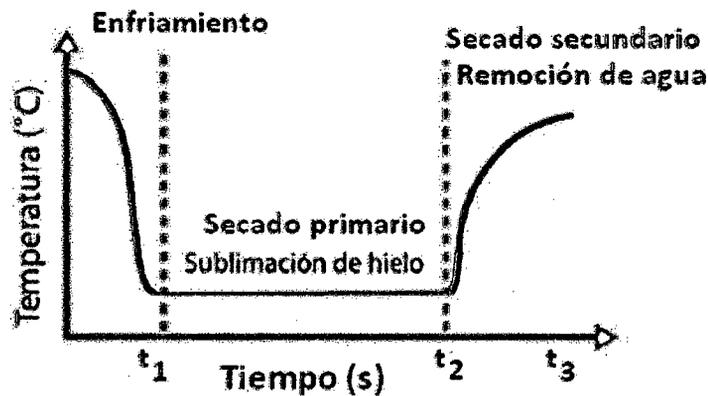


FIGURA 03. Etapas de la liofilización (Ramírez, 2006)

Estas operaciones comprenden muchos procesos fundamentales que ocurren simultáneamente y las condiciones que gobiernan la velocidad en cada proceso deben optimizarse para un producto específico a fin de obtener una velocidad de secado satisfactoria.

Inicialmente, mediante la congelación, se separa el agua de los componentes hidratados del producto mediante la formación de cristales de hielo o mezclas eutécticas.

Subsiguientemente, al sublimar estos cristales, se elimina el agua del seno del producto.

Cuando se ha eliminado todo el hielo, los sólidos remanentes todavía tendrán una pequeña cantidad de agua absorbida en el interior de la estructura de sus componentes. Esta agua residual puede eliminarse por evaporación en el equipo de liofilización, cosa que normalmente se hace elevando la temperatura del producto (Brennan, 1980).

### 2.2.3. Etapas de la liofilización.

- **Congelación**

La temperatura y tiempo de congelación de productos alimentarios es función de los solutos en solución que contienen. La temperatura de congelación para el agua pura permanece constante en el punto de congelación hasta que el agua se ha congelado. Para los alimentos, la

temperatura de congelación es más baja que para el agua pura, ya que los solutos del agua no congelada se van concentrando y la temperatura de congelación va disminuyendo continuamente hasta que la solución queda congelada. Al final de la congelación la masa entera del producto se ha convertido en rígida, formando un eutéctico, que consiste en cristales de hielo y componentes del alimento. Se requiere llegar al estado eutéctico para asegurar la eliminación de agua sólo por sublimación, y no por combinación de sublimación y evaporación. La permeabilidad de la superficie congelada, puede verse afectada por la migración de componentes solubles durante la etapa de congelación. Sin embargo, la eliminación de la fina capa de la superficie del producto congelado, o la congelación bajo condiciones que inhiban la separación de la fase de concentrado, dan lugar a mejores velocidades de liofilización (Barbosa-Cánovas, 2005).

En condiciones ideales, para realizar el proceso de liofilización correctamente, debería congelarse todo el líquido presente en el alimento. En la práctica, sin embargo, esto no es posible y además siempre que la calidad de líquido remanente no congelado sea pequeña la calidad del producto no resulta seriamente afectada. La velocidad óptima de congelación con fines de liofilización depende en gran parte de la naturaleza del producto.

La variación en la velocidad de congelación afecta al tamaño de los cristales de hielo y por tanto al tamaño de poro en el producto seco, siendo de esperar, en consecuencia, que influya en la velocidad de desecación y en las características del producto, sobre todo en rehidratación. Las velocidades óptimas de congelación tienen que determinarse experimentalmente (Brennan, 1980).

La estructura celular puede dañarse durante la congelación perjudicando la textura del producto reconstituido y el producto seco es muy quebradizo y susceptible a daños mecánicos. Los alimentos de tamaño pequeño se congelan más rápidamente, dando lugar a cristales de hielo más pequeños que dañan menos su estructura. En los alimentos líquidos se procura que

la congelación sea lenta, con objeto de que se forme una red cristalina que da lugar a la formación de canales por los que el vapor de agua puede escapar (Fellows, 1994).

- **Sublimación (deshidratación primaria)**

La velocidad de deshidratación depende principalmente de la resistencia que el alimento ofrece a la transferencia de calor y en menor grado, a la transferencia de vapor (transferencia de materia) desde el frente de sublimación. La deshidratación primaria corresponde a la sublimación de toda el agua congelada del alimento, cuya velocidad es proporcional a la diferencia entre las presiones parciales de vapor de agua de hielo que se encuentran a nivel del frente de sublimación y sobre el condensador. Esta diferencia de presión depende directamente de la diferencia de temperatura entre el producto todavía congelado y el condensador del liofilizador. Como las diferencias de presión de vapor que se manejan son muy bajas, se explica que la velocidad de liofilización siempre sea pequeña.

Esto es la razón por la que se trabaja frecuentemente bajo vacío a una presión absoluta comprendida entre 13 y 267 Pa (lo ideal sería que la presión absoluta fuese próxima a un tercio de la presión parcial de vapor de agua a nivel del frente de sublimación). La sublimación tiene lugar desde la superficie del hielo, de manera que, al proseguir, el límite del hielo se va retirando hacia el centro del alimento, es decir que el alimento se deshidrata desde la superficie hacia adentro. Finalmente el último resto de hielo se sublima y la humedad del alimento queda reducida a menos de 5%. Ya que el alimento congelado permanece rígido durante la sublimación, las moléculas de agua que se escapan dejan huecos, lo cual resulta en una estructura seca, porosa y esponjosa. Por eso, los alimentos liofilizados se reconstituyen rápidamente pero tienen que ser protegidos mediante envases adecuados contra la absorción de humedad atmosférica y oxígeno (Potter, 1973).

El hielo sublima cuando se suministra la energía correspondiente al calor latente. La fuerza impulsora de la sublimación es la diferencia de presión entre la presión de vapor de agua en la interfase del hielo, y la presión

parcial del vapor de agua en la interfase del hielo, y la presión parcial de vapor de agua en la cámara de secado (Barbosa-Cánovas, 2005).

A medida que la liofilización progresa, el frente de sublimación se traslada hacia el interior del alimento y el calor latente para la sublimación se conduce hasta allí por conducción, o se genera en la masa del alimento por efecto de las microondas. El vapor de agua escapa del alimento a través de los canales formados por sublimación del hielo. El material congelado puede estar sujeto a una sublimación a presión atmosférica o bajo vacío.

La sublimación de los cristales de hielo puede considerarse comprendida por dos procesos fundamentales: transferencia de masa y transferencia de calor. Se suministra calor para sublimar los cristales de hielo y el vapor de agua generado es transferido fuera de la interfase de sublimación. La velocidad de deshidratación está limitada principalmente por la resistencia que el alimento ofrece a la transferencia de calor y en menor grado, a la transferencia de vapor (transferencia de materia) desde el frente de sublimación (Fellows, 1994).

El vacío operante determina la diferencia de presión y consiguientemente la velocidad de transferencia de masa que debe estar en equilibrio con la velocidad de entrada de calor. El calor requerido para sublimar (2,788.7 kJ/kg), puede suministrarse por conducción, radiación, resistencia eléctrica, microondas o calentamiento infrarrojo (Ozuna, 2001).

- **Desorción (deshidratación secundaria)**

La etapa secundaria de secado comienza cuando se ha agotado el hielo en el producto, y la humedad proviene del agua parcialmente ligada en el material que se está secando. En este momento la velocidad de calentamiento debe disminuir para mantener la temperatura del producto por debajo de los 30-50°C, lo que evita el colapso del material. Si la parte sólida del material está demasiado caliente, la estructura se colapsa, lo que se traduce en una disminución de la velocidad de sublimación de hielo en el producto

(Barbosa-Cánovas, 2005).

En ésta etapa, la pérdida de agua se produce por deshidratación evaporativa (desorción) del agua no congelada, el contenido de agua se reduce hasta el 2% (sobre peso húmedo). La desorción se consigue manteniendo el liofilizador a baja presión y elevando la temperatura hasta un valor próximo al del ambiente.

#### **2.2.4. Transferencia de calor y materia**

Los fenómenos de transferencia de calor y materia de la capa congelada a la capa seca durante la liofilización son simultáneos. El calor puede transmitirse al frente de sublimación por tres diferentes métodos:

(1) La transferencia calórica a través de la capa de alimento congelado: la velocidad de transferencia de calor depende del grosor de la capa de hielo, por lo que a medida que la deshidratación progresa, el grosor de la capa de hielo disminuye, en consecuencia la velocidad de transferencia de calor aumenta. La temperatura en la superficie del alimento se controla cuidadosamente para evitar su descongelación.

(2) La transferencia de calor a través de la capa de alimento liofilizado: la velocidad de transferencia de calor al frente de sublimación depende del grosor y área del alimento, de la conductividad térmica de la capa liofilizada y de la diferencia entre las temperaturas del alimento y del frente de hielo. Si la presión se mantiene constante en el liofilizador, la temperatura en el frente de hielo también se mantiene constante. (Fellows, 1994).

(3) Calentamiento por microondas: en este sistema de calentamiento el calor se genera en el propio frente de hielo, por lo que la velocidad de la transferencia de calor no depende de la conductividad térmica del hielo ni del grosor de la capa de alimento liofilizado. Sin embargo, el control de este sistema de calentamiento, presenta una mayor dificultad (Fellows, 1994).

Comúnmente en el liofilizador se colocan placas calentadoras arriba y abajo del alimento a fin de acelerar la transmisión de calor y se deja un espacio abierto para no cerrar la vía de escape de las moléculas de agua sublimadas. Sin embargo, a medida que el secado prosigue y que el límite

del hielo retrocede, la velocidad de la liofilización disminuye por varias razones. Por ejemplo, la capa seca porosa fuera de la capa de hielo retrocedente actúa como un aislante contra la transmisión de calor; la capa porosa disminuye la velocidad de escape de las moléculas de agua que se subliman desde la superficie del hielo. Pero en los sistemas de liofilización bien planeados se observa generalmente que la obstaculización de la transmisión efectiva de calor, más que la transferencia de masa causada por la creciente capa seca porosa, es el factor que más contribuye a limitar la velocidad de liofilización.

Algunos de los medios más prácticos para aumentar la velocidad de liofilización se basan, por lo tanto, en el uso de fuentes de energía con gran fuerza de penetración, como por ejemplo, las radiaciones infrarrojas y de microondas, que pueden atravesar las capas de alimento seco y entrar al núcleo de hielo retrocedente (Potter, 1973). Como se observa en la figura 3, la pérdida de agua durante la liofilización consta de tres fases:



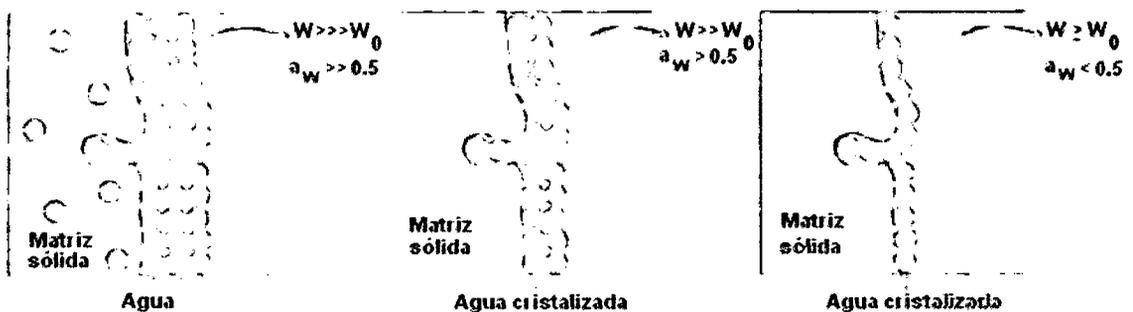
**FIGURA 04.** Etapas de deshidratación en la liofilización (Ramírez, 2008)

- (1) La fase 1 es la etapa conductiva donde hay una remoción de agua del producto entre un 75 y un 90%. Es en esta etapa en la que el alimento pierde la mayor cantidad de agua.
- (2) La fase dos es la primera etapa difusiva que muestra un descenso importante de la velocidad de secado y por consiguiente una menor pérdida de agua en el alimento.

(3) La fase tres es la segunda etapa difusiva en la cual es posible incrementar la temperatura de la calefacción y del producto hasta valores del orden de 50°C.

En la práctica, la presión y temperatura más bajas que se utilizan y que son económicamente compatibles son 13 Pa y -35°C. En la teoría, la temperatura de hielo debiera elevarse hasta un valor justo por debajo de su punto de descongelación. Sin embargo, por encima de una determinada temperatura crítica, los solutos concentrados del alimento poseen suficiente movilidad como para permitir su migración a través de las fuerzas que se desarrollan durante el proceso. Cuando esto sucede, la estructura del alimento se colapsa inmediata e irreversiblemente, lo que reduce la velocidad de transferencia de vapor y en consecuencia, se detiene la deshidratación. La figura 4 muestra la migración de vapor de agua desde el interior del alimento a través de los poros formados.

Donde  $W$  representa el contenido de agua en el frente de congelación y  $W_0$  representa el agua presente en la matriz sólida. A medida que se va perdiendo vapor por sublimación, va decreciendo la actividad del agua del alimento.



**FIGURA 05.** Transferencia de masa durante el proceso de liofilización (Ramírez, 2006)

Cuando el calor llega al frente de sublimación la temperatura y la presión de vapor en éste aumenta, el vapor se desplaza desde el alimento a la zona de baja presión de 67 Pa.

Los factores que controlan el gradiente de presión de vapor son:

- La presión en el interior de la cámara de liofilización.
- La temperatura del condensador de vapor (tanto la presión como la temperatura deberán ser lo más bajas posibles).

- La temperatura de hielo del frente de sublimación (que debe ser lo más elevada posible para evitar la descongelación).

El producto se considera seco cuando las temperaturas superficiales e internas son iguales. La velocidad a la que el alimento se deshidrata no sólo depende de la aplicación de calor sino también de la velocidad con que puede formarse el vapor de agua en el centro del producto a través de la capa seca y también de la capacidad del condensador de retener todo el vapor de agua producido. La velocidad del secado y la calidad del producto terminado están afectadas por el tamaño, la forma y la distribución de los cristales de hielo formados durante la congelación y de la homogeneidad de la masa congelada (Fellows, 1994).

### **2.2.5. Equipos de liofilización**

Existen diferentes formas de deshidratación y en consecuencia varios tipos de liofilizadores. Una primera clasificación considera equipos de funcionamiento continuo y estacionario. Según el mecanismo de transmisión de calor se dividen en equipos basados en conducción, convección, infrarrojo y dieléctricos (Alvarado, 1979).

Cualquier equipo para liofilizar consta fundamentalmente de cinco elementos indispensables:

- (1) El sistema de congelación: de éste depende la obtención de un producto con características adecuadas para poder procesarse posteriormente. Para productos de origen vegetal, la congelación se hace por inmersión en fluidos fríos (túneles de aire frío) o en bandas metálicas frías.
- (2) El sistema de vacío: cuya función es evacuar la cámara de secado de los vapores producidos sin permitir que el alimento se descongele.
- (3) El sistema de condensación: los tres métodos más comunes para eliminar el vapor de agua son: condensadores de contacto directo e indirecto, agentes deshidratantes y bombas de vacío. Los condensadores de contacto indirecto ofrecen un arreglo óptimo para eliminar el agua a

escala industrial, son serpentines refrigerantes dotados de un sistema automático de descongelación con el objeto de mantenerlos libres de hielo, para que su capacidad de condensación se mantenga. La superficie de condensación puede estar colocada dentro de la cámara de secado o en una cámara separada. El vapor de agua condensa y forma una capa de hielo sobre la superficie enfriada y es eliminada en forma intermitente por lo que el condensador previene el retorno de vapor de agua hacia el producto.

(4) El sistema de calefacción: es en dónde se suministra el calor latente de sublimación

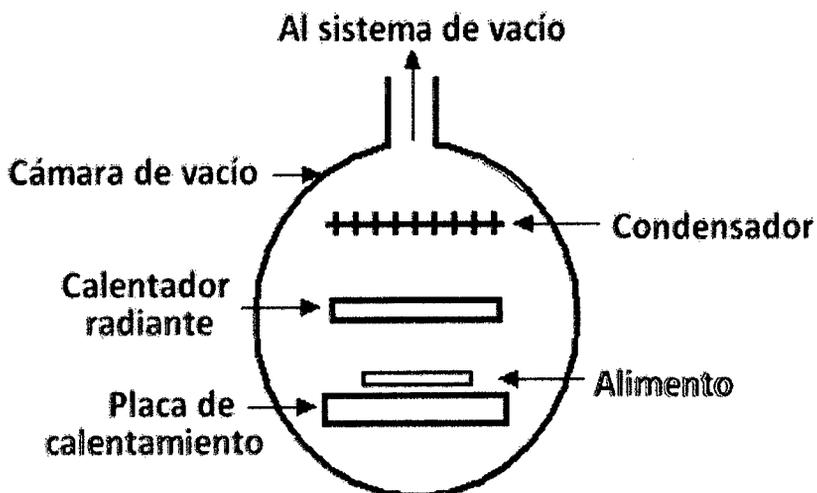
Puede ser por resistencias eléctricas, calentamientos por circulación de un líquido caliente o calor radiante. Las placas calefactoras en las que es colocado el material congelado pueden ser huecas y en ellas se admite vapor al calentarlas.

(5) Sistema de medición y control: los instrumentos de medición deben de estar distribuidos de modo que se controle principalmente la temperatura en las placas de calentamiento, el producto, en el condensador y la presión en la cámara de secado, en la cámara de condensación y en el sistema de vacío (Ozuna, 2001).

Los liofilizadores se caracterizan por el método utilizado para el suministro calórico a la superficie del alimento. Los sistemas más corrientemente empleados son la conducción y la radiación. En la actualidad se están poniendo a punto liofilizadores de calentamiento por microondas (el calentamiento por convección carece de importancia, dado el vacío relativo existente en la cámara de liofilización). De cada tipo de liofilizador existen versiones de funcionamiento discontinuo y continuo. En las instalaciones discontinuas el producto se coloca en una cámara de liofilización hermética y la temperatura se mantiene inicialmente a 100-120°C, reduciéndose posteriormente de forma gradual a lo largo de la deshidratación (6-8 horas). Las condiciones adecuadas para la liofilización dependen del alimento, pero su temperatura superficial no debe superar en ningún caso los 60°C. En los sistemas de liofilización continua las entradas y salidas de las bandejas se efectúan a través de puertas de seguridad. Las bandejas circulan, colocadas en placas calefactoras, en vagonetas que circulan sobre unos rieles a través de distintas zonas de calentamiento de una

cámara que se mantiene a vacío. Las temperaturas de calentamiento y el tiempo de permanencia en cada zona se programan previamente para cada alimento y un microordenador mide y controla el tiempo de liofilización, la temperatura, presión en la cámara y la temperatura en la superficie del producto. Entre los principales tipos de liofilizadores están los siguientes:

a) Liofilizadores por contacto: El alimento va colocado en bandejas compartimentadas que descansan sobre placas calefactoras. En estas instalaciones la liofilización es más lenta, ya que el calor se transmite por conducción tan sólo por una cara del alimento como se observa en la figura 5, donde el contacto entre el alimento a congelar y la superficie calefactora es desigual, lo que reduce la velocidad de transferencia de calor. Por otra parte, se produce también una caída de presión en la masa de alimento, que provoca diferencias entre la velocidad de liofilización de la capa superior e inferior. La velocidad a la que se mueve el vapor (3 m/s aproximadamente) provoca que las partículas de menor tamaño resulten arrastradas. En compensación, la capacidad de liofilización de este tipo de instalaciones es más elevada.



**FIGURA 06.** Elementos básicos de un sistema de liofilización por contacto (Brennan, 1980)

b) Liofilizadores acelerados: En estas instalaciones, entre el alimento y las capas calefactoras, existe una malla metálica. Eso hace que la

transferencia de calor sea más rápida que a través de placas continuas y que el vapor se elimine de la superficie del alimento con mayor facilidad, lo que reduce el tiempo de liofilización.

c) Liofilizadores de radiación: En estas instalaciones, el alimento distribuido en bandejas en capas de poco grosor se calienta por radiación. Este sistema de calentamiento es más uniforme que por conducción, ya que las irregularidades de la superficie del alimento influyen aquí menos sobre la velocidad de transferencia de calor. Además no se produce una caída de presión en la masa del alimento, por lo que las condiciones de liofilización se mantienen constantes. Como la velocidad de vapor es de 1 m/s aproximadamente, no existe riesgo de arrastre de las partículas de menor tamaño. Por otra parte, no es preciso que exista un contacto íntimo entre el alimento y la superficie calefactora, por lo que pueden utilizarse bandejas planas, que son más baratas y de más fácil limpieza.

d) Liofilizadores de calentamiento dieléctrico y por microondas: Los calentadores dieléctricos y por microondas tienen una aplicación potencial en la liofilización pero hasta el momento no han sido utilizadas para este propósito en instalaciones industriales. La liofilización por microondas es un proceso difícil de controlar ya que el factor de pérdida de agua es más elevado que el del hielo y si en algún punto del alimento el hielo llegara a fundirse se provocaría una reacción de sobrecalentamiento en cadena.

### **2.2.6. Efecto sobre los alimentos**

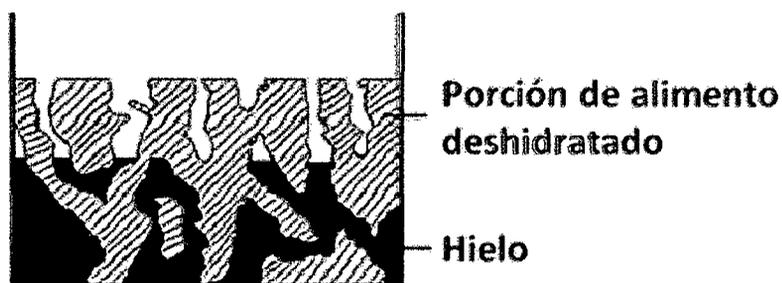
Los alimentos liofilizados correctamente envasados, se conservan durante 12 meses con la mínima modificación de su valor nutritivo y sus características organolépticas. Como los componentes del aroma no se encuentran ni en el agua pura, ni en los cristales de hielo, durante la sublimación no son arrastrados por el vapor de agua y quedan, por consiguiente, retenidos en la trama del alimento liofilizado. Por este sistema se consigue retener 80% del aroma del alimento. La liofilización no modifica

de manera considerable la estructura de los alimentos, casi no provoca en ellos retracción alguna y no endurece su capa superficial.

La estructura porosa de los alimentos liofilizados hace que su rehidratación sea muy rápida.

Sin embargo, son alimentos frágiles que deben protegerse de eventuales daños mecánicos.

El efecto de la liofilización sobre las proteínas, almidones y otros carbohidratos es mínimo pero su estructura porosa los hace accesibles al oxígeno, lo que puede provocar alteraciones por oxidación de lípidos. La liofilización afecta poco a la tiamina y ácido ascórbico y las pérdidas que provoca en otras vitaminas son despreciables. Sin embargo, las etapas preparatorias del alimento pueden afectar sustancialmente su valor nutritivo y calidad global (Fellows, 1994).



**FIGURA 07.** Estructura porosa de un alimento liofilizado (Fellows, 1994)

En la liofilización el alimento se conserva también por reducción de su actividad de agua, pero en este método aquél no se calienta, con lo que sus características organolépticas y su valor nutritivo resultan menos afectados. La liofilización es desde el punto de vista comercial, más importante y se utiliza para la deshidratación de alimentos de gran valor, de aroma y textura delicados. El producto poroso tiene la ventaja de la solubilidad o reconstitución rápida y de la apariencia de mayor volumen, pero también las desventajas del aumento en el volumen y generalmente de un periodo más breve de la estabilidad durante el almacenamiento debido al mayor grado de exposición de la superficie al aire, la luz, etc. (Potter, 1973).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS.

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCION.

- Esta investigación fue desarrollada en el Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial de la escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa, ubicada en el departamento de Ancash, Distrito de Nuevo Chimbote.

#### 3.2. MATERIALES.

##### A. Materia Prima

- Fresa variedad Camarosa con índice de madurez 4 (ver fig. 1) obtenida del valle Rinconada en la Provincia de Santa, Ancash, Perú.

##### B. Reactivos

- **Acido oxálico**  
Pureza: 99.8%  
Marca: CDH  
País de procedencia: India
- **2,6 diclorofenol indofenol**  
Marca: CDH  
País de procedencia: India
- **Ácido clorhídrico**  
Pureza: 37.5%  
Marca: J.A. Elmer  
País de procedencia: Perú
- **Etanol**  
Pureza: 96%  
Marca: Inkafarma  
País de procedencia: Perú
- **Kit enzimático (proteasa,  $\alpha$ -amilasa, amiloglucosidasa)**  
Marca:  
País de procedencia:
- **Hidróxido de Sodio (Perlas)**  
Marca: Macron  
País de procedencia: Suecia

- **Fenolftaleína**  
 Marca: ACS MERK  
 País de procedencia: Alemania
- Buffer fosfato
- Agua destilada

### C. Materiales de vidrio

- Vasos precipitados  
 Marca: SCHOTT Duran  
 País de procedencia: Alemania
- Fiolas  
 Marca: KIMAX  
 País de procedencia:
- Placa Petri  
 Marca: BOMEX  
 País de procedencia: Alemania
- Pipetas  
 Marca: BOMEX  
 País de procedencia: Alemania
- Tubos de ensayo  
 Marca: Pyrex  
 País de procedencia: México
- Termómetro  
 Marca:  
 País de procedencia:
- Bureta
- Marca: SCHELLER AUSLAUF
- País de procedencia: Alemania

### D. Equipos

- **Liofilizador:** el equipo de liofilización tiene en la parte superior con una cámara que es un secador de bandejas y en la parte inferior esta la bomba de vacío y el sistema de refrigeración. También tienen sensores que registran la temperatura dentro de equipo.

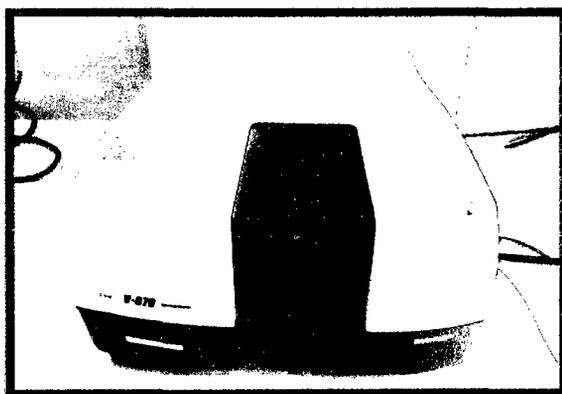
Marca: Labconco  
Modelo: 18  
País de origen: Estados Unidos



**FIGURA 08.** Liofilizador

- **Espectrofotómetro UV visible**

Marca: JASCO  
Modelo: V-670  
Serie: A019961154  
País de origen: Japón



**FIGURA 09.** Espectrofotómetro uv-visible

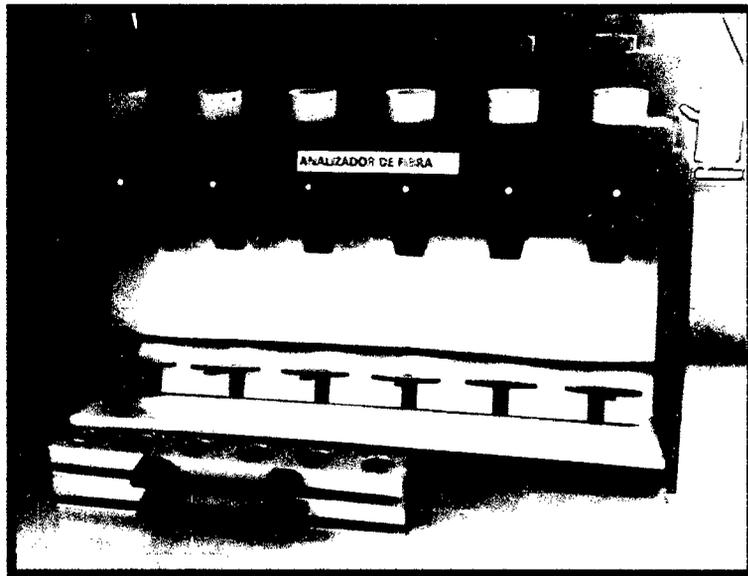
- **Analizador de fibra**

Marca: Foss

Modelo: Fibertec

Serie: 1023

Pais de origen: Dinamarca



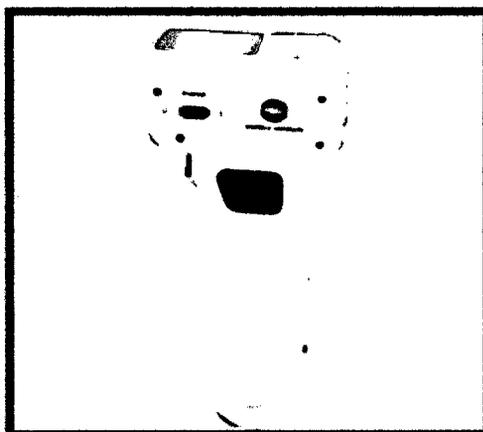
**FIGURA 10.** Equipo para analizar fibra

- **Colorímetro triestímulo**

Marca: Color Tester

Modelo: LFM 1 p

Pais de origen: Japón



**FIGURA 11.** Colorímetro triestímulo

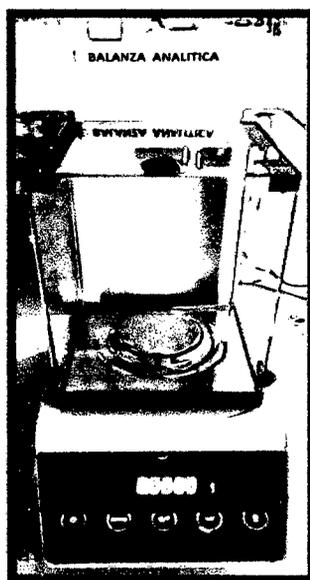
- **Balanza Analítica**

Marca: Precisa Gravimetrics

Modelo: 220A

Serie: 321LX

País de origen: Suiza



**FIGURA 12. Balanza analítica**

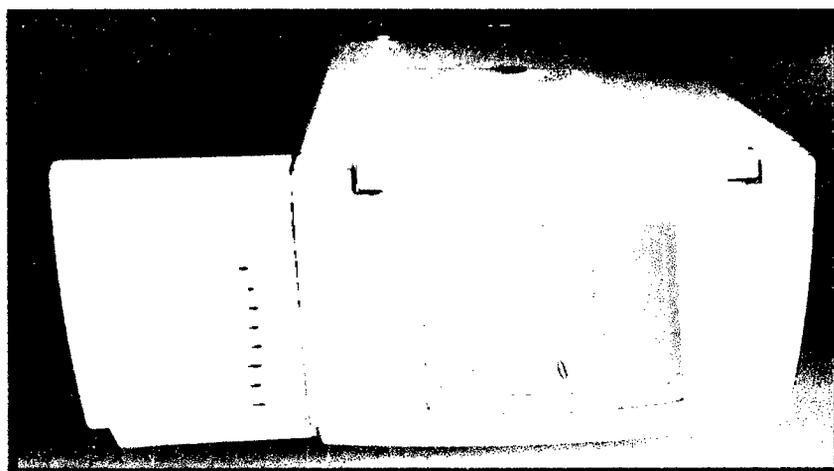
- **Centrifuga**

Marca: Orto Alresa

Modelo: Digicen 21 R

Serie: 141199/03

País de origen: España



**FIGURA 13. Centrifuga**

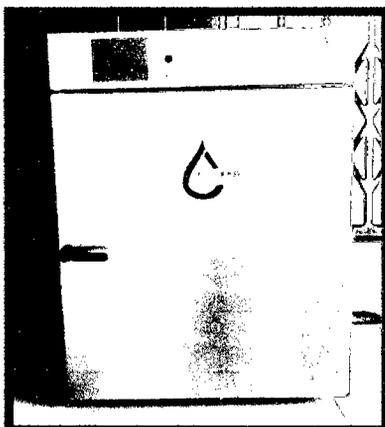
- **Estufa**

Marca: POL-EKO APARATURA

Modelo: SLW115

Serie: SW1TF121018

País de Origen: Polonia



**FIGURA 14. Estufa**

- **Refrigeradora**

Marca: LG

Modelo: GC-L207GLRV

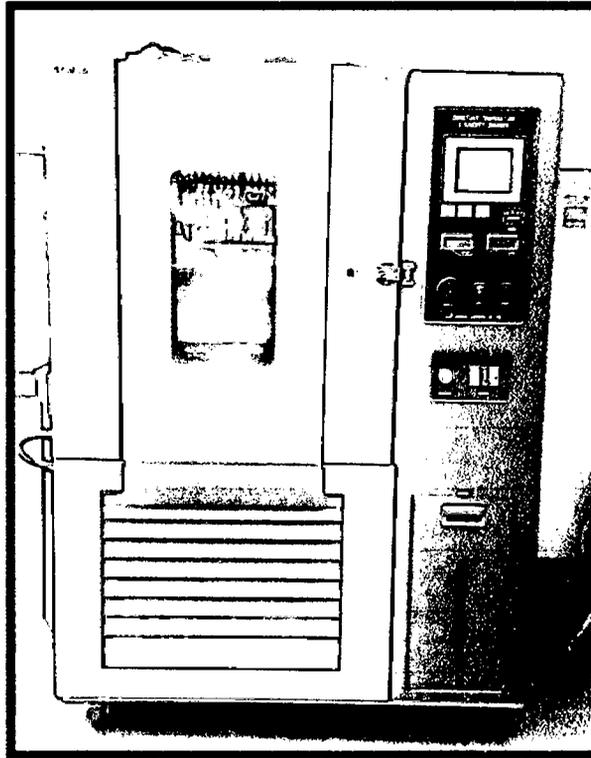
Serie: 404TR2X07181

País de origen: Corea del sur



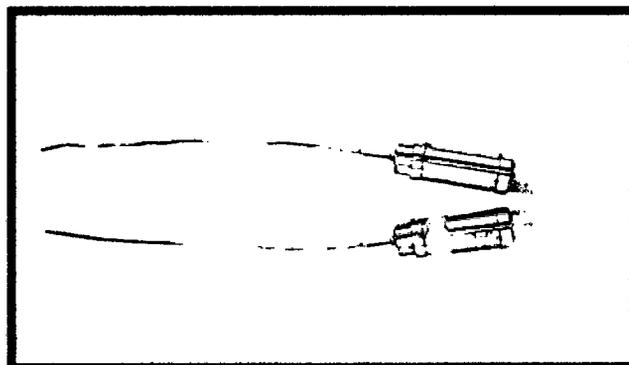
**FIGURA 15. Refrigeradora LG**

- **Cámara climática**  
Marca: LABTECH  
Modelo: LHT-2250C  
Serie: PXOPOP24010  
País de origen: Corea



**FIGURA 16.** Cámara de humedad y temperatura constante

- **Sensores de temperatura**  
Marca: Data Trace  
Modelo: M4T1  
País de origen: Estados Unidos



**FIGURA 17.** Sensores Data Trace

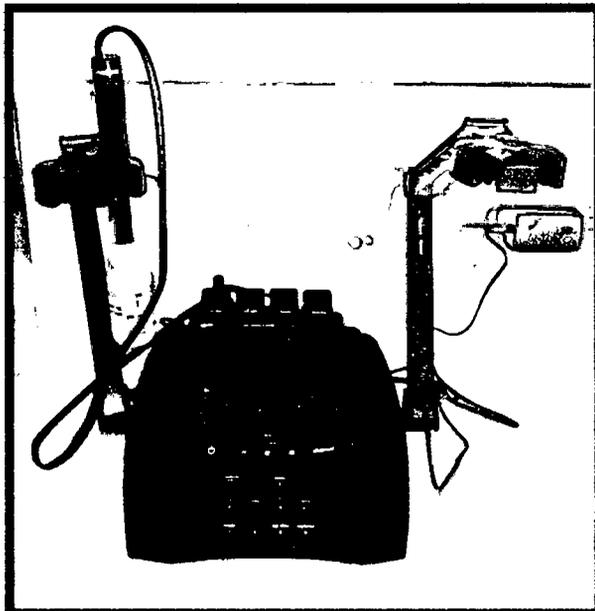
- **Multiparametro**

Marca: Thermo Scientific

Modelo: ORION VERSASTAR

Serie: V03969

País de origen: Estados Unidos



**FIGURA 18. Multiparametro**

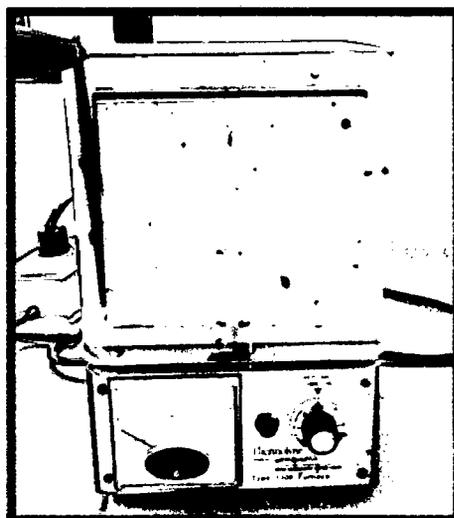
- **Mufla**

Marca: Thermolyne

Modelo: FB1310M – 26

Serie: 34703484

País de origen: Estados Unidos



**FIGURA 19. Mufla**

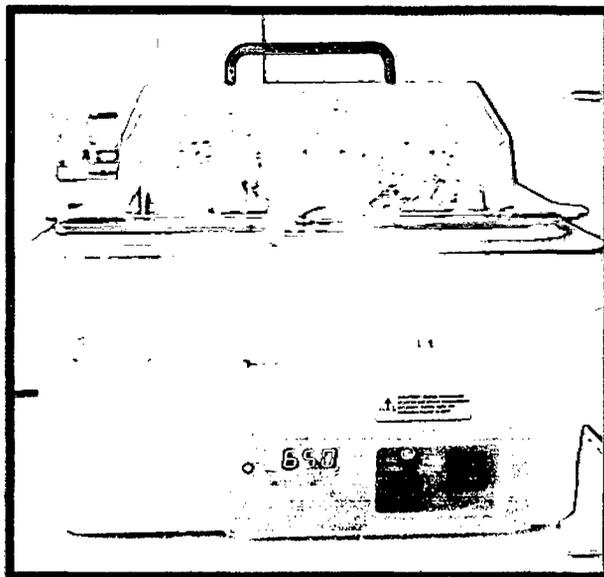
- **Baño María**

Marca: Thermolyne

Modelo: FB131OM – 26

Serie: 34703484

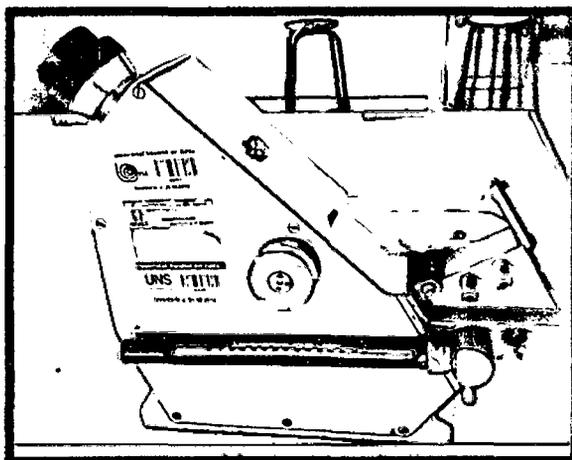
País de origen: Estados Unidos



**FIGURA 20. Baño de María**

- **Refractómetro**

Marca: ABBE



**FIGURA 21. Refractómetro**

### **3.3. MÉTODOS.**

#### **3.3.1. METODOS DE ANÁLISIS.**

##### **3.3.1.1. Determinación de humedad.**

Las medidas del contenido en agua fueron efectuadas mediante el método oficial 20.013 (AOAC, 1980) para alimentos ricos en azúcares.

##### **3.3.1.2. Determinación de sólidos solubles (Brix).**

La determinación del contenido de sólidos solubles se realizará mediante un refractómetro tipo ABBE. Por medida de grados brix. Las medidas se realizarán a temperatura ambiental.

##### **3.3.1.3. Determinación de contenido de cenizas.**

Se empleó una mufla para calcinar la muestra y calcular el contenido en cenizas. Se pesaron aproximadamente 2 g de muestra en los crisoles.

##### **3.3.1.4. Determinación de fibra dietética total.**

El contenido en fibra dietética total (TDF) se analizó empleando el método oficial AOAC N o. 985.29, el cual consiste en un procedimiento enzimático gravimétrico.

##### **3.3.1.5. Determinación de Vitamina C.**

La determinación del ácido ascórbico por el método espectrofotométrico, se basa en la reducción del colorante 2-6 diclorofenolindofenol, por efecto del ácido ascórbico en solución, las mediciones se hicieron a 520 nm.

#### **3.3.1.6. Determinación de Ph y acidez valorable.**

Esta determinación se realizó empleando un pH-metro.

La determinación de acidez se realizó diluyendo una masa conocida de fruta en aproximadamente 40 ml de agua bidestilada.

La valoración se realizó con una disolución de NaOH 0.1 N.

El resultado fue expresado como porcentaje en peso del ácido cítrico.

#### **3.3.1.7. Determinación de color.**

Se determinó mediante un colorímetro, se realizó de 3 a 4 lecturas en diferentes lugares de la muestra, se anotaron los valores de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y se promedian las lecturas.

#### **3.3.1.8. Determinación de higroscopicidad.**

Se llevará a cabo de acuerdo a la metodología descrita por Al-Kahatani y Hassan (1990). 5 g de muestra se colocan en placas Petri de 9 cm de diámetro. Se colocan en una campana a 21 °C y 76 % de humedad relativa. Se registra el incremento de peso de las muestras en intervalos de 15 min.

#### **3.3.1.9. Determinación de la capacidad de rehidratación.**

Una vez deshidratadas las muestras, se procederá a sumergirlas en agua a una temperatura de 40°C. Cada 30 segundos y en un tiempo total de 4 minutos, se realizarán mediciones de masa para medir la capacidad de rehidratación.

### 3.3.2. PROCEDIMIENTO.

La presente investigación se realizó en el Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa; se recolectó fresa de la variedad Camarosa, del Valle de Rinconada, provincia del Santa. El diagrama experimental se presenta a continuación (Fig. 22)

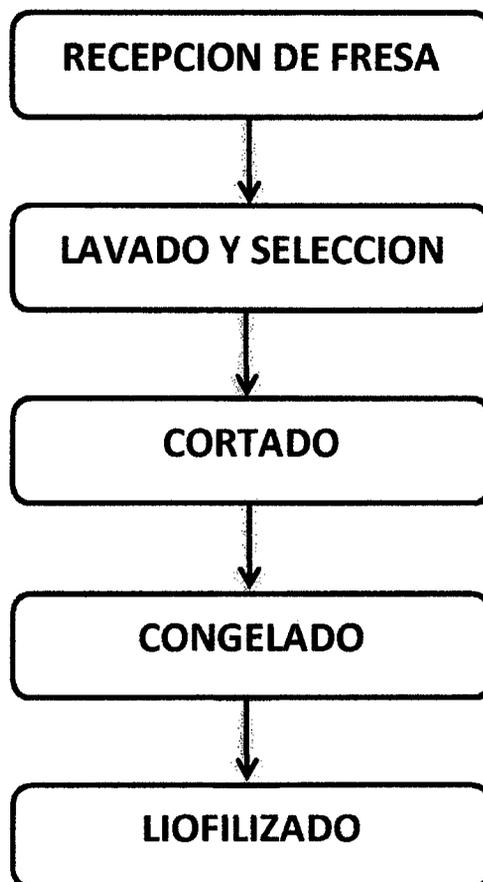


FIGURA 22. Diagrama de flujo experimental

- **Recepción de fresa.**

La fresa de la variedad "Camarosa", con estadio de madurez 4; se cosechó del Valle Rinconada de la provincia del Santa, la cosecha se realizó en horas de la mañana, en jvas de maderas cubiertas con papel, se colocó de dos a tres capas de frutas como máximo en las jvas para evitar daños mecánicos.

Luego las jivas fueron inmediatamente transportadas al Instituto de Investigación Tecnológica Agroindustrial de la Universidad Nacional del Santa.

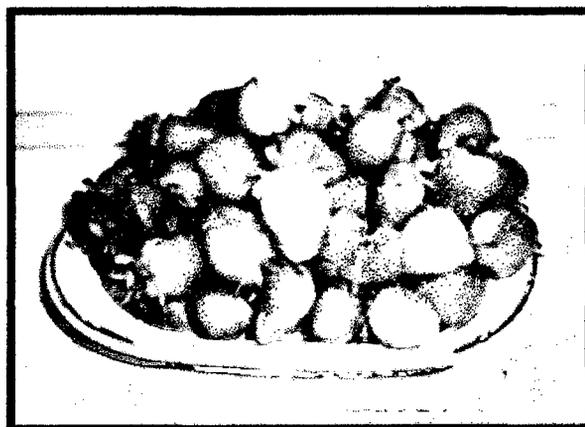
Se decidió cosechar las fresas para los doce tratamientos para eliminar diferencias por factores de pre cosecha y cosecha.



**FIGURA 23.** Cosecha de la fresa

- **Lavado y selección.**

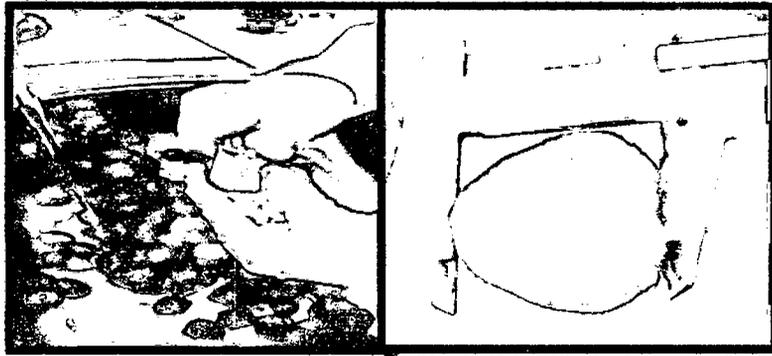
Se separaron las fresas con daños mecánicos, producidas por el transporte, luego se procedió a lavarlas sumergiéndolas en agua potable, esto se puso inmediatamente en refrigeración para evitar que las fresas se deterioren; además se seleccionó las fresas con tamaño y forma uniforme.



**FIGURA 24.** Selección de la fresa

- **Cortado Longitudinal.**

En esta etapa se procedió a quitar el pedúnculo con cuchillo para evitar mayores daños, luego se hizo un corte longitudinal para aumentar el área de transferencia de calor (área de contacto con la bandeja), se midió el espesor de la fresa con un vernier para luego cortarlos con espesores de  $1.80 \pm 0.05$  cm y  $1.15 \pm 0.05$  cm, haciendo una densidad de carga de  $6 \text{ kg/m}^2$  y  $7.5 \text{ kg/m}^2$  respectivamente, ya que las bandejas de acero inoxidable tienen un área de  $0.9 \text{ m}^2$



**FIGURA 25.** Cortado longitudinal de la fresa

- **Congelado.**

Se rotularon las doce bandejas de acero inoxidable según los tratamientos, en donde se colocaron las fresas ya cortadas, en esta etapa se cuidó que la superficie de la bandeja quede totalmente cubierta con las fresas para que el área de contacto de la fresa y la bandeja sea mayor, luego se embolsaron con bolsas de plástico para evitar pérdidas por deshidratación de la fresa y se colocaron en la congeladora a  $-15^{\circ}\text{C}$



**FIGURA 26.** Fresas embolsadas para la congelación

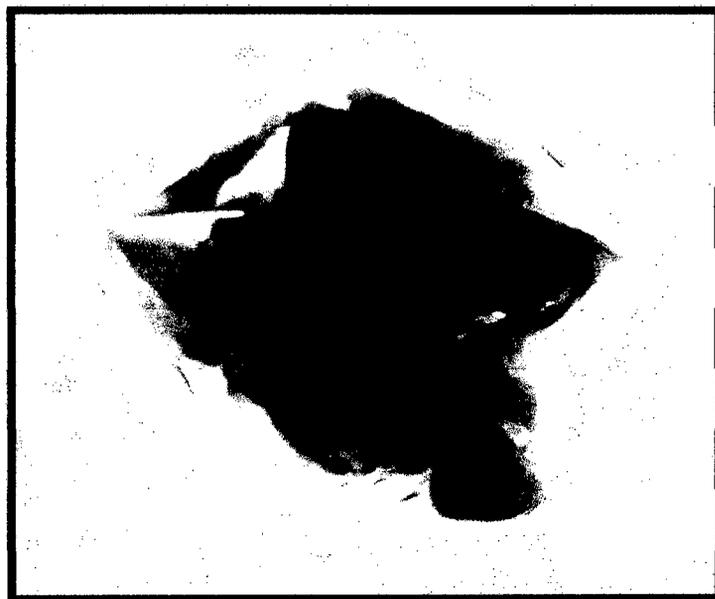
- **Liofilización.**

En la etapa de liofilización se definió dos métodos; el método convencional donde la etapa de congelación a una temperatura de  $-30^{\circ}\text{C}$  se realizó a presión atmosférica y para el método rápido la congelación también a  $-30^{\circ}\text{C}$ , se realizó a presión de vacío de 77,750 Pa a 77,800 Pa,

En la etapa de sublimación se programó tres temperaturas de placa de  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$  y  $-10^{\circ}\text{C}$  para ambos métodos, esta etapa se llevó a cabo a presión de vacío de 77,750 Pa a 77,800 Pa.

El proceso de liofilización finalizó cuando la fresa llegó a  $30^{\circ}\text{C}$ .

Todo este proceso se monitoreó con unos sensores Data Trace que registran los datos de temperatura en tiempo real; se monitoreo la temperatura de la fresa, introduciendo el sensor al centro de la fresa, además se monitoreó la temperatura de placa; los perfiles de temperatura de los doce tratamientos en estudio, muestran la cinética de secado del proceso de liofilización.



**FIGURA 27.** Fresa liofilizada

### 3.3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL.

En el siguiente diagrama se muestra el diseño experimental.

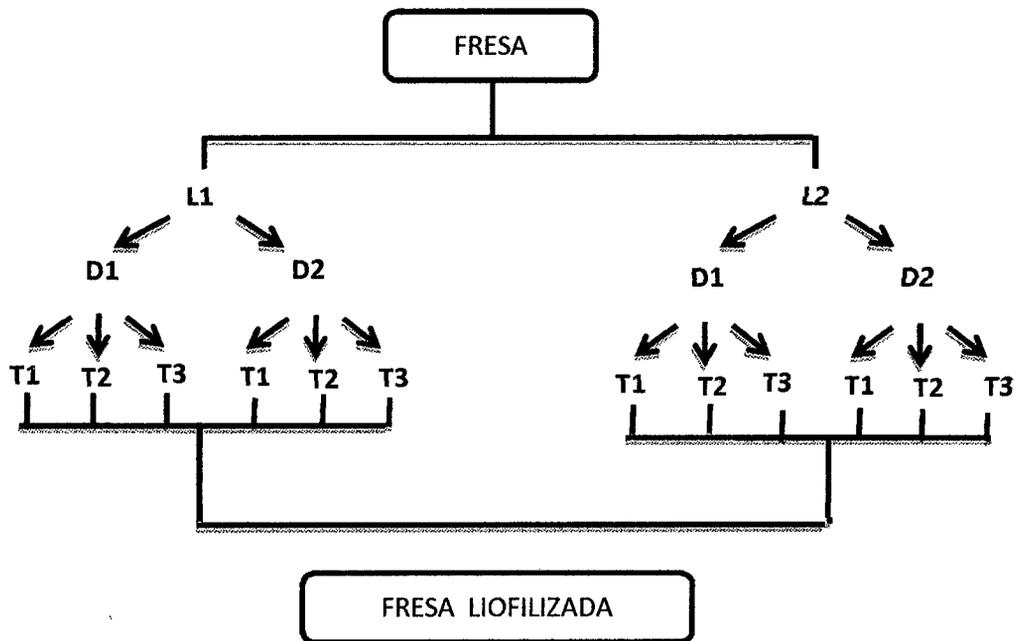


FIGURA 28. Diagrama del diseño experimental

- **Método de liofilizado**  
L1: Método rápido  
L2: Método convencional
- **Densidad de carga**  
D1:  $7.5 \text{ Kg/m}^2$  ( $e=1.80\pm 0.05 \text{ cm}$ )  
D2:  $6 \text{ Kg/m}^2$  ( $e=1.15\pm 0.05 \text{ cm}$ )
- **Temperatura de la Placa durante la sublimación.**  
T1:  $0^\circ \text{C}$   
T2:  $-5^\circ \text{C}$   
T3:  $-10^\circ \text{C}$

El presente trabajo consta de doce tratamientos, teniendo como variables independientes el método de liofilizado, densidad de carga y temperatura de placa. En el cuadro 11 se muestran las interacciones de estas variables y la codificación de los doce tratamientos con los que se hará mención en los resultados.

**CUADRO 11. Codificación de los tratamientos realizados a la fresa**

TRATAMIENTOS	METODO DE LIOFILIZACION	DENSIDAD DE CARGA	TEMPERATURA
T1	Método Tradicional	6	0°C
T2	Método Tradicional	6	-5°C
T3	Método Tradicional	6	-10°C
T4	Método Tradicional	7.5	0°C
T5	Método Tradicional	7.5	-5°C
T6	Método Tradicional	7.5	-10°C
T7	Método Rápido	6	0°C
T8	Método Rápido	6	-5°C
T9	Método Rápido	6	-10°C
T10	Método Rápido	7.5	0°C
T11	Método Rápido	7.5	-5°C
T12	Método Rápido	7.5	-10°C

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3.4. DISEÑO ESTADISTICO

En este trabajo se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 2x2x3, siendo las variables independientes el método de liofilización, densidad de carga y temperatura de placa. Teniendo como variables respuesta el color (L, a\* y b\*), la humedad, la capacidad de rehidratación, higroscopicidad y retención de vitamina C. Los experimentos se realizaron por triplicado.

Los datos se procesaron con el programa STATGRAPHYCS CENTURION.

## IV. RESULTADOS.

### 4.1. Caracterización de la fresa fresca.

En el cuadro 12 se presenta los datos de la composición y las propiedades fisicoquímicas analizadas en el lote de fresa de la variedad "Camarosa" empleado para este estudio.

**CUADRO 12. Características fisicoquímicas y composición de la fresa variedad "Camarosa".**

ANALISIS	RESULTADOS
Humedad (%)	90.2 ± 0.5
Cenizas (%)	0.43 ± 0.1
Fibra (%)	1.04 ± 0.16
Acidez (% de ácido cítrico)	1.02 ± 0.07
PH	3.46 ± 0.05
Sólidos Solubles (°Bx)	6.5 ± 0.03
Vitamina C (mg Vit. C/100g fresa)	58 ± 0.6
Color	L=41.05 ± 0.4 a*= 31.46 ± 0.6 b*=22.86 ± 0.45

**Fuente:** Elaboración Propia

Como era esperado, la humedad de la fruta es bastante alta. Los valores del cuadro 12 coinciden con lo reportado por Morgan *et al* (2006a) para fresas de la misma variedad cultivadas en España, que son de 91.4 ± 0.4 g agua /100 g de muestra, 6.8 ± 0.3°Brix, ph de 3.39 ± 0.07 y 0.74 ± 0.05 de acidez (% ácido cítrico) respectivamente. Kafkas *et al.*(2007) también obtuvieron valores similares (pH=3.29±0.08, °Bx= 7.07±0.02, acidez=0.83% ± 0.13) para fresas de la misma variedad cultivadas en Turquía.

En los trabajos mencionados anteriormente, la acidez fue la que más difirió de la reportada en el cuadro 12, sin embargo, esta diferencia así como las pequeñas diferencias en los demás valores pueden deberse a diferentes grados de madurez de la fruta.

En este estudio no se determinó la composición de azúcares de la fresa, sin embargo los valores obtenidos por Moraga et al (2006a) fueron 2.2 %, 2.4% y 0.06 % de glucosas, fructuosa y sacarosa respectivamente.

El contenido en sólidos solubles ( $6.5 \pm 0.03$ ) presentes en esta fruta se asocia con una mayor proporción de azúcares sencillos que de otros hidratos de carbono con estructuras más complejas, como gomas o fibras; otros componentes que contribuyen al contenido en sólidos solubles de la fruta, relacionado con el valor de °Brix, son los presentes en la fracción soluble de la fibra dietética total.

Klopotek et al. (2005) obtuvieron contenidos de vitamina C entre 37 y 69 mg/100 g en diferentes zumos de fresa, siendo la concentración de ácido ascórbico del lote de fresas analizados en este estudio 58 mg/100 g.

#### 4.2. Resultados del proceso de liofilización

Los resultados de velocidad de congelación y tiempos de congelación, sublimación y desorción en el proceso de liofilización de los doce tratamientos realizados en esta investigación se muestran en el Cuadro 13.

**CUADRO 13. Resumen de tiempos y velocidad de congelación**

TRATAMIENTOS	VELOCIDAD DE CONGELACIÓN (°C/min)	TIEMPO DE CONGELACIÓN (horas)	TIEMPO DE SUBLIMACIÓN (horas)	TIEMPO DE DESORCIÓN (horas)
T1	0.20	2,2	20.25	5
T2	0.20	2,2	16.5	5.3
T3	0.23	2	13.6	6.1
T4	0.17	2,7	21.5	5
T5	0.18	2,5	17.75	5.6
T6	0.16	2,8	14.7	6.6
T7	0.9	0.5	20.7	5.2
T8	0.9	0.5	17	5.45
T9	1.13	0.4	14	6.5
T10	0.6	0.75	21.75	5.3
T11	0.64	0.7	18.2	5.7
T12	0.64	0.7	15.1	6.75

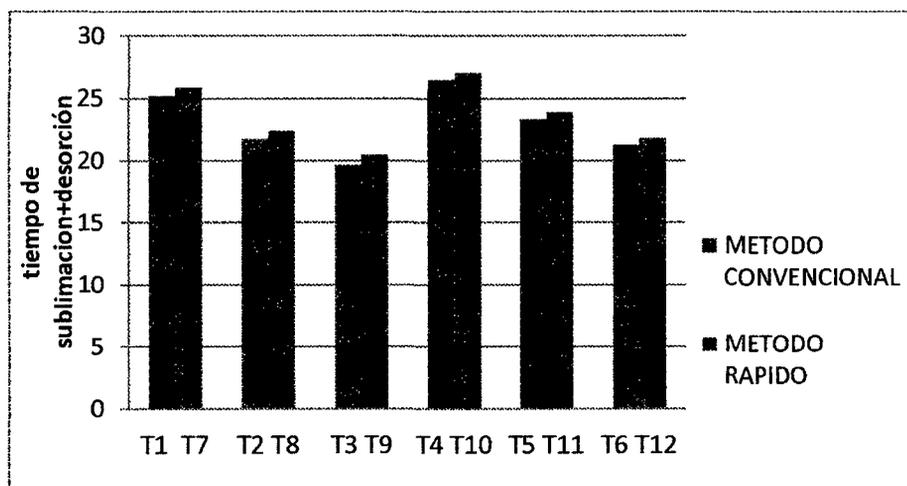
**Fuente:** Elaboración propia

En el Cuadro 13 se observa que el método convencional presenta una velocidad de congelación lenta en promedio 0.19 °C/min frente al método rápido que presenta en promedio 0.81 °C/min, de acuerdo a la clasificación citada por Bravo M. (2009) que considera una congelación lenta en un tiempo de 2 -72 horas y congelación rápida a un tiempo de 30 min.

Además también se observa que el tiempo de liofilización con densidad de carga de 7.5 kg/m<sup>2</sup> es ligeramente mayor que la liofilización a una densidad de 6 kg/m<sup>2</sup>, esto es debido a la diferencia en el espesor de la fresa que obstruye la transferencia de masa, como lo explica Roos, R.H. (1987). que menciona que en la transferencia de calor y masa se combinan la acción de la temperatura y los gradientes de presión como fuerzas impulsoras, que deben vencer las resistencias puestas por el espesor de la muestra y sus características físicas.

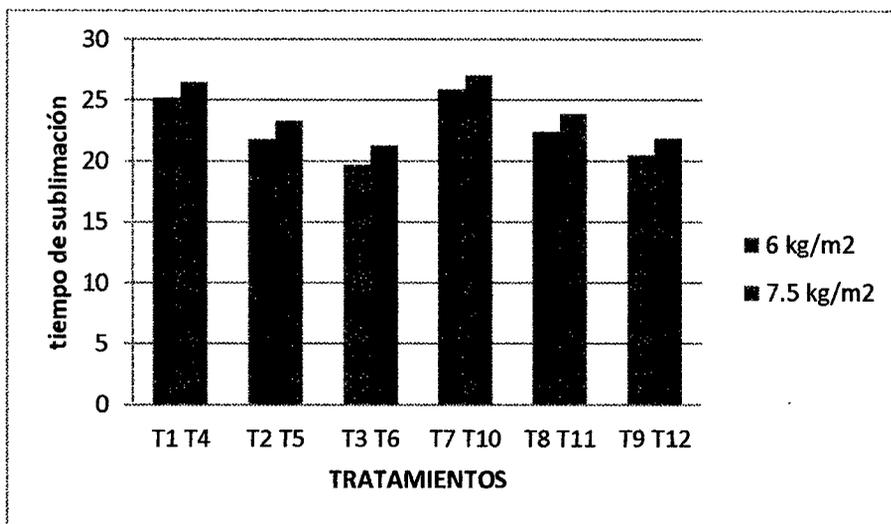
El espesor es importante, mientras éste es más delgado, hay menor resistencia para que el flujo de calor y masa pase a través de la muestra. La transferencia de calor se hace por conducción, convección gaseosa y radiación (o una combinación de ambos mecanismos) siendo esta última la preponderante cuando se opera a muy baja presión

King, J. (1971) citado por Bravo M. (2009) menciona que con una congelación lenta se incrementa la formación de grandes cristales, lo que a su vez favorece la liofilización; para el caso de productos que deban preservar la integridad de las membranas celulares esta situación representa un grave problema, pues los cristales las rompen con consecuencia en la preservación de la estructura original del material. El incremento de la velocidad de congelación hace que se enriquezca el sólido en fase amorfa con presencia de micro cristales que hacen poco daño a las membranas celulares; sin embargo, simultáneamente se incrementa la presencia de agua no congelada atrapada en la zona vítrea que es difícil de retirar en el secado, lo mencionado por el autor concuerda con el Grafico 01 que muestra 2.6% menos tiempo de liofilización para el método convencional con las mismas condiciones que el método rápido, debido a la formación de grandes cristales.



**GRAFICO 01.** Comparación del tiempo de sublimación de los métodos de liofilización

Bravo M. (2009) menciona que un tipo de congelación emplea líquidos criogénicos (nitrógeno líquido y dióxido de carbono, líquido o sólido) para congelación instantánea de productos de tejidos delicados como hongos, fresas, moras y frambuesa; también se conoce como IQF (Individually QuickFrozen), por lo que se concluye que para la fresa, por ser un producto de tejidos delicados es recomendable una congelación rápida, lo antes mencionado de puede verificar en el gráfico 02, donde se observa que a una mayor densidad el tiempo de de liofilización es mayor hasta en un 5,8%.



**GRAFICO 02.** Comparación del tiempo de sublimación de las densidades de carga

### 4.3. Evaluación de la calidad de la fresa liofilizada.

Para evaluar la calidad de la fresa liofilizada se tuvo en cuenta los siguientes parámetros: color, humedad, capacidad de rehidratación, higroscopicidad, y vitamina C.

#### 4.3.1. Color.

En el Cuadro 14 se muestran los parámetros de color de las muestras liofilizadas de los doce tratamientos aplicados en esta investigación.

**CUADRO 14. Parámetros colorimétricos de la fresa liofilizada**

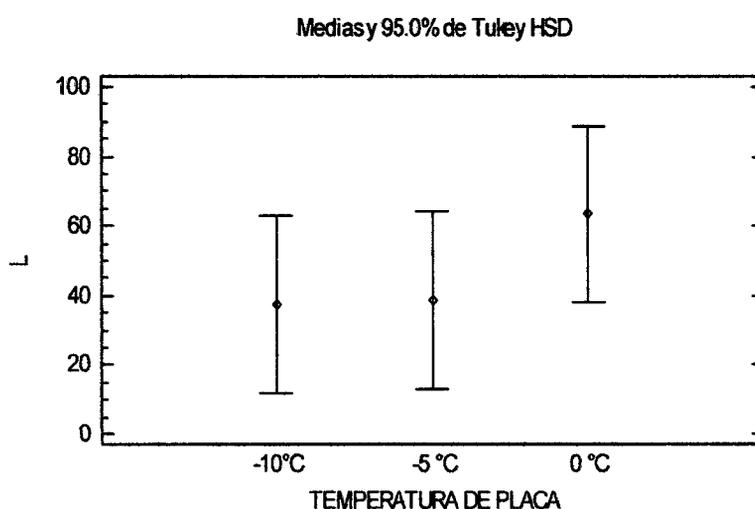
TRATAMIENTO	L	a*	b*	C	h
T1	38.7	34.63	17.91	52.54	27.35
T2	39.61	34.31	19.51	53.82	29.62
T3	33.68	39.43	21.2	60.63	28.26
T4	35.93	34.07	16.03	50.1	25.20
T5	36.85	29.4	18.51	47.91	32.19
T6	35.6	35.33	20.74	56.07	30.41
T7	39.42	34.87	20.11	54.98	26.97
T8	39.79	35.75	19.86	55.61	29.05
T9	35.55	39.3	20.33	59.63	27.35
T10	37.75	37.03	20.19	57.22	28.6
T11	36.97	34.2	18.46	52.66	28.36
T12	35.9	34.85	19.86	53.42	28.05

**Fuente:** Elaboración propia

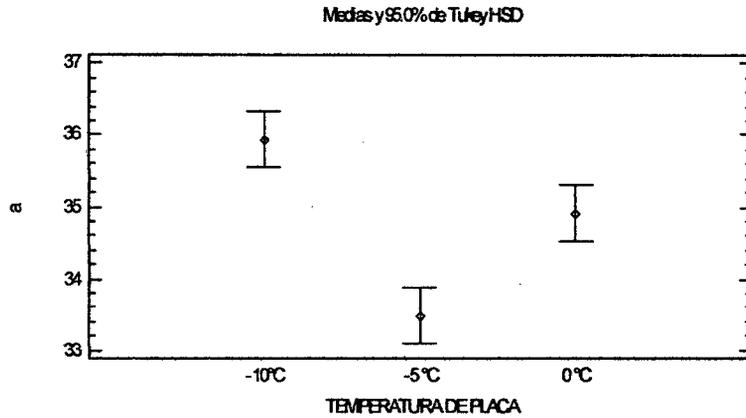
Como se puede observar los valores de luminosidad L más bajo y los mayores valores para a\*, se presentan en los tratamientos T3 y T9, lo que indica que dicho producto presenta un color rojo (+a\*) más puro y oscuro (debido a L). En cuanto al croma (C\*) y tono (h\*), estos también son mayores, confirmando el matiz más rojo y el color más intenso de este producto.

Hammami & Frédéric (1997). El aumento de color rojo de las fresas liofilizadas conduce a un aumento (10%) de a\* y una disminución (15%) de b\* en comparación con la fresa fresca. Estos cambios en las coordenadas

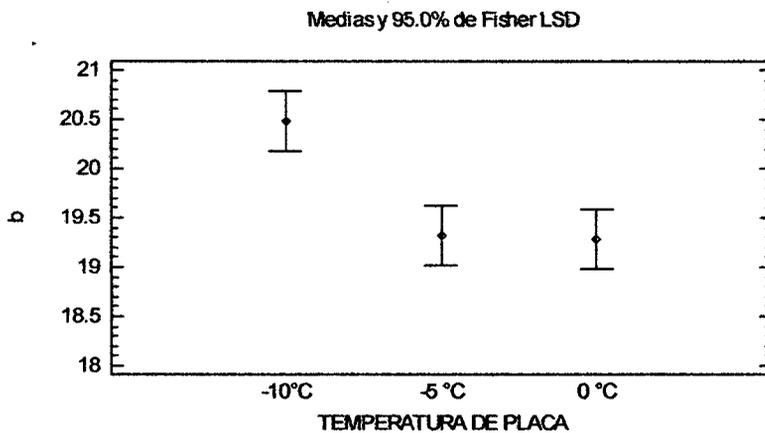
cromáticas son comparables a los congelados, pero son más marcados. Por lo tanto, este fenómeno de aumento de color rojo se puede atribuir tanto a la congelación y al efecto de reducción de agua. Este fenómeno fue también informado por Carballido y Rubio (1970) para las fresas liofilizadas a 25 ° C y 15 Pa. Wrolstad et al. (1970) también han demostrado que el color rojo de la fresa fue reforzada por la congelación. Este fenómeno es debido a la modificación de la forma de uno de los principales colorantes de la fresa, pelargonidina-3-glucósido. El color rojo más pronunciado de fresas liofilizadas también puede ser se explica por un efecto de concentración de los pigmentos rojos (antocianinas) en el secado del producto; lo mencionado por el autor concuerda con los datos presentados en este informe ya que se nota un claro aumento del 11% para  $a^*$  y una disminución del 15% de  $b^*$  en la fresa liofilizada comparada con la fresa fresca de la variedad Camarosa.



**GRAFICO 03.** Gráfico de medias de temperatura de placa vs luminosidad



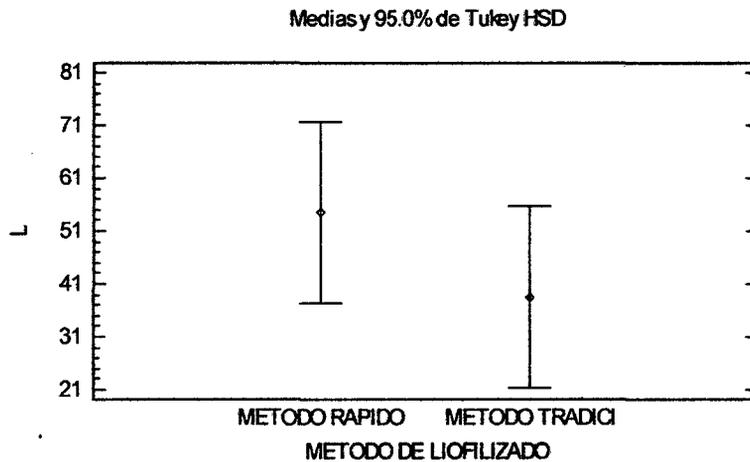
**GRAFICO 04.** Gráfico de medias de temperatura de placa vs a\*



**GRAFICO 05.** Gráfico de medias de temperatura de placa vs b\*

Hammami & Frédéric (1997). Los resultados estadísticos de color de fresa secada en diferentes condiciones de procesamiento, mostró que los parámetros de color son dependientes de la temperatura de la placa de calentamiento. A mayor temperatura de placa de calentamiento ( $T > 60^{\circ} \text{C}$ ) se observa también un ligero descenso en la luminancia valor  $L^*$  (piel y la pulpa), que puede ser atribuido a la aparición del color marrón oscuro en la superficie de la fruta, la modificación de su propiedad óptica de la reflexión de la luz, lo antes mencionado se verifica en los gráficos 03, 04 y 05 que muestran que existe diferencia de medias de los parámetros de color frente a la temperatura de placa

El ANOVA multi factor (VER ANEXO 01) mostró que hubo diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) del efecto de la temperatura de placa en los parámetros de color  $a^*$  y  $b^*$ .



**GRAFICO 06.** Gráfico de medias Método de Liofilización vs Luminosidad

Hammami & Frédéric (1997). Por lo tanto, la luminancia de un producto congelado rápidamente es más alta que el mismo producto congelado lentamente. Esto ha sido discutido para el café instantáneo (Petersen et t21., 1970) y plátano (Cosio, 1.997), pero la diferencia entre los productos liofilizados a diferentes velocidades desaparece después de la rehidratación. La relación entre la velocidad de congelación y la luminancia del producto liofilizado también se informó por Genin (1995) para el calabacín, cebolla y perejil.

L. Mosquera (2010). A partir de una actividad del agua de 0.33, las muestras pierden tonalidad roja, volviéndose más anaranjadas. Este cambio es mayor cuanto mayor es la humedad de las muestras, esto se verifica en el cuadro 14 donde la tonalidad del método rápido es menor que la des método convencional, por efecto de la humedad.

Según el análisis de Tukey se obtuvo que el tratamiento optimo fue el nueve (método rápido, densidad de carga de 6 kg/m<sup>2</sup> y temperatura de placa de -10°C), ya que visualmente se observó más llamativo debido a que se obtuvo mayores valores de  $a^*$ , es decir mayor concentración de pigmentos y mayor luminosidad, menor perdida de agua. (. (VER ANEXO 01).

#### 4.3.2. Humedad.

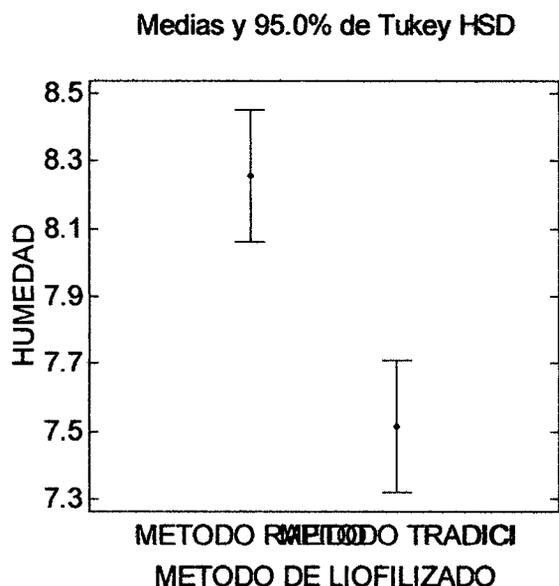
En la cuadro 15 se muestran los resultados de humedad de los doce tratamientos realizados en esta investigación.

**CUADRO 15. Resultados de humedad de la fresa liofilizada (%)**

TRATAMIENTO	HUMEDAD
T1	8.65
T2	7.19
T3	5.89
T4	8.99
T5	7.67
T6	6.69
T7	9.5
T8	8.25
T9	6.67
T10	9.49
T11	7.83
T12	7.81

**Fuente:** Elaboración Propia

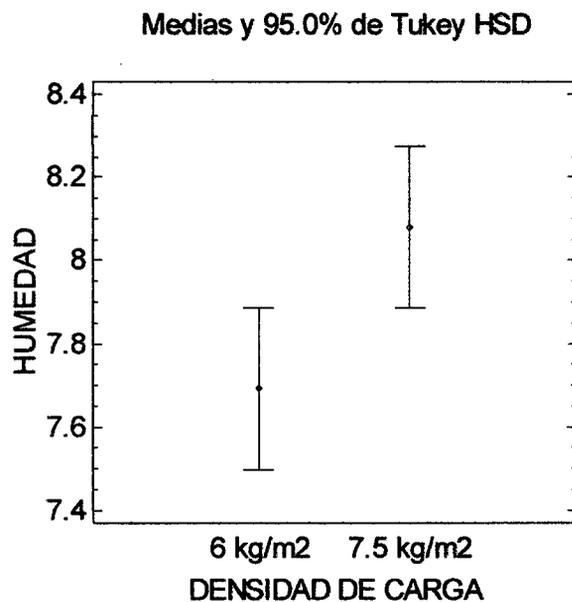
Mosquera, L. (2010); encontró para muestras recién liofilizadas una humedad de 9.5, 5.5 y 5.0 g agua/100 g producto para Fresa, Fresa + Maltrodextrina y Fresa + Goma arábica, respectivamente; los valores de humedad encontrados en esta investigación se encuentran dentro del rango mencionado por el autor. 5.89 % – 9.5 %)



**GRAFICO 07.** Gráfico de medias de humedad vs método de liofilización

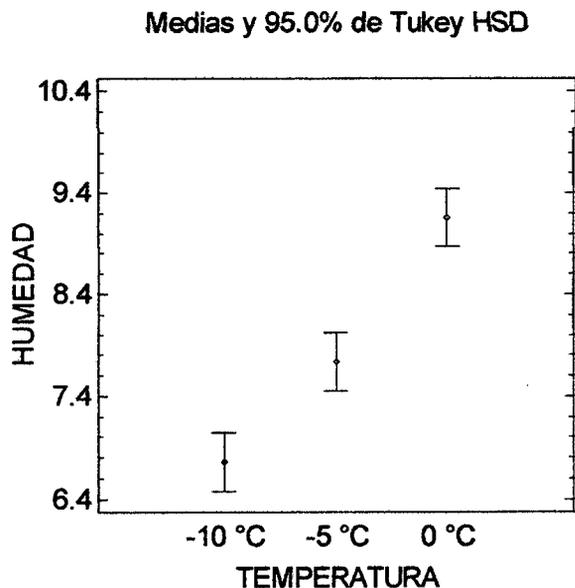
En el grafico 07, según el análisis de medias de Tukey, se puede observar que la humedad para el método tradicional es menor en comparación con el método rápido; esto es debido a que con una congelación lenta se incrementa la formación de grandes cristales, lo que a su vez favorece la liofilización. Carlos Orrego (2008)

Polito, M. y Tirado, I. (2013). A menor tiempo de congelación presenta mayor contenido de humedad esto se debe a que el tiempo de congelación es muy corto, entonces el agua libre de la pitahaya no ha sido congelado en su totalidad, por ende la sublimación es lenta. (Parzanese, 2008), El objetivo de la congelación es congelar el agua libre del producto. Con esto se busca que el producto congelado tenga una estructura sólida, sin que haya líquido concentrado, de manera que el secado ocurra únicamente por sublimación; lo mencionado por el autor explica el Grafico 06, donde se observa según el gráfico de medias de Tukey con 95 % de confiabilidad que el método rápido tiene mayor porcentaje de humedad comparado con el método tradicional.



**GRAFICO 08.** Gráfico de medias de humedad vs densidad de carga

En el gráfico 08 se observa que a una densidad de carga de 7.5 kg/m<sup>2</sup> el porcentaje de humedad es mayor esto puede deberse a que a mayor densidad de carga mayor es el espesor de la fresa, por lo que la transferencia de masa de agua desde el centro de la fruta al exterior es más lento.



**GRAFICO 09.** Gráfico de medias de humedad vs temperatura de placa

El gráfico 09 muestra diferencia entre los tres niveles de temperatura, a la temperatura de 0 °C presento mayor porcentaje de humedad, esto puede deberse que al estar a una temperatura cercana a la temperatura de fusión del agua en la etapa de sublimación, ésta a podido descongelarse en el interior del producto evitando así su sublimación y por ende aumentando la humedad del producto final.

El ANOVA multifactor realizado ( $p < 0.05$ ) mostró que existe efecto altamente significativo de la temperatura ( $p < 0.05$ ) y del método de liofilización ( $p < 0.05$ ) en el porcentaje de humedad. (ver anexo 01)

#### 4.3.3. Capacidad de Rehidratación.

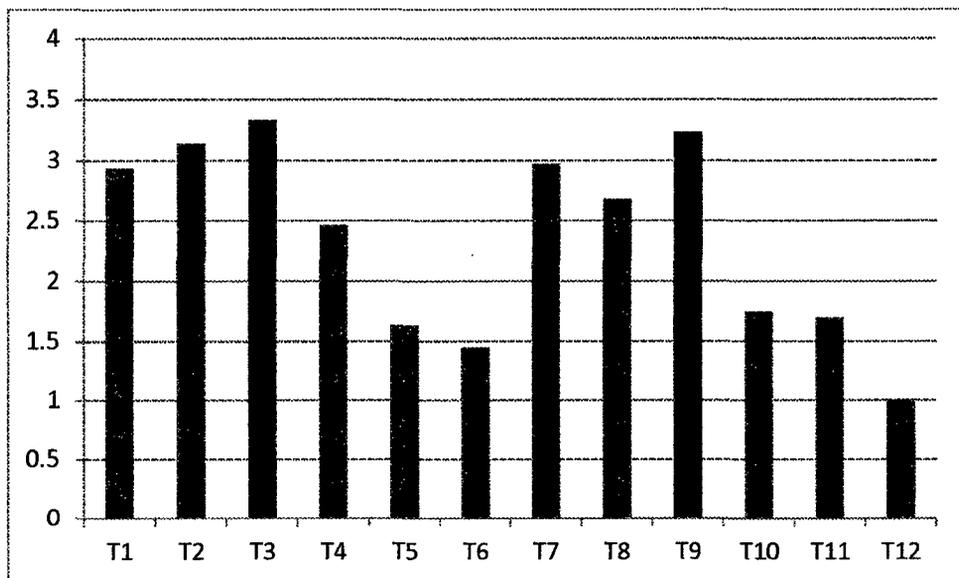
En la Cuadro 16 se muestran los resultados de la capacidad de rehidratación de la fresa liofilizada para los doce tratamientos. Los datos obtenidos representan el aumento de masa de la fresa liofilizada al ser sumergida en agua a 40°C, las medidas se hicieron en intervalos de 30 s para un tiempo total de 4 minutos.

**CUADRO 16. Capacidad de rehidratación de la fresa liofilizada (kg agua/kg m.s.)**

TRATAMIENTOS	CAPACIDAD DE REHIDRATACION
T1	2.938
T2	3.1405
T3	3.338
T4	2.4695
T5	1.6365
T6	1.4535
T7	2.9785
T8	2.6845
T9	3.2375
T10	1.699
T11	2.44
T12	1.0115

Fuente: Elaboración propia

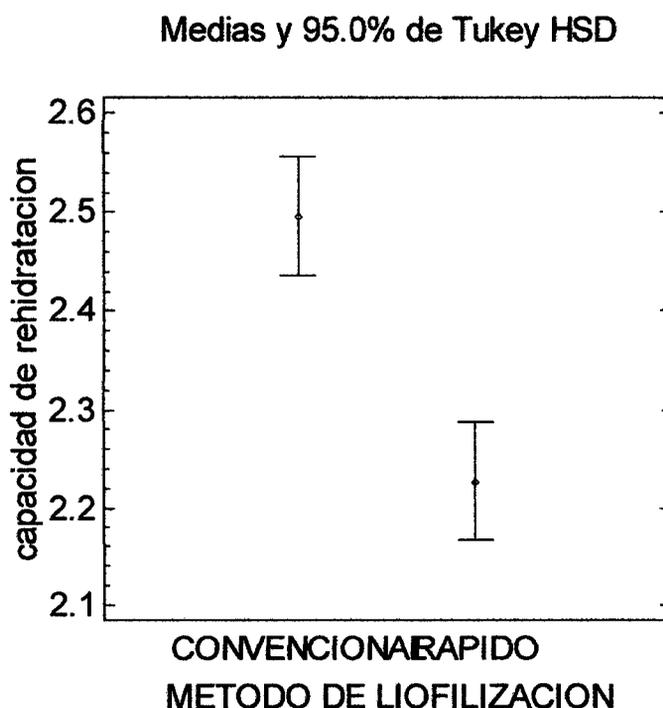
En el cuadro 16, se muestra la capacidad de rehidratación de la fresa liofilizada, apreciándose que a 4 min de rehidratación los tratamientos T3 y T9, mostraron mayor capacidad de rehidratación obteniendo como resultado 3.338 y 3.238 kg agua/kg m.s. respectivamente. (Ayala et al. 2010), obtuvo como resultado 2,614 (Kg agua/Kg m.s). Esta diferencia se debe a la humedad inicial de la fruta fresca y otros factores tales como velocidad de congelación, presión y temperatura de liofilización. Para ELIA y BARESSI (1998), normalmente la tasa de congelación rápido, genera pequeños cristales de hielo y un periodo de secado primario largo y da la ventaja de dar una calidad al producto final más alta; sin embargo, cada proceso y producto tienen propiedades diferentes. El congelamiento lento ocasiona una formación de cristales de hielo grandes que pueden ser perjudiciales para las celdas, ya que después de la sublimación, estos cristales producen daños en las estructuras de la fruta, citado por Rueda G. (2008).



**GRAFICO 10.** Capacidad de rehidratación de la fresa liofilizada

El grafico 09 confirma los resultados del cuadro 16, se aprecia que a menor tiempo de congelación (método rápido) la capacidad de rehidratación son menores que para los de mayor tiempo de congelación (método convencional). Obtuvimos como resultado que en el método convencional, la capacidad de rehidratación es 6,6% más que el método rápido.

En la experiencia se observó que en el primer minuto se absorbe mayor cantidad de agua, en los últimos minutos la absorción de agua se hace más lenta, esto se da por que los poros se saturan rápidamente en los primeros minutos; cabe mencionar que a los 4 min del proceso de rehidratación no se ha llegado a un equilibrio de humedad lo que significa que puede seguir incrementándose la absorción de agua. Según Sahagian y Douglas(1996), En el fenómeno de rehidratación existen tres procesos simultáneos: a) La absorción de agua dentro del material deshidratado, b) La lixiviación de solutos y c) El hinchamiento del material, donde el cambio de volumen del producto deshidratado es proporcional a la cantidad de agua absorbida, aumentando o recuperando su tamaño y volumen inicial citado por (Huayama P. y Tirado S. (2013).



**GRAFICO 11.** Gráfico de medias del método de liofilización y CR

En el gráfico 10, con las pruebas Tukey con un 95% de confiabilidad, se comprobó que existe diferencia entre los métodos de liofilización, esto se confirma con el ANVA, que muestra diferencia altamente significativa ( $p < 0.05$ ) en la capacidad de rehidratación por efecto del método de liofilización.

Las muestras liofilizadas por el método convencional presentan mayor capacidad de rehidratación frente a las del método rápido. Esto es debido a la formación de cristales de hielo, ya que esto afectará directamente en la porosidad de la fresa, y por ende a la capacidad de rehidratación. La velocidad de congelación es importante en la liofilización por la formación de cristales de hielo.

#### 4.3.4. Higroscopicidad.

En el cuadro 17 se muestran los datos de higroscopicidad de la fresa liofilizada para los doce tratamientos. Los datos obtenidos representan la cantidad de agua absorbida, esto representa el promedio de agua absorbida en intervalos de 15 min. para un tiempo total de 2 horas.

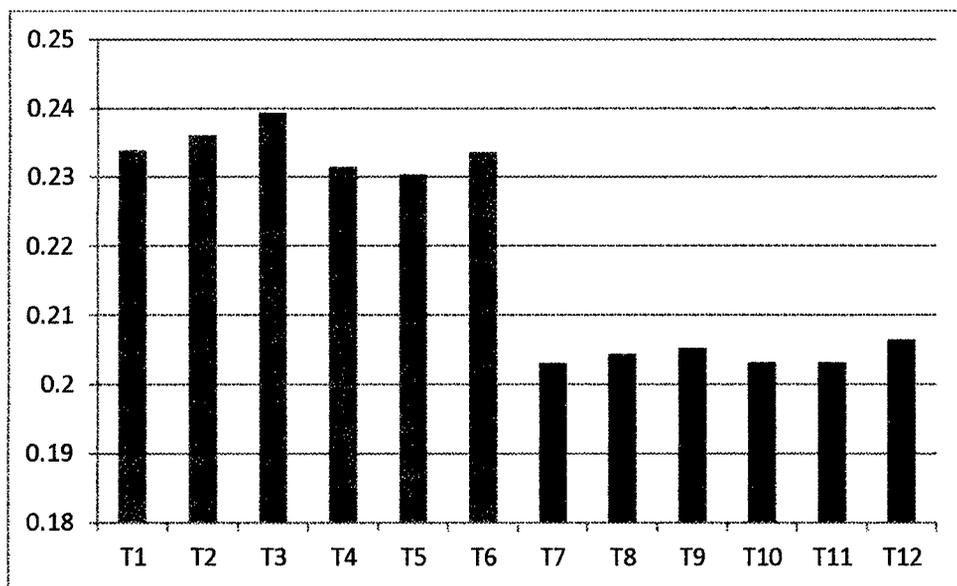
**CUADRO 17. Higroscopicidad de la fresa liofilizada (g agua/g m.s.)**

TRATAMIENTO	HIGROSCOPICIDAD
T1	0.2340
T2	0.2362
T3	0.2395
T4	0.2315
T5	0.2304
T6	0.2337
T7	0.2031
T8	0.2044
T9	0.2053
T10	0.2032
T11	0.2032
T12	0.2065

**Fuente:** Elaboración propia

En el cuadro 17 se observa que la menor higroscopicidad se presentó en los tratamientos con método rápido de liofilización, siendo el tratamiento T7 el que presenta una higroscopicidad de 0.2031 g agua/g m.s. El método convencional presenta mayor higroscopicidad que el método rápido, porque hubo una mayor concentración de azúcares, según Orrego, O. (2008) debido a la formación de cristales grandes en la velocidad de congelación

lenta que facilita la sublimación en el secado primario, caso contrario ocurre con la congelación rápida que se incrementa la presencia de agua no congelada atrapa en la zona vítrea que es difícil de retirar en el secado.

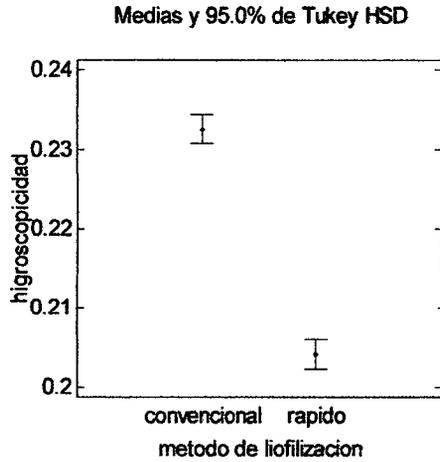


**GRAFICO 12.** Higroscopicidad de la fresa liofilizada

El que los azúcares sean higroscópicos, crea problemas para su almacenamiento, ya que si se mantienen humedades relativas superiores al 70% se forman pegotes debido a la absorción del agua. Badui, S. (1999).

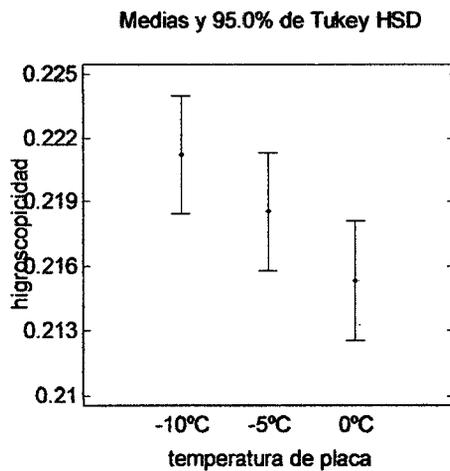
En el gráfico 11, se muestra la higroscopicidad de la fresa liofilizada, observándose que a 2 horas de exposición en la cámara de higroscopicidad, los tratamientos del método convencional presentan mayor higroscopicidad debido a su baja humedad frente al método rápido. Al tener baja humedad, los azúcares como la glucosa, fructuosa y sacarosa se concentraron más que en las muestras liofilizadas con el método rápido, lo que aumenta la higroscopicidad.

El método rápido y temperatura de placa a 0°C presentan menores valores de higroscopicidad, tal y como lo demuestran los gráficos de medias (Gráficos 12 y 13).



**GRAFICO 13.** Gráfico de medias del método de liofilización vs higrscopicidad

En el grafico 13, las pruebas de medias de Tukey con un 95% de confiabilidad se observó que existe diferencia en el método de liofilización, esto se comprueba con el ANVA (anexo 1), que muestra diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en la higrscopicidad por efecto del método de liofilización. El método convencional demora 2 horas en congelar y su formación de grandes cristales facilita la remoción de agua en la etapa de sublimación obteniéndose así productos más secos y con mayor concentración de sólidos lo que hace que el producto sea más higrscópico.



**GRAFICO 14.** Gráfico de medias de temperatura de placa vs higrscopicidad

En el gráfico 14, con las pruebas Tukey y el ANOVA ( $p < 0.05$ ) (ver anexo 1) se comprobó que existen diferencias significativas en la higroscopicidad por efecto de la temperatura de placa.

#### 4.3.5. Vitamina C.

El cuadro 18 muestra los resultados de vitamina C/100g de fresa, para los doce tratamientos realizados en esta investigación.

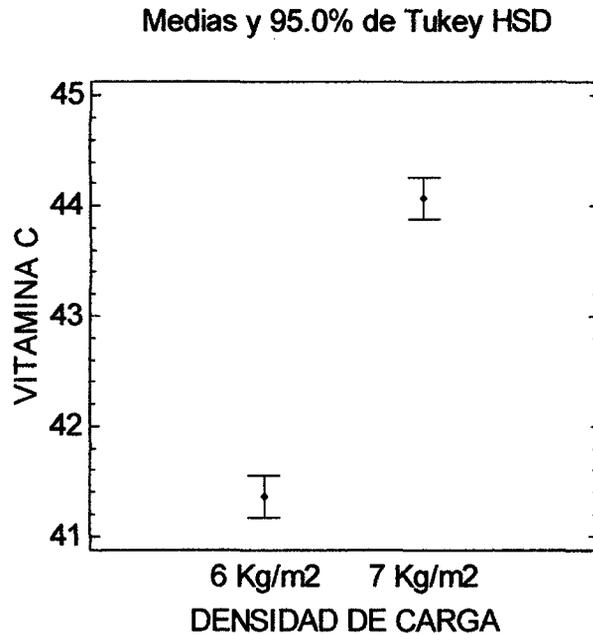
**CUADRO 18. Vitamina C de la fresa liofilizada por 100g de producto**

TRATAMIENTO	VITAMINA C	RETENCION DE VITAMINA C (%)
T1	41.25	72.38
T2	41.13	72.67
T3	41.96	71.1
T4	43.98	77.95
T5	44.48	76.66
T6	45.24	75.84
T7	40.97	71.55
T8	41.33	71.31
T9	41.53	70.6
T10	41.33	76.47
T11	44.19	76.12
T12	44.35	74.59

**Fuente:** Elaboración propia

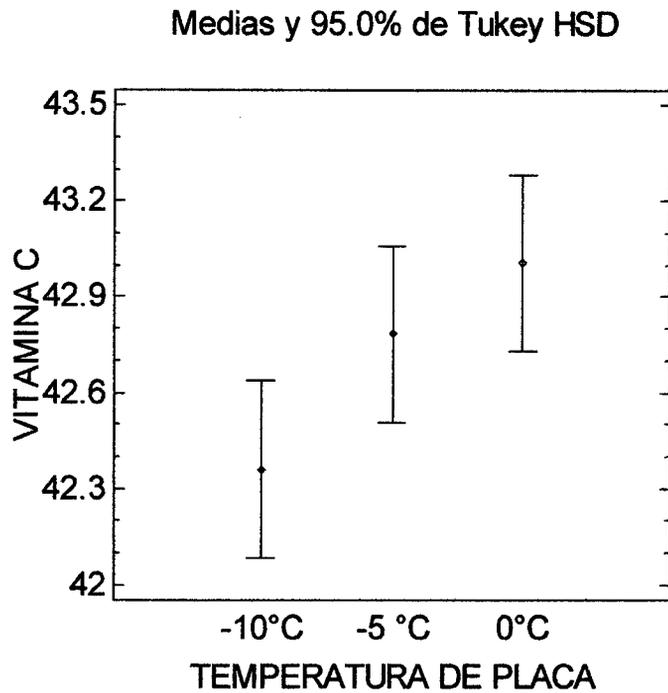
Ceballos (2008) menciona que la liofilización permite disminuir la pérdida de compuestos volátiles o termosensibles, como la vitamina C, esto es debido a que la remoción de agua se da a bajas temperaturas, lo que se puede comprobar en el cuadro 18 ya que la pérdida de vitamina C es mínima en promedio 26.06%

Rodríguez, G. et al. (2010), La liofilización de fruta fresca reportó una pérdida de vitamina C de sólo 21.47%, valor muy por debajo de los otros métodos de secado, en el cuadro 18 se observa que la pérdida de vitamina C se encuentra en una rango de 22.05% -29.4%, lo cual es similar a lo reportado por el autor.



**GRAFICO 15.** Gráfico de medias Densidad de Carga vs Vitamina C

Amores D. (2011) menciona en su investigación para la liofilización de mora entera una pérdida de vitamina C de 21.7%, mientras que ha diámetros de 3m, 5 mm, 8 mm presenta pérdidas de 38.4%, 27.1%, 32.9 %, es decir que en mora entera liofilizada es menor la pérdida de vitamina C, ya que cuando se rompen los tejidos en este caso por el troceado quedan expuestos y son menos retenidos los compuestos como la vitamina C. Lo antes mencionado explica los resultados del gráfico 15, a una densidad de carga menor ( $e=1.15$  cm) las pérdidas de vitamina C son mayores. Aunque en el ANVA (ver anexo 01), muestra que la densidad de carga no tiene efecto significativo ( $p>0.05\%$ ) en la retención de vitamina C, esto se debe a que en ambas densidades la fresa fue cortada, se tendría que hacer pruebas liofilizando la fresa entera para ver el efecto que tiene el cortado de la fruta en la retención de vitamina C.



**GRAFICO 16.** Gráfico de medias temperaturas de placa vs Vitamina C

C. MARQUEZ, H. CIRO Y B. ROJANO (2003), en su trabajo concluyen que “El porcentaje de pérdida de vitamina C es linealmente creciente con respecto al aumento de temperatura y troceado de la mora de castilla” y F. MORA en su libro expresa que “Al someter a los alimentos a temperaturas inferiores a las de su punto de congelación, se producen pérdidas en algunas vitaminas y pigmentos hidrosolubles”

Lo mencionado anteriormente por el autor se puede comprobar en el grafico 16, ya que la temperatura de congelación de la fresa es aproximadamente - 2.1 °C, a menor temperatura de congelación se presenta menor contenido de vitamina C, el ANVA (ver anexo 01) muestra diferencia significativa ( $p < 0.05\%$ ) en el contenido de vitamina C por efecto de la temperatura de placa.

## V. CONCLUSIONES.

Se caracterizó a la fresa fresca obteniendo como resultado un porcentaje de humedad de 90.2 %, cenizas de 0.43 %, fibra de 1.04%, acidez 1.02 %, pH 3.46, Brix 6.5, y 58.65 mg de Vitamina C/100 g de fresa, los parámetros de color fueron  $L=41.05 \pm 0.4$ ,  $a^*= 31.46 \pm 0.6$ ,  $b^*=22.86 \pm 0.45$ .

El efecto del método de liofilización en los parámetros de color presentó diferencia significativa ( $p<0.05\%$ ) en el valor de  $a^*$ , siendo el mejor el método rápido, en el caso de la humedad y la capacidad de rehidratación también se presentó diferencia significativa siendo el método tradicional el que presentó menor porcentaje de humedad el con un promedio de 7.5% y una mayor capacidad de rehidratación con un promedio de 2.49 g de agua/g de m.s., aunque en la rehidratación las fresas liofilizadas por método rápido presentaron mejor aspecto físico, para la higroscopicidad no hubo diferencia significativa en el método de liofilización, sin embargo, según la prueba estadística de Tukey al 95% de confiabilidad se obtuvo que en promedio el método rápido tiene menor valor de higroscopicidad, lo que favorece el almacenamiento de la fresa liofilizada, en el caso de la Vitamina C no se observó diferencia significativa.

El efecto de la densidad de carga en los parámetros de color presentó diferencia significativa ( $p<0.05\%$ ) en el valor de  $a^*$  y  $b^*$ , siendo mejor la densidad de carga de  $6 \text{ kg/m}^2$ , esto es debido al menor porcentaje de humedad por ende mayor concentración de pigmentos, en el caso de la humedad no hubo diferencia significativa en los resultados, sin embargo, según la prueba estadística de Tukey al 95% de confiabilidad se obtuvo que en promedio la densidad de carga de  $6 \text{ kg/m}^2$  presentó menores valores de humedad, en la capacidad de rehidratación también se presentó diferencia significativa siendo la densidad de carga de  $6 \text{ kg/m}^2$  la que obtuvo mayores valores, para la higroscopicidad y retención de vitamina C no hubo diferencia significativa en la densidad de carga.

El efecto de placa en los parámetros de color presentó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en el valor de  $a^*$  y  $b^*$ , siendo los valores más altos para la temperatura de placa de  $-10^{\circ}\text{C}$ , en el caso de la humedad y capacidad de rehidratación también se presentó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), obteniendo el menor porcentaje de humedad y menor capacidad de rehidratación a la temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$ , para la higroscopicidad hubo diferencia significativa, en la retención de vitamina C hubo diferencia significativa en la temperatura de placa siendo el que obtuvo mayor pérdida de vitamina C a  $-10^{\circ}\text{C}$ .

El tratamiento nueve que consiste en el método rápido, temperatura de placa de  $-10^{\circ}\text{C}$  y densidad de carga de  $6 \text{ kg/m}^2$ , mostro buenos resultados en comparación con los demás tratamientos, obteniéndose en los parámetro de color  $L = 34.55$ ,  $a^* = 39.3$  y  $b^* = 20.33$ , además se obtuvo  $6.67 \%$  de humedad,  $3.2375 \text{ kg agua/kg m.s.}$  en la capacidad de rehidratación,  $0.2053 \text{ g agua/g m.s}$  en la higroscopicidad y  $70.6 \%$  de retención de Vitamina C.

## **VI. RECOMENDACIONES**

En base a todo lo anterior, puede concluirse que las variables estudiadas tienen efecto en la calidad de la fresa. Desde este punto de vista, un análisis adicional para aumentar el porcentaje de retención de vitamina C, podría realizarse liofilizando la fresa entera, para ver el efecto del corte de la fresa en la retención de Vitamina C; además también podría evaluarse la vida útil de la fresa deshidratada envasándolas en bolsas de aluminio plastificado y en otro tipo de envase. Para verificar el daño de la velocidad de congelación en la estructura de la fresa se tendría que hacer estudios de la porosidad del producto a nivel microscópico mediante microscopia electrónica de barrido (SEM).

## VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

**AOAC.** 1990. Official Methods of Analysis. (15th ed.). Arlington, USA: Association of Official Analytical Chemists

Bravo, M. (2009). Liofilización a presión atmosférica y a vacío de pimientos verdes *Capsicum annuum L.* Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México.

AREX, 2013. Perfil comercial de la fresa. Lambayeque

Almebar E. 2005. Envasado activo de fresas silvestres. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia.

Alvarado, J. 1979. Ensayos de almacén y estudio de un mecanismo de secado a temperaturas bajas en papas (*Solanum Tuberosum*). Tesis de maestría. Universidad de San Carlos. Guatemala

Amores, D., 2011. Evaluación nutritiva y nutracéutica de la mora de castilla (*Rubus glaucus*) deshidratada por el método de liofilización y comparación con la obtenida por deshidratación en microondas y secador en bandejas. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.

Barbosa-Cánovas, 2005. Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. España. Ediciones Mundi Prensa.

Brennan, J. 1980. Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. España. Acribia

Carballido, A. & Rubio, J. L. (1970). Aplicación de la liofilización a la conservación de fresones. *Anales de Bromatología*, 22, 229-254.

Chokri, H. & Frédéric R., 1997. Determination of Freeze-drying Process Variables for Strawberries. Institut National de la Recherche Agronomique. Francia.

Fellows, P. 1994. Tecnología del procesado de alimentos: principios y prácticas. España. Acribia

Orrego, C. 2008. Congelación y liofilización de alimentos. Universidad Nacional de Colombia.

Ozuna, M, L. 2001. La liofilización como método de conservación de alimentos. Tesis de licenciatura en química de alimentos. UNAM. México.

Polito, M. y Tirado, I. 2013. Efecto del tiempo de congelación en la capacidad de rehidratación de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)

liofilizada. Universidad Nacional del Trujillo. Trujillo.

Potter, N. 1973. La ciencia de los alimentos. Mexico. Edutex S.A.

MARQUEZ, C. Y OTROS. (2003).Efecto de un proceso de deshidratación por bandejas con aire forzado en la composición química y nutricional de la mora de castilla (*Rubus glaucus*). Medellín- Colombia. Sin Editorial.

Mosquera, L. H. 2010. Influencia de la humedad y de la adición de solutos (maltodextrina o goma arábica) en las propiedades fisicoquímicas de borojó y fresa en polvo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

Moraga, G., Talens, P., Moraga, M.J., Martínez-Navarrete, N. 2011. Implication of water activity and glass transition on the mechanical and optical properties of freeze-dried apple and banana slices. *Journal of Food Engineering*, 106: 212–219.

Mosquera, L.H., Moraga, G., Martínez-Navarrete, N. 2010. Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borojó (*Borojoa patinoi* Cuatrec.) powder. *Journal of Food Engineering*, 97: 72–78.

Murcia, J.; Hoyos, I. 2001: Características y aplicaciones de las plantas: el FRESAL (*Fragaria vesca*). En: [hppt: //www.zonaverde.net/fragariavesca.htm](http://www.zonaverde.net/fragariavesca.htm).

Fecha de consulta: 12/11/2015.

Roos, R.H. (1987). Effect of moisture on thermal behavior of strawberries stided using differential scanning calorimetry. *Journal of Food Science* 52: 146-149.

Rodríguez, G., Castañeda J., Arteaga, H., Siche, R. 2010. Estudio comparativo de la pérdida de vitamina C en chalarina (*Casimiroa edulis*) por cuatro métodos de deshidratación. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo.

Undurraga, P. y Vargas S. 2013. Manual de frutilla. Boletín INIA – N° 262. Instituto de Investigación Agropecuarias. Chile.

Wrolstad, R. E., Putman, T. P. & Varseveld, G. W. (1970). Colour quality of frozen strawberries: effect of anthocyanin, pH, total acidity and ascorbic acid variability. *J. Food Sci.*,

#### **Páginas Web:**

##### **MINISTERIO DE AGRICULTURA**

<http://www.minagri.gob.pe> 28/04/2015

##### **TRADEMAP**

[www.trademap.org](http://www.trademap.org) 28/04/2015

# ANEXOS

## ANEXO 01

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COLOR EN LA FRESA LIOFILIZADA

**Cuadro 01. Datos de Luminancia de la fresa liofilizada.**

	MÉTODO TRADICIONAL			MÉTODO RÁPIDO		
	0°C	-5°C	-10°C	0°C	-5°C	-10°C
D1 (6kg/m <sup>2</sup> )	38.48	39.6	42.11	39.73	40.24	41.02
	38.14	39.22	41.75	40.04	40.76	41.75
	39.49	40.01	40.89	38.5	40.12	40.41
D2 (7.5 kg/m <sup>2</sup> )	35.74	33.01	39.69	37.04	36.74	36.17
	35.91	33.58	40.42	38.36	35.46	37.13
	36.15	32.21	38.69	37.86	37.11	35.89

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 02. Análisis de Varianza para L**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razó n-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:TEMPERATURA DE PLACA	5230.73	2	2615.36	1.04	0.3677
B:DENSIDAD DE CARGA	2459.5	1	2459.5	0.98	0.3318
C:METODO DE LIOFILIZADO	2336.43	1	2336.43	0.93	0.3440
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	4780.38	2	2390.19	0.95	0.3996
AC	5168.01	2	2584.0	1.03	0.3720
BC	2277.83	1	2277.83	0.91	0.3500
RESIDUOS	65393.1	26	2515.12		
TOTAL (CORREGIDO)	87646.0	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Cuadro 03 . Datos de a\* de la fresa liofilizada.**

	MÉTODO TRADICIONAL			MÉTODO RÁPIDO		
	0°C	-5°C	-10°C	0°C	-5°C	-10°C
D1 (6kg/m <sup>2</sup> )	34.65	34.31	40.13	34.91	36.19	40.69
	34.5	33.87	38.51	35.2	35.16	37.38
	34.74	34.76	39.64	34.5	35.89	39.82
D2 (7.5 kg/m <sup>2</sup> )	33.93	29.94	35.91	37.01	35.22	34.87
	34.04	29.76	35.96	37.57	33.24	34.43
	34.25	28.51	34.11	36.51	34.15	35.26

Fuente : Elaboración propia

**Cuadro 04. Análisis de Varianza para a**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:TEMPERATURA DE PLACA	36.3226	2	18.1613	29.48	0.0000
B:DENSIDAD DE CARGA	13.7023	1	13.7023	22.24	0.0001
C:METODO DE LIOFILIZADO	11.4582	1	11.4582	18.60	0.0002
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	11.6364	2	5.81819	9.44	0.0009
AC	20.4795	2	10.2398	16.62	0.0000
BC	3.71847	1	3.71847	6.04	0.0216
ABC	0.724172	2	0.362086	0.59	0.5634
RESIDUOS	14.7853	24	0.616056		
TOTAL (CORREGIDO)	112.827	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**Cuadro 05. Datos de b\* de la fresa liofilizada.**

	MÉTODO TRADICIONAL			MÉTODO RÁPIDO		
	0°C	-5°C	-10°C	0°C	-5°C	-10°C
D1 (6kg/m <sup>2</sup> )	18.4	19.06	20.08	20	20.48	21.08
	18.03	20.16	21.87	20.57	20.56	21.74
	19.46	20.32	22.56	19.5	20.33	20.59
D2 (7.5 kg/m <sup>2</sup> )	15.75	18.51	20.29	20.37	18.05	17.91
	16.23	18.01	20.37	19.56	17.81	18.58
	16.12	19.02	21.56	20.64	19.52	19.23

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 06. Análisis de Varianza para b**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:TEMPERATURA DE PLACA	11.1989	2	5.59944	10.71	0.0004
B:DENSIDAD DE CARGA	11.5487	1	11.5487	22.08	0.0001
C:METODO DE LIOFILIZADO	0.411736	1	0.411736	0.79	0.3831
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	5.08274	2	2.54137	4.86	0.0161
AC	12.6047	2	6.30235	12.05	0.0002
BC	0.990025	1	0.990025	1.89	0.1806
RESIDUOS	13.5996	26	0.52306		
TOTAL (CORREGIDO)	55.4363	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE HUMEDAD EN LA FRESA LIOFILIZADA

**Cuadro 07. Datos de humedad de la fresa liofilizada.**

	MÉTODO TRADICIONAL			MÉTODO RÁPIDO		
	0°C	-5°C	-10°C	0°C	-5°C	-10°C
D1 (6kg/m <sup>2</sup> )	8.56	7.86	5.89	9.78	7.62	6.89
	9.13	6.59	6.03	9.84	8.16	7.16
	8.25	7.13	5.76	8.89	8.97	5.96
D2 (7.5 kg/m <sup>2</sup> )	9.26	7.48	6.89	8.96	7.46	7.85
	9.78	7.56	7.08	9.75	7.58	8.16
	9.16	7.98	7.18	9.76	8.46	7.42

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 08. Análisis de Varianza para HUMEDAD.**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:TEMPERATURA	34.8152	2	17.4076	54.27	0.0000
B:DENSIDAD DE CARGA	1.34947	1	1.34947	4.21	0.0504
C:METODO DE LIOFILIZADO	4.98034	1	4.98034	15.53	0.0005
INTERACCIONES					
AB	1.52091	2	0.760453	2.37	0.1133
AC	0.192039	2	0.0960194	0.30	0.7438
BC	0.210069	1	0.210069	0.65	0.4257
RESIDUOS	8.33904	26	0.320732		
TOTAL (CORREGIDO)	51.407	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CAPACIDAD DE REHIDRATACIÓN EN LA FRESA LIOFILIZADA

**Cuadro 09. Datos de capacidad de rehidratación de la fresa liofilizada.**

	MÉTODO TRADICIONAL			MÉTODO RÁPIDO		
	0°C	-5°C	-10°C	0°C	-5°C	-10°C
D1 (6kg/m <sup>2</sup> )	2.805	3.141	3.372	3.001	2.705	3.152
	3.071	3.14	3.304	2.956	2.664	3.323
	2.938	3.141	3.338	2.979	2.685	3.238
D2 (7.5 kg/m <sup>2</sup> )	2.666	1.583	1.448	1.877	1.721	1.009
	2.273	1.69	1.459	1.627	1.677	1.014
	2.470	1.637	1.454	1.752	1.699	1.012

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 10. Análisis de Varianza para capacidad de rehidratación**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:METODO DE LIOFILIZACION	0.650442	1	0.650442	21.00	0.0001
B:TEMPERATURA DE PLACA	0.54343	2	0.271715	8.77	0.0012
C:DENSIDAD DE CARGA	17.2018	1	17.2018	555.46	0.0000
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	0.0301287	2	0.0150643	0.49	0.6203
AC	0.084584	1	0.084584	2.73	0.1104
BC	2.27297	2	1.13649	36.70	0.0000
RESIDUOS	0.805178	2	0.0309684		
		6			
TOTAL (CORREGIDO)	21.5885	3			
		5			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

### ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA HIGROSCOPICIDAD EN LA FRESA LIOFILIZADA

**Cuadro 11. Datos de Higroscopicidad de la fresa liofilizada.**

	<b>MÉTODO TRADICIONAL</b>			<b>MÉTODO RÁPIDO</b>		
	<b>0°C</b>	<b>-5°C</b>	<b>-10°C</b>	<b>0°C</b>	<b>-5°C</b>	<b>-10°C</b>
<b>D1 (6kg/m2)</b>	<b>0.2347</b>	<b>0.2365</b>	<b>0.2373</b>	<b>0.2325</b>	<b>0.2334</b>	<b>0.2351</b>
	<b>0.2334</b>	<b>0.2359</b>	<b>0.2416</b>	<b>0.2326</b>	<b>0.2351</b>	<b>0.2455</b>
	<b>0.2340</b>	<b>0.2362</b>	<b>0.2395</b>	<b>0.2326</b>	<b>0.2342</b>	<b>0.2403</b>
<b>D2 (7.5 kg/m2)</b>	<b>0.2302</b>	<b>0.2304</b>	<b>0.2320</b>	<b>0.2307</b>	<b>0.2344</b>	<b>0.2396</b>
	<b>0.2328</b>	<b>0.2305</b>	<b>0.2353</b>	<b>0.2354</b>	<b>0.2919</b>	<b>0.2367</b>
	<b>0.2315</b>	<b>0.2304</b>	<b>0.2337</b>	<b>0.2330</b>	<b>0.2632</b>	<b>0.2382</b>

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 12. Análisis de Varianza para higroscopicidad**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:metodo de liofilizacion	0.0072335	1	0.0072335	242.60	0.0000
B:temperatura de placa	0.000208822	2	0.000104411	3.50	0.0450
C:densidad de carga	0.00000367361	1	0.00000367361	0.12	0.7284
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	0.0000570517	2	0.0000285258	0.96	0.3973
AC	0.00000476694	1	0.00000476694	0.16	0.6925
BC	0.0000941872	2	0.0000470936	1.58	0.2252
RESIDUOS	0.000775244	26	0.0000298171		
TOTAL (CORREGIDO)	0.00837725	35			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VITAMINA C D EN LA FRESA LIOFILIZADA**

**Cuadro 13. Datos de retención de Vitamina C de la fresa liofilizada**

	MÉTODO TRADICIONAL			MÉTODO RÁPIDO		
	0°C	-5°C	-10°C	0°C	-5°C	-10°C
<b>D1 (6kg/m2)</b>	72.35	72.69	71.12	71.57	71.33	70.7
	72.39	72.65	71.1	71.52	71.3	70.5
	72.36	72.66	71.09	71.55	71.32	70.6
<b>D2 (7.5 kg/m2)</b>	77.95	76.69	75.86	76.48	76.13	74.6
	77.98	76.63	75.81	76.5	76.1	74.57
	77.93	76.66	75.83	76.45	76.11	74.58

**Fuente:** Elaboración propia

**Cuadro 14. Análisis de Varianza para VITAMINA C**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:TEMPERATURA DE PLACA	29.1789	2	14.5894	33.47	0.0000
B:DENSIDAD DE CARGA	7.9618	1	7.9618	18.26	0.0002
C:METODO DE LIOFILIZADO	0.0890028	1	0.0890028	0.20	0.6551
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	9.95284	2	4.97642	11.42	0.0003
AC	5.75334	2	2.87667	6.60	0.0048
BC	5.64062	1	5.64062	12.94	0.0013
RESIDUOS	11.3344	2	0.435939		
		6			
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	<b>69.9109</b>	<b>3</b>			
		5			

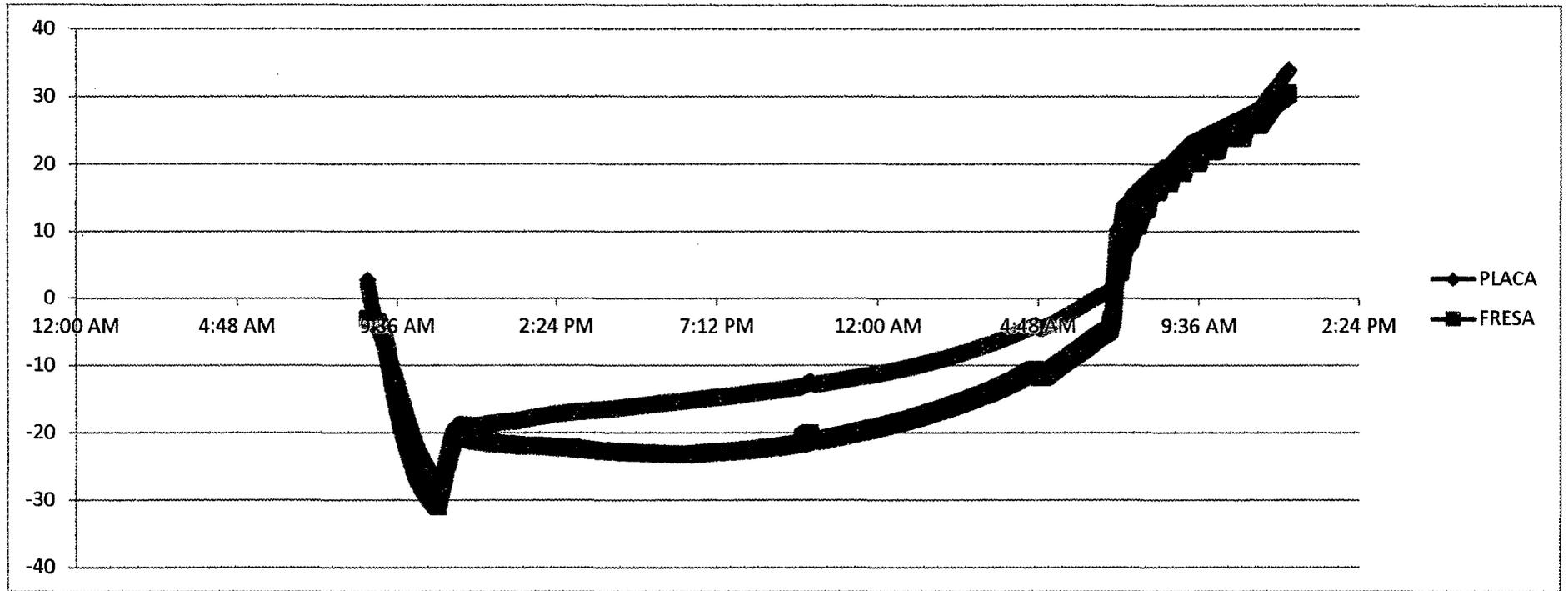
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

## ANEXO 2

### PERFIL DE TEMPERATURA DEL PROCESO DE LIOFILIZACION DE FRESA

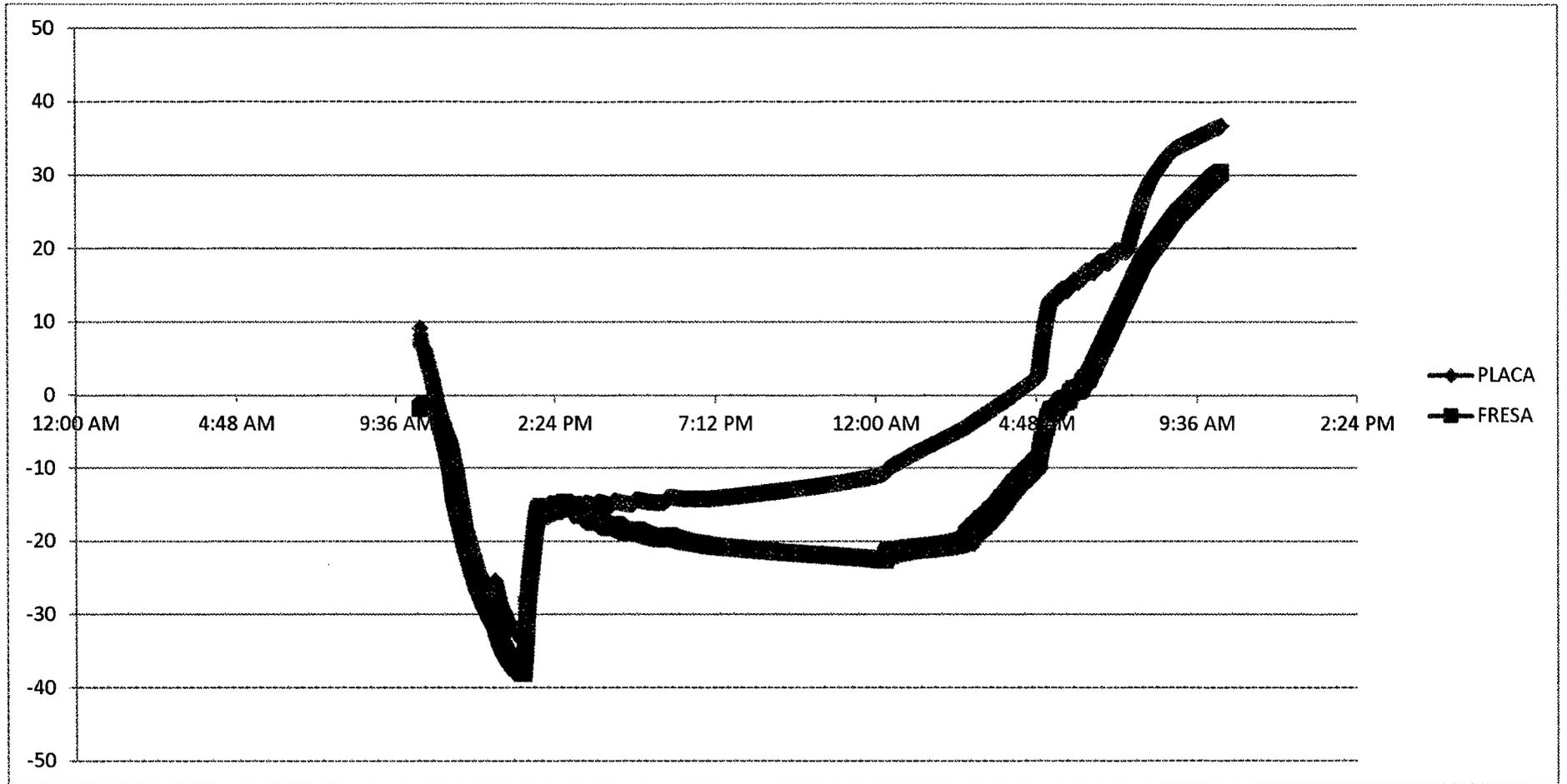
A continuación se presentan los perfiles de temperaturas para los doce tratamientos.

T1: La etapa de congelación tuvo un tiempo de 2,2 horas, la sublimación 20,25 horas y la etapa de desorción es de 5 horas.



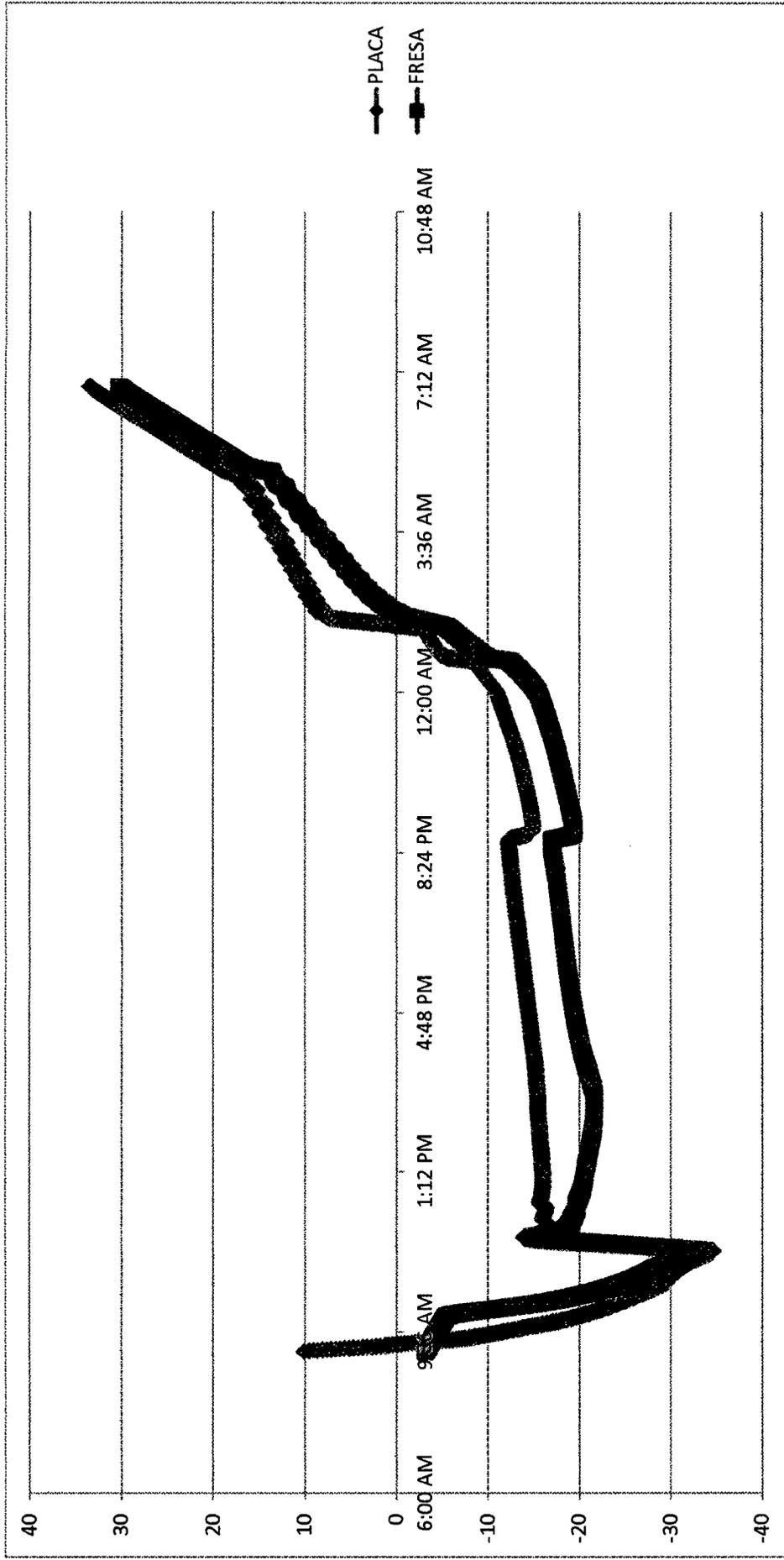
**GRAFICO A: PERFIL DE TEMPERATURA DE LA FRESA LIOFILIZADA T1 (METODO CONVENCIONAL, DENSIDAD DE CARGA 6Kg/m<sup>2</sup> Y TEMPERATURA DE PLACA 0°C)**

T2: La etapa de congelación tuvo un tiempo de 2,2 horas, la sublimación 16,5 horas y la etapa de desorción de 5,3 horas



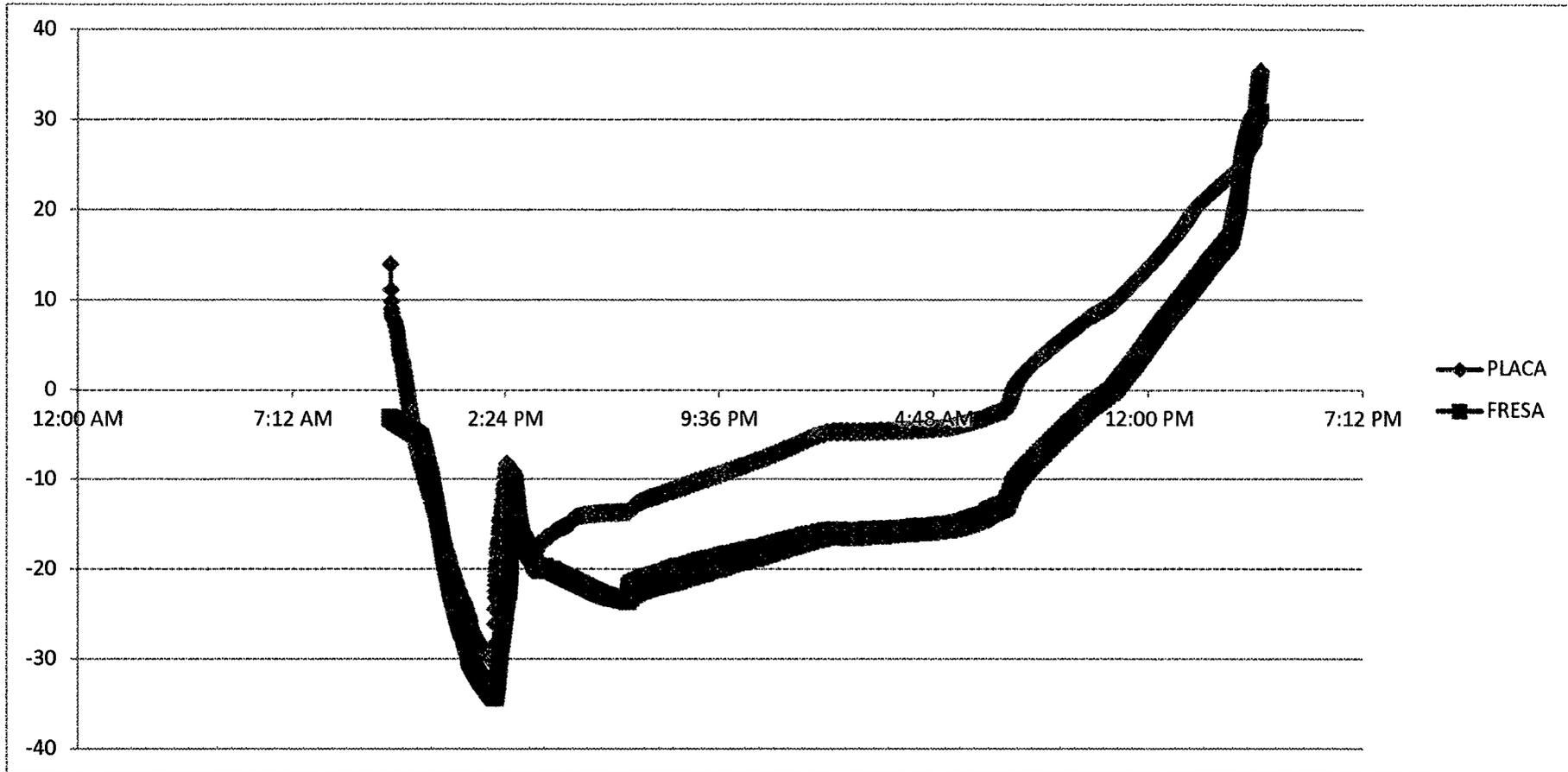
**GRAFICO B: PERFIL DE TEMPERATURA DE LA FRESA LIOFILIZADA T2 (METODO CONVENCIONAL, DENSIDAD DE CARGA 6 Kg/m<sup>2</sup> Y TEMPERATURA DE PLACA -5°C)**

T3: La etapa de congelación tuvo un tiempo de 2 horas, la sublimación 13,6 horas y la etapa de desorción es de 6,1 horas.



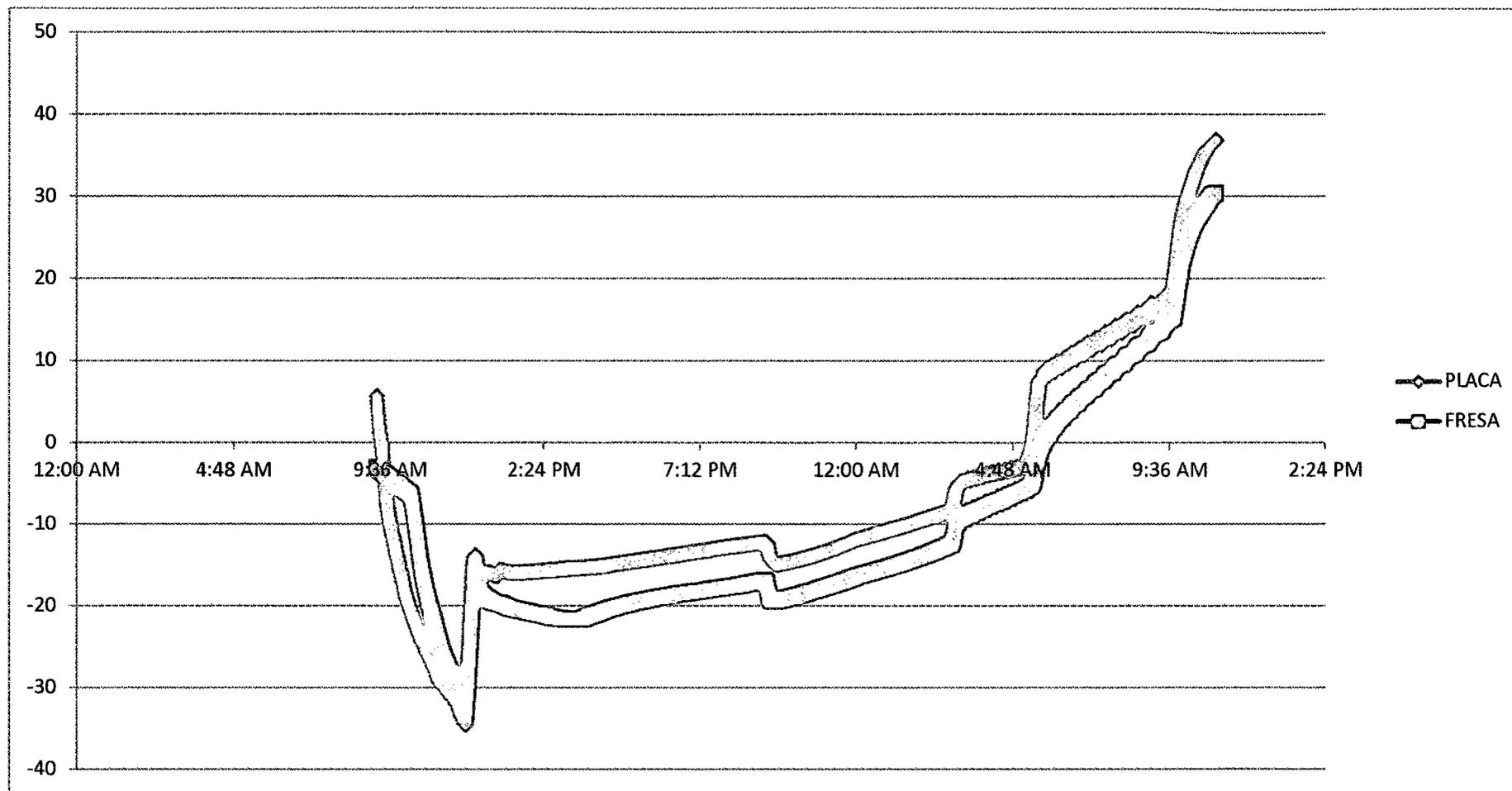
**GRAFICO C: PERFIL DE TEMPERATURA DE LA FRESA LIOFILIZADA T3 (METODO CONVENCIONAL, DENSIDAD DE CARGA 6 Kg/m<sup>2</sup> Y TEMPERATURA DE PLACA -10°C)**

T4: La etapa de congelación tuvo un tiempo de 2,7 horas, la sublimación 21,5 horas y la etapa de desorción es de 5 horas.



**GRAFICO D: PERFIL DE TEMPERATURA DE LA FRESA LIOFILIZADA T4 (METODO CONVENCIONAL, DENSIDAD DE CARGA 7.5 Kg/m<sup>2</sup> Y TEMPERATURA DE PLACA 0°C)**

T5: La etapa de congelación tuvo un tiempo de 2,5 horas, la sublimación 17,75 horas y la desorción es de 5,6 horas.



**GRAFICO E: PERFIL DE TEMPERATURA DE LA FRESA LIOFILIZADA T5 (METODO CONVENCIONAL, DENSIDAD DE CARGA 7.5 Kg/m<sup>2</sup> Y TEMPERATURA DE PLACA -5°C)**

T6: La etapa de congelación tuvo un tiempo de 2,8 horas, la sublimación 14,7 horas y la etapa de desorción es de 6,6 horas.

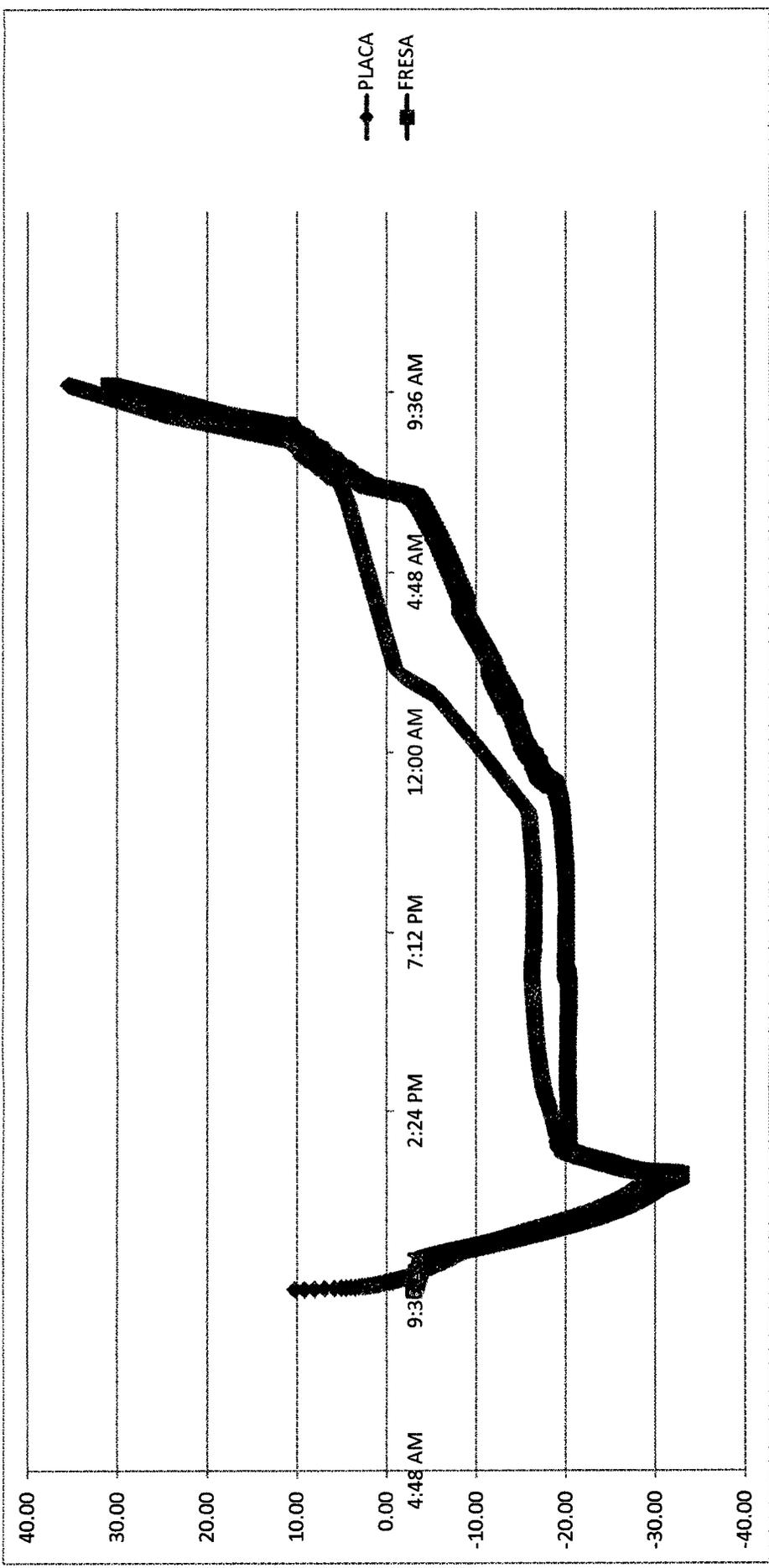
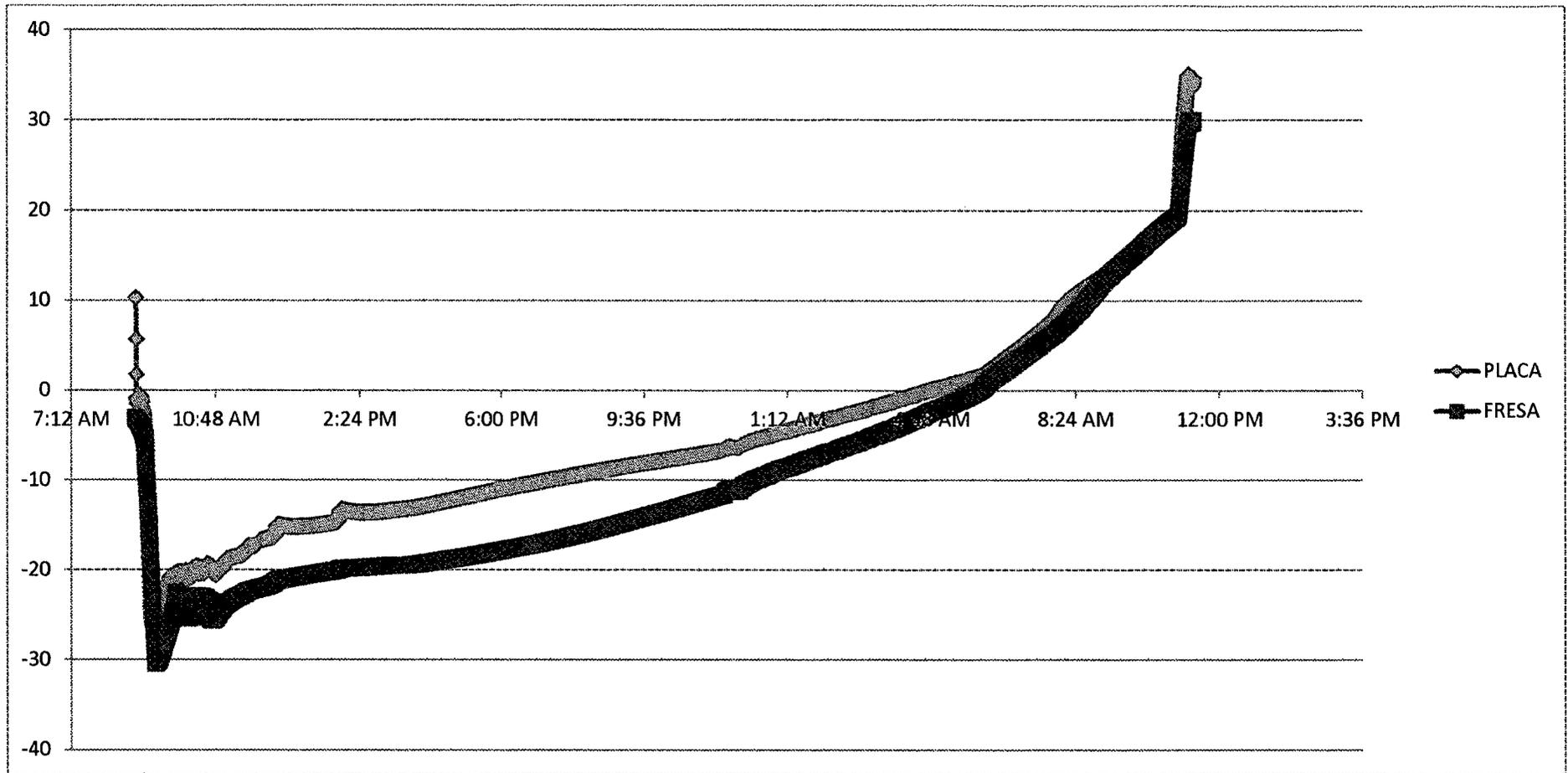


GRAFICO F: PERFIL DE TEMPERATURA DE LA FRESA LIOFILIZADA T6 (METODO CONVENCIONAL, DENSIDAD DE CARGA 7.5 Kg/m<sup>2</sup> Y TEMPERATURA DE PLACA -10°C)

T7: La etapa de congelación tuvo un tiempo de 0,5 horas, la sublimación 20,7 horas y la etapa de desorción es de 5,2 horas.



**GRAFICO G: PERFIL DE TEMPERATURA DE LA FRESA LIOFILIZADA T7 (METODO RAPIDO, DENSIDAD DE CARGA 6 Kg/m<sup>2</sup> Y TEMPERATURA DE PLACA 0°C)**

T8: La etapa de congelación tuvo un tiempo de 0,5 horas, la sublimación 17 horas y la etapa de desorción es de 5,45 horas.

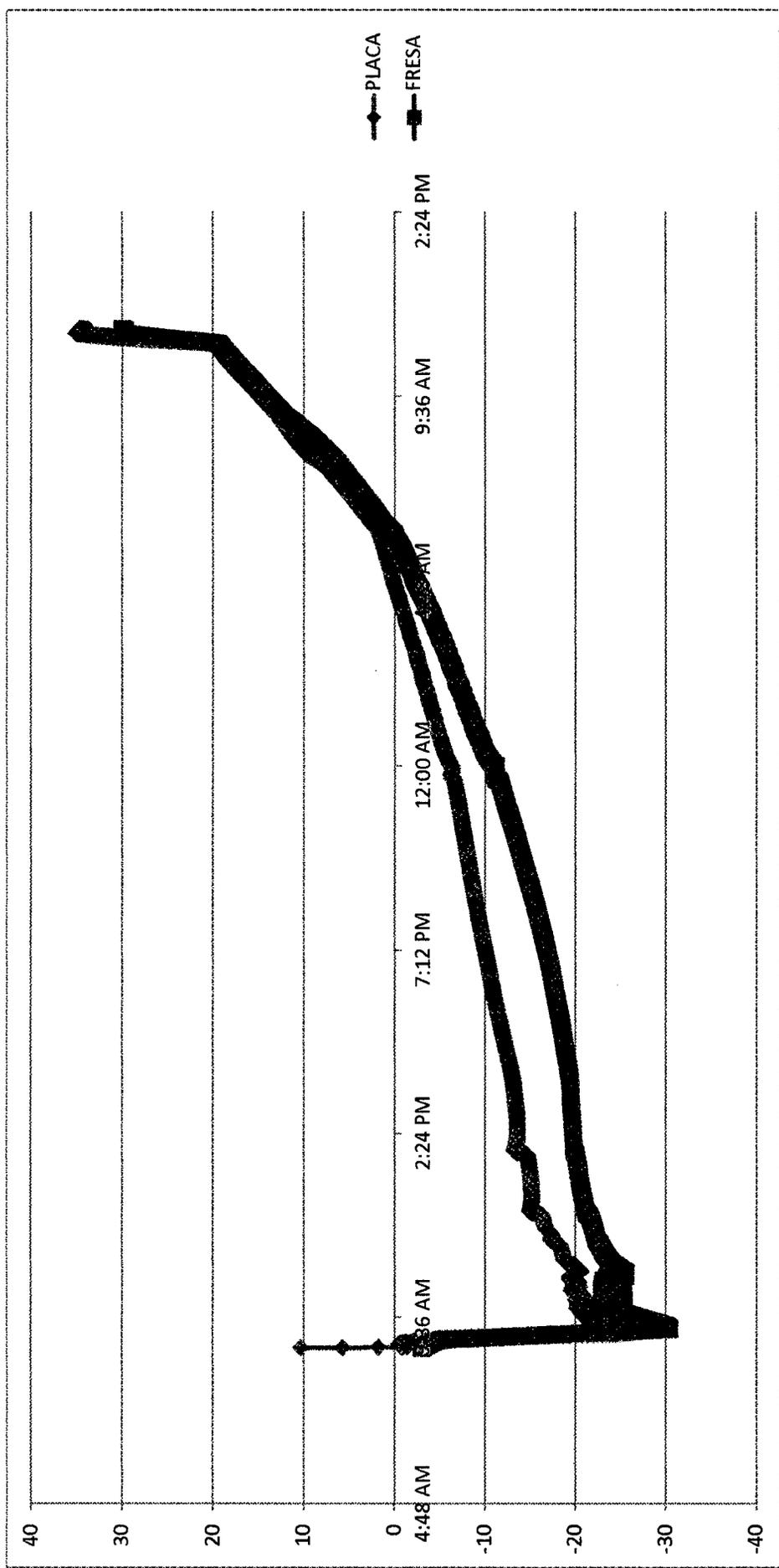
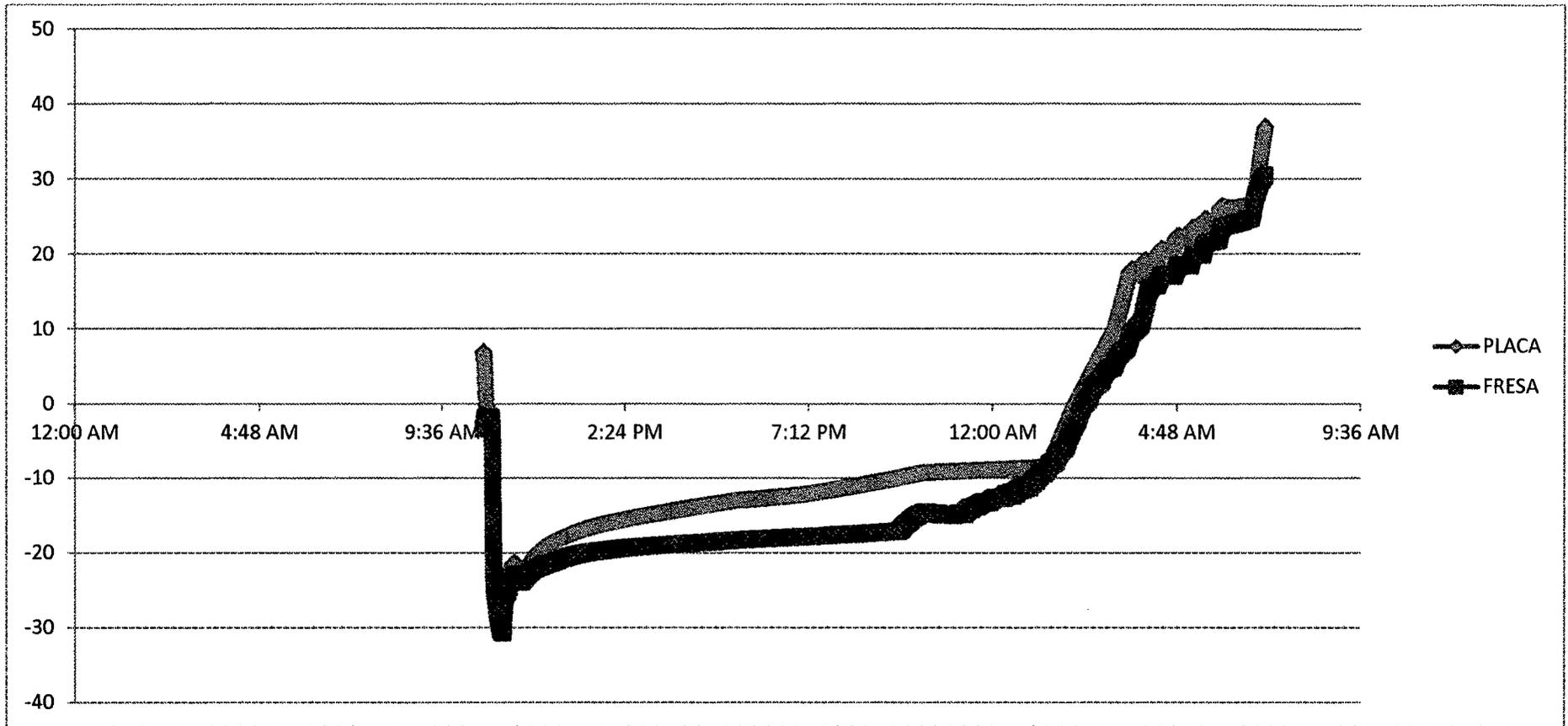


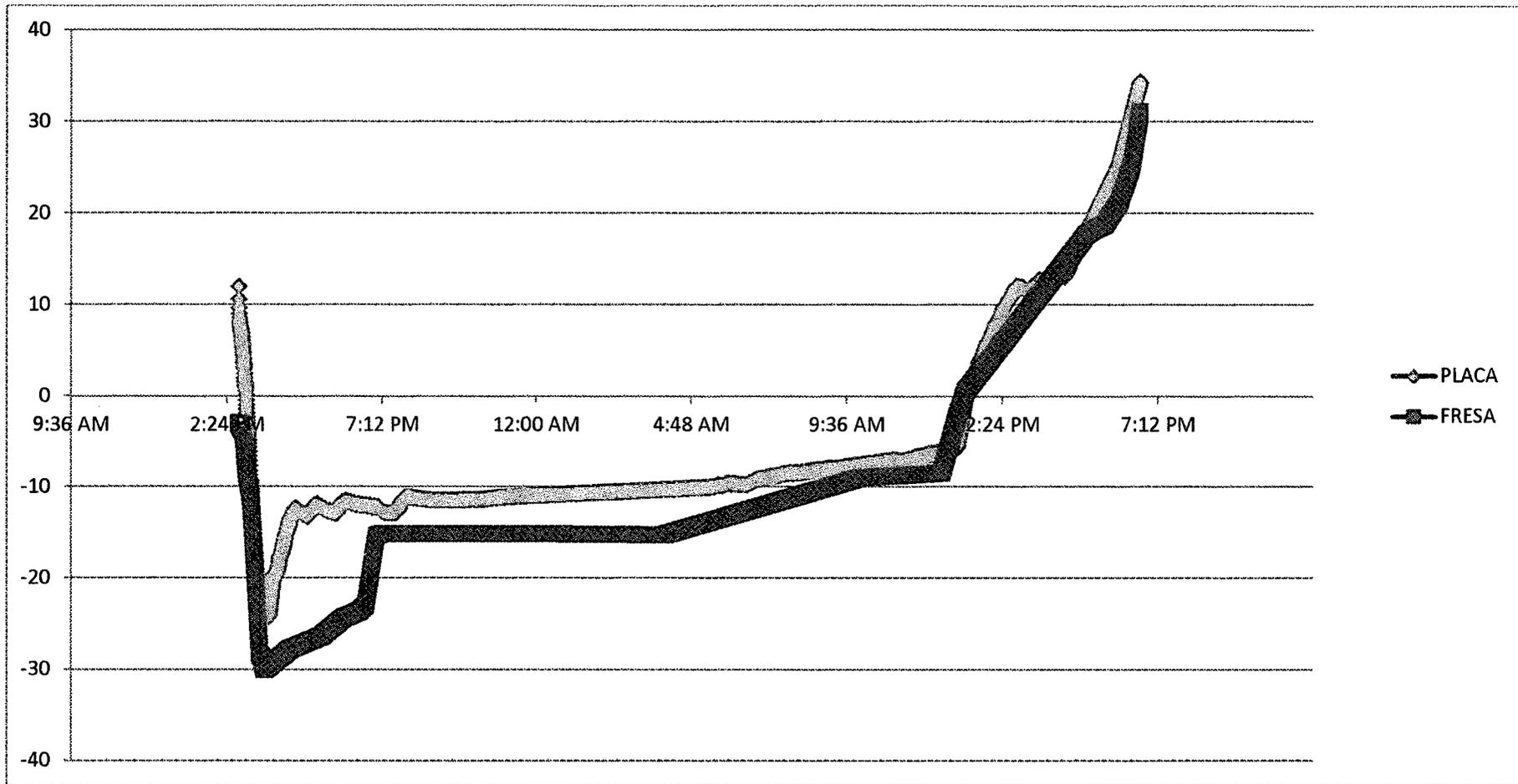
GRAFICO H: PERFIL DE TEMPERATURA DE LA FRESA LIOFILIZADA T8 (METODO RAPIDO, DENSIDAD DE CARGA 6 Kg/m<sup>2</sup> Y TEMPERATURA DE PLACA -5°C)

T9: La etapa de congelación tuvo un tiempo de 0,4 horas, la sublimación 14 horas y la etapa de desorción es de 6,5 horas.



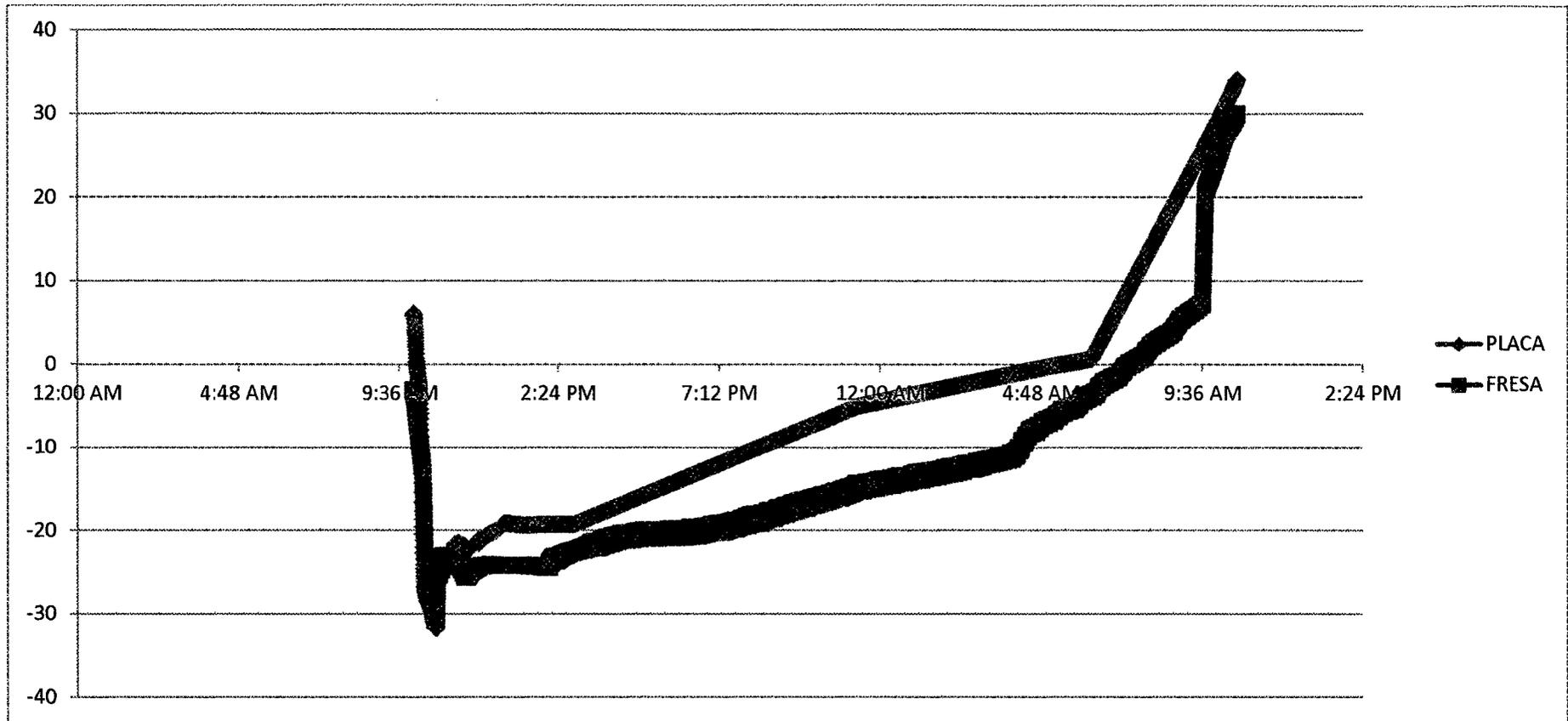
**GRAFICO I: PERFIL DE TEMPERATURA DE LA FRESA LIOFILIZADA T9 (METODO RAPIDO, DENSIDAD DE CARGA 6 Kg/m<sup>2</sup> Y TEMPERATURA DE PLACA -10°C)**

T10: La etapa de congelación tuvo un tiempo de 0,6 horas, la sublimación 21,75 horas y la desorción es de 5,3 horas.



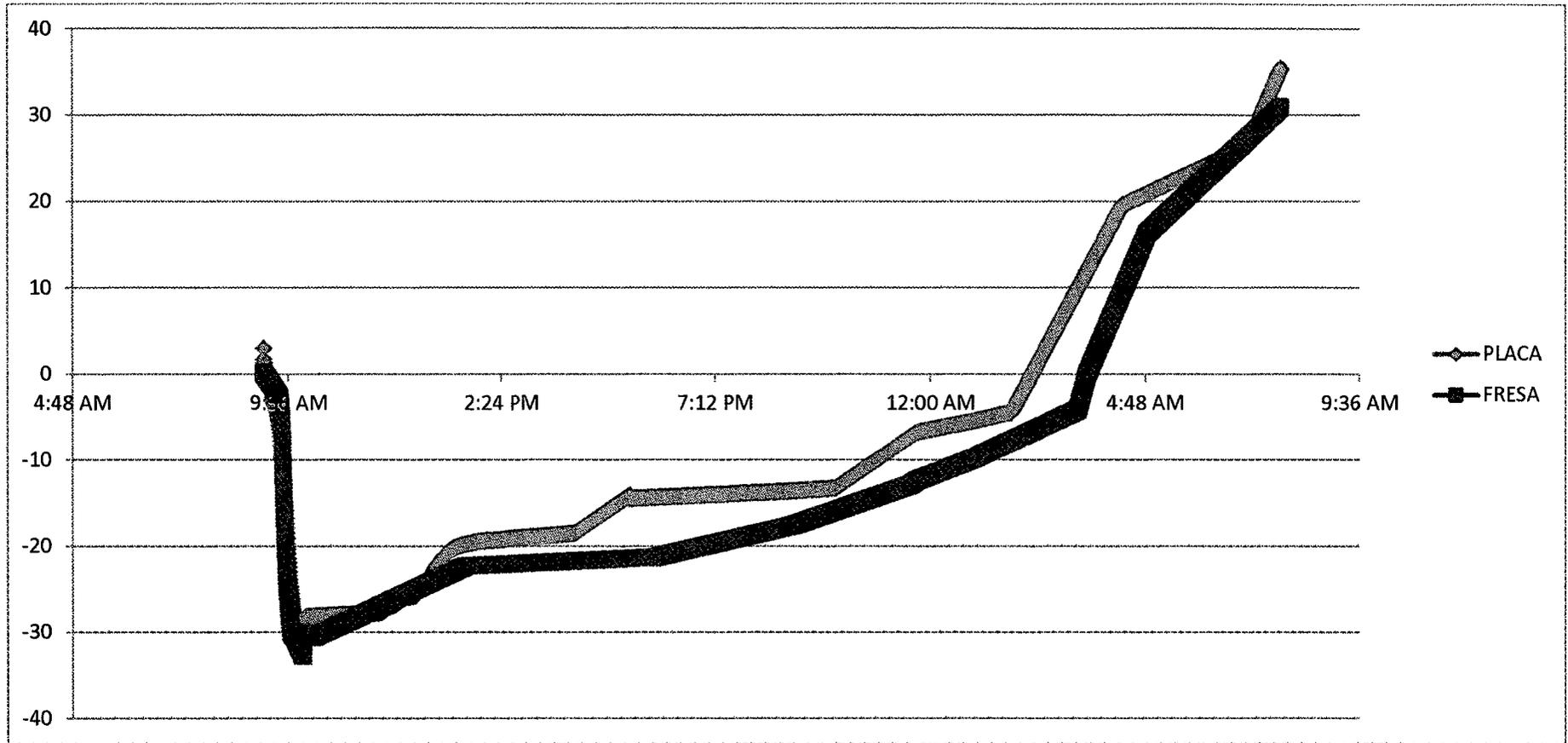
**GRAFICO J: PERFIL DE TEMPERATURA DE LA FRESA LIOFILIZADA T10 (METODO RAPIDO, DENSIDAD DE CARGA 7.5 Kg/m<sup>2</sup> Y TEMPERATURA DE PLACA 0°C)**

T11: La etapa de congelación tuvo un tiempo de 0,7 horas, la sublimación 18,2horas y la desorción es de 5,7 horas.



**GRAFICO K: PERFIL DE TEMPERATURA DE LA FRESA LIOFILIZADA T11 (METODO RAPIDO, DENSIDAD DE CARGA 7.5 Kg/m<sup>2</sup> Y TEMPERATURA DE PLACA -5°C)**

T12: La etapa de congelación tuvo un tiempo 0,7 horas, la sublimación 15,1 horas y la desorción es de 6,75 horas.



**GRAFICO L: PERFIL DE TEMPERATURA DE LA FRESA LIOFILIZADA T12 (METODO RAPIDO, DENSIDAD DE CARGA 7.5 Kg/m<sup>2</sup> Y TEMPERATURA DE PLACA -10°C)**

### ANEXO 3

## VELOCIDADES DE CONGELACION DURANTE EL PROCESO DE LIOFILIZACION DE LA FRESA

A continuación se presentan las velocidades de congelación para los doce tratamientos.

Ti= -3.7

t=132min

Tf= -30.08

Vc= 0.20°C/min

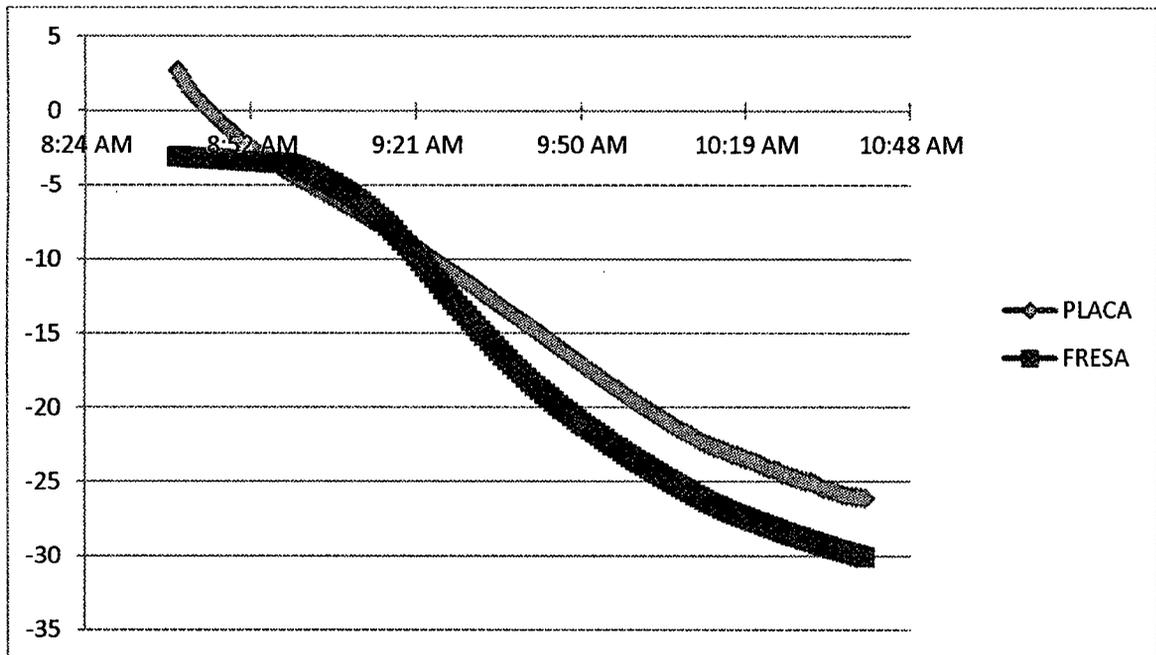


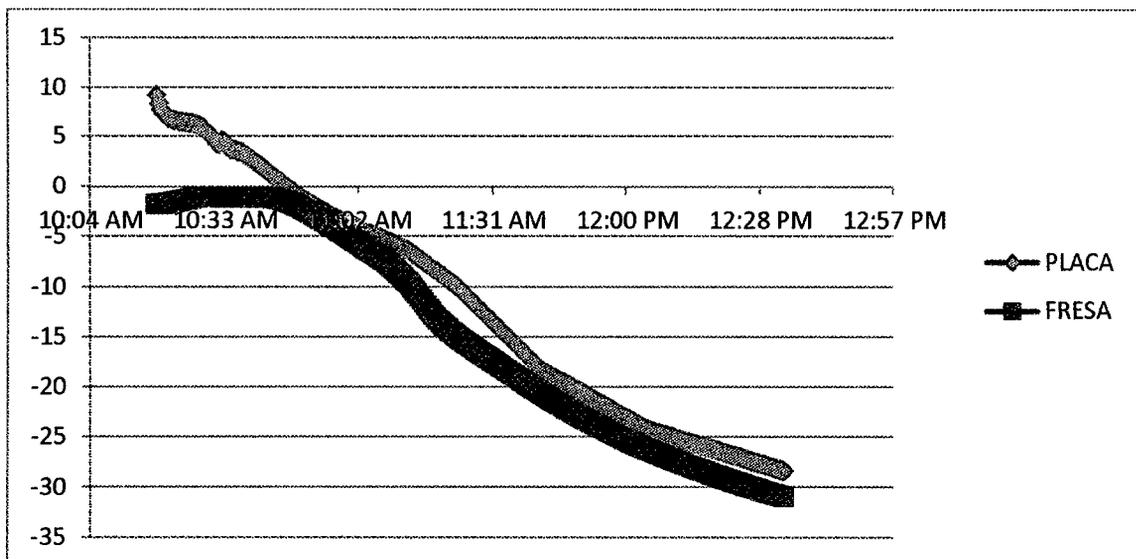
GRAFICO A1: VELOCIDAD DE CONGELACION DEL TRATAMIENTO 1

Ti= -3.8

t=132min

Tf= -30.02

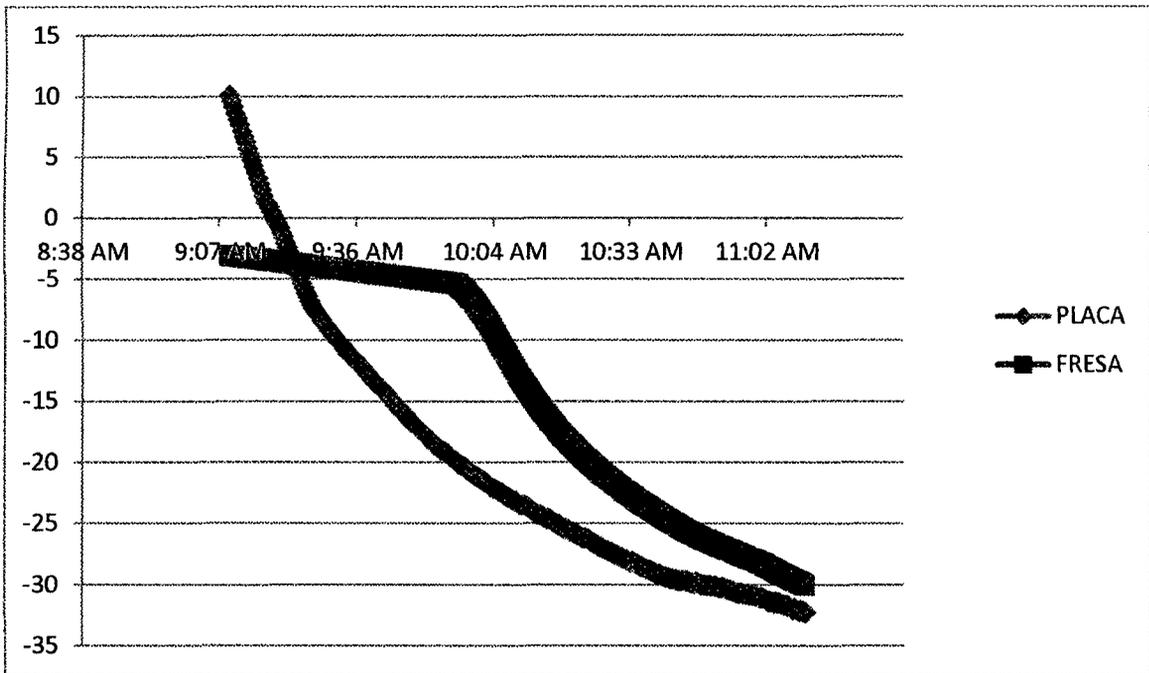
Vc= 0.20°C/min



### GRAFICO B1: VELOCIDAD DE CONGELACION DEL TRATAMIENTO 2

Ti= -3.42 t=120min

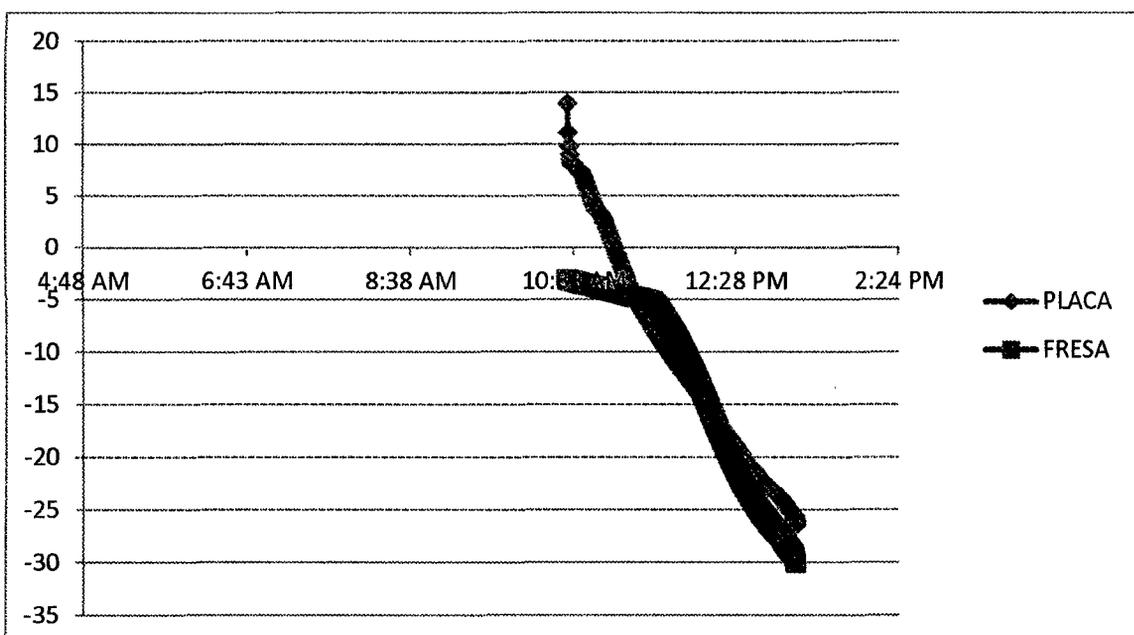
Tf= -30.02 Vc= 0.23°C/min



### GRAFICO C1: VELOCIDAD DE CONGELACION DEL TRATAMIENTO 3

Ti= -3.32 t=162min

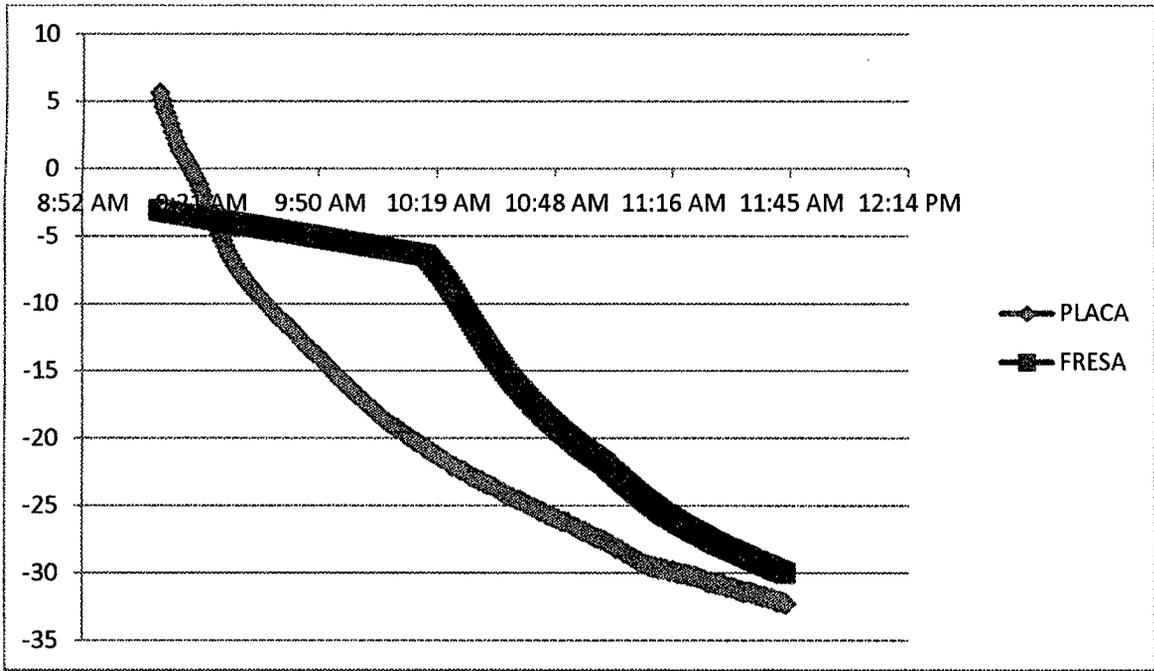
Tf= -30.02 Vc= 0.17°C/min



**GRAFICO D1: VELOCIDAD DE CONGELACION DEL TRATAMIENTO 4**

Ti= -3.51 t=150min

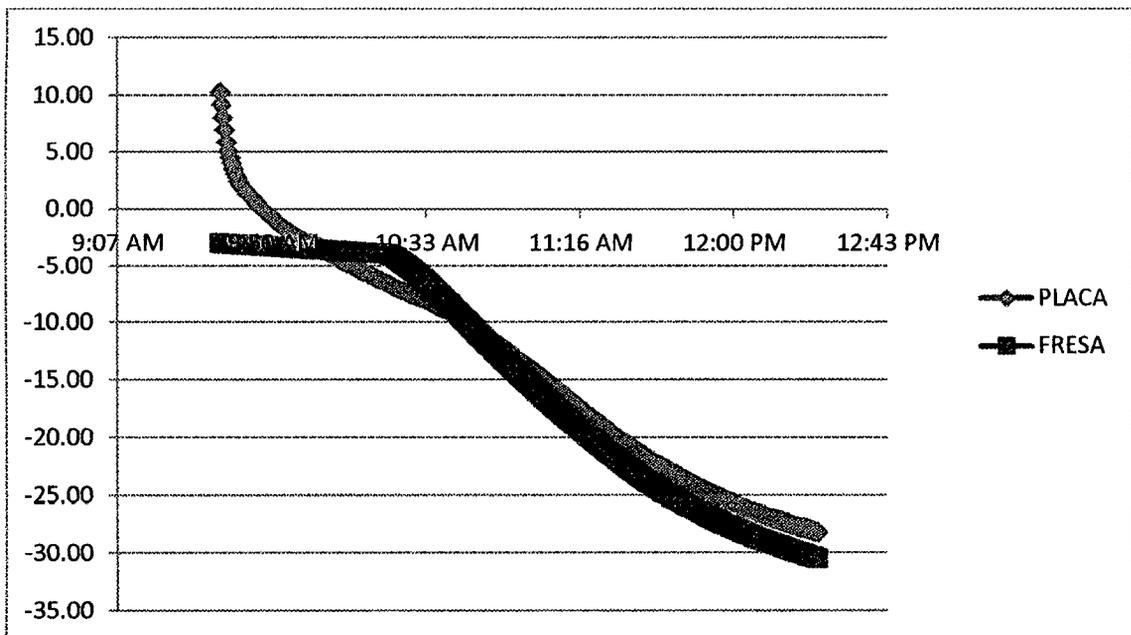
Tf= -30.02 Vc= 0.18°C/min



**GRAFICO E1: VELOCIDAD DE CONGELACION DEL TRATAMIENTO 5**

Ti= -3.02 t=168min

Tf= -30.04 Vc= 0.16°C/min



**GRAFICO F1: VELOCIDAD DE CONGELACION DEL TRATAMIENTO 6**

Ti= -3.35

t=30min

Tf= -30.06

Vc= 0.9°C/min

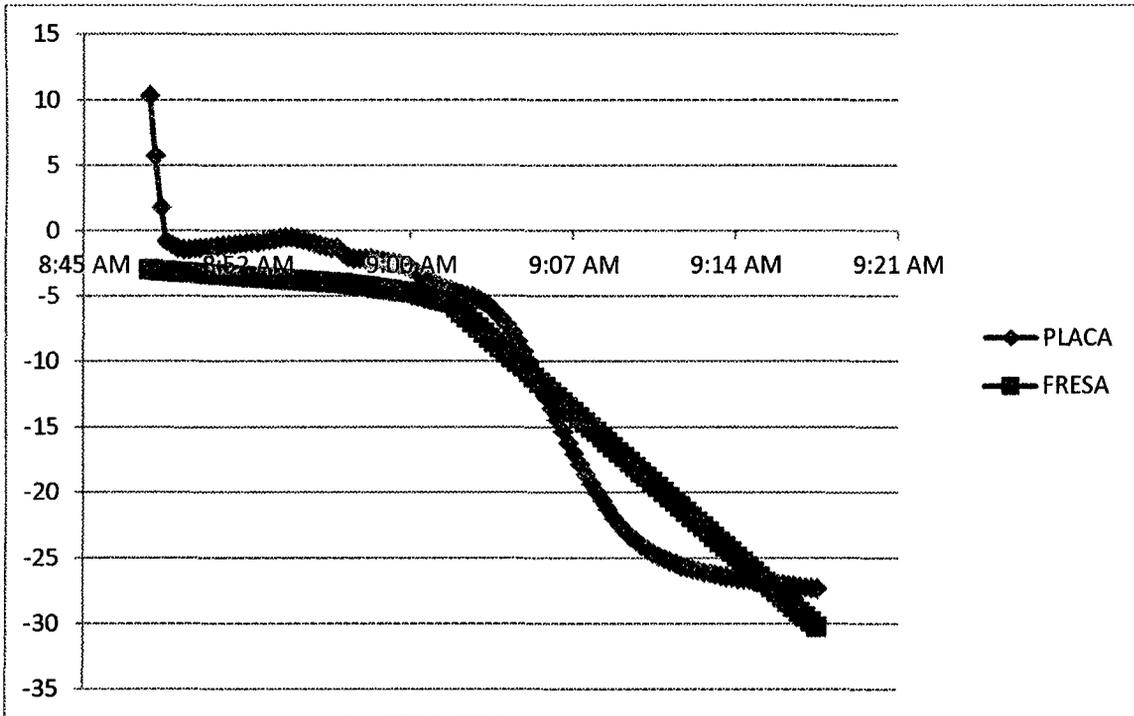


GRAFICO G1: VELOCIDAD DE CONGELACION DEL TRATAMIENTO 7

Ti= -3.22

t=30min

Tf= -30.11

Vc= 0.9°C/min

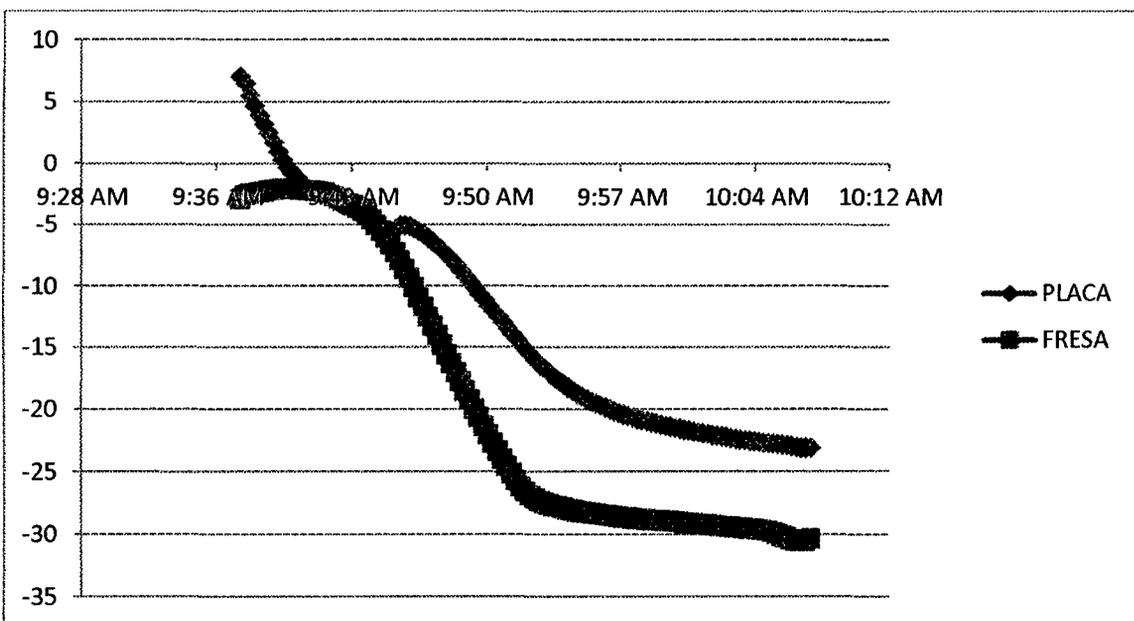


GRAFICO H1: VELOCIDAD DE CONGELACION DEL TRATAMIENTO 8

Ti= -3.41

t=24min

Tf= -30

Vc= 1.13°C/min

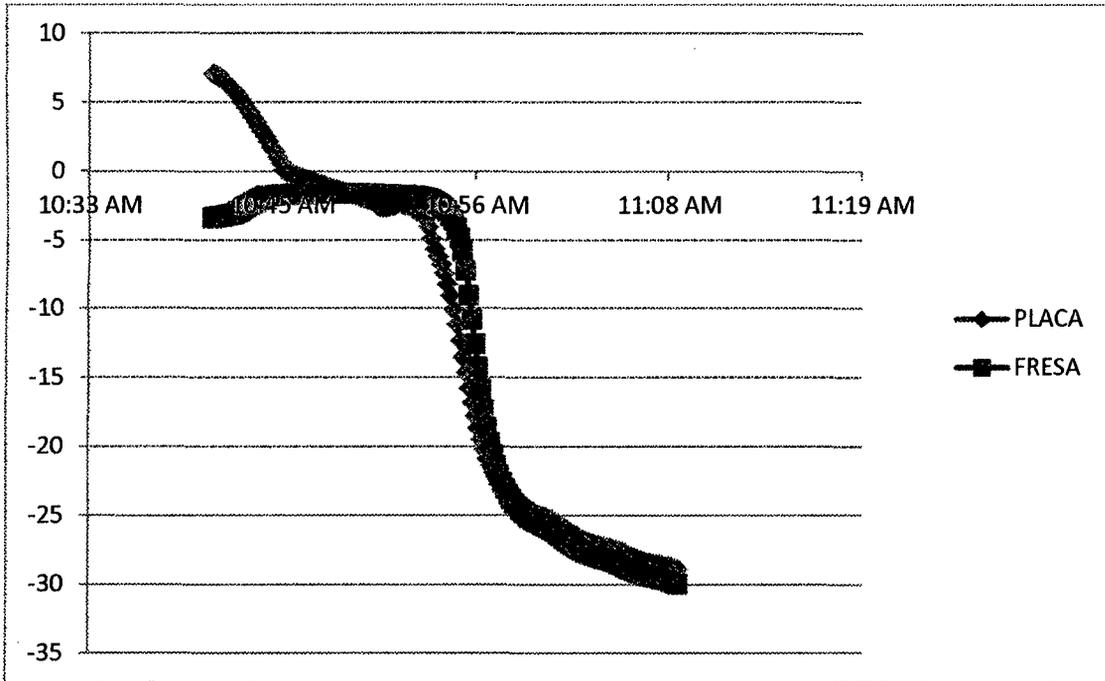


GRAFICO I1: VELOCIDAD DE CONGELACION DEL TRATAMIENTO 9

Ti= -3.21

t=36min

Tf= -30.03

Vc= 0.75°C/min

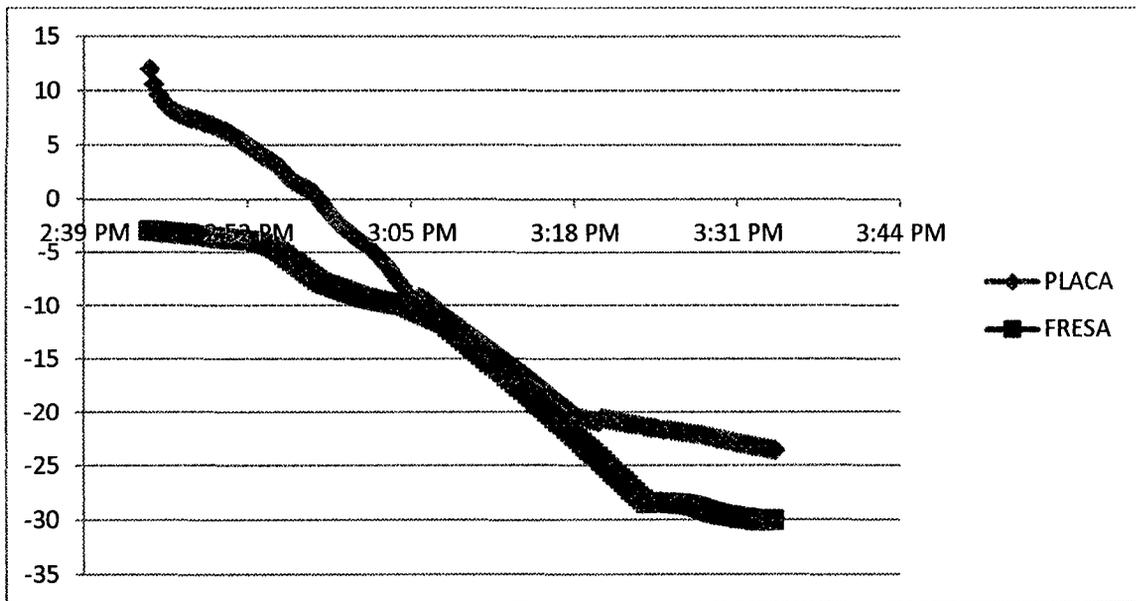


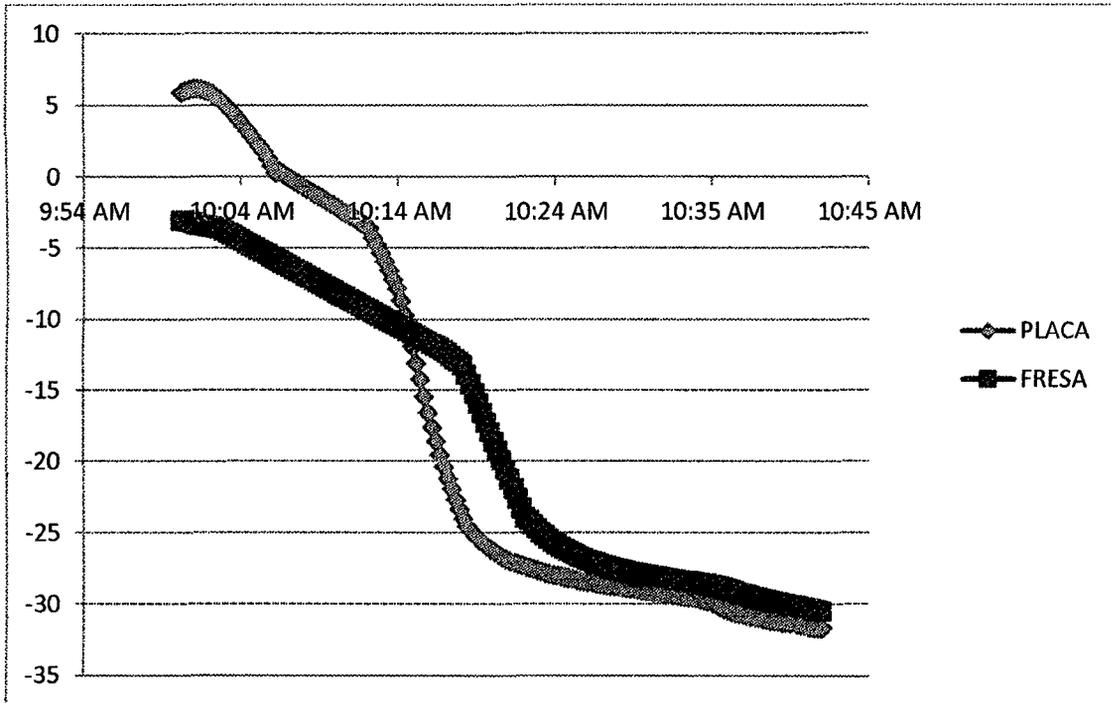
GRAFICO J1: VELOCIDAD DE CONGELACION DEL TRATAMIENTO 10

Ti= -3.38

t=42min

Tf= -30.05

Vc= 0.68°C/min



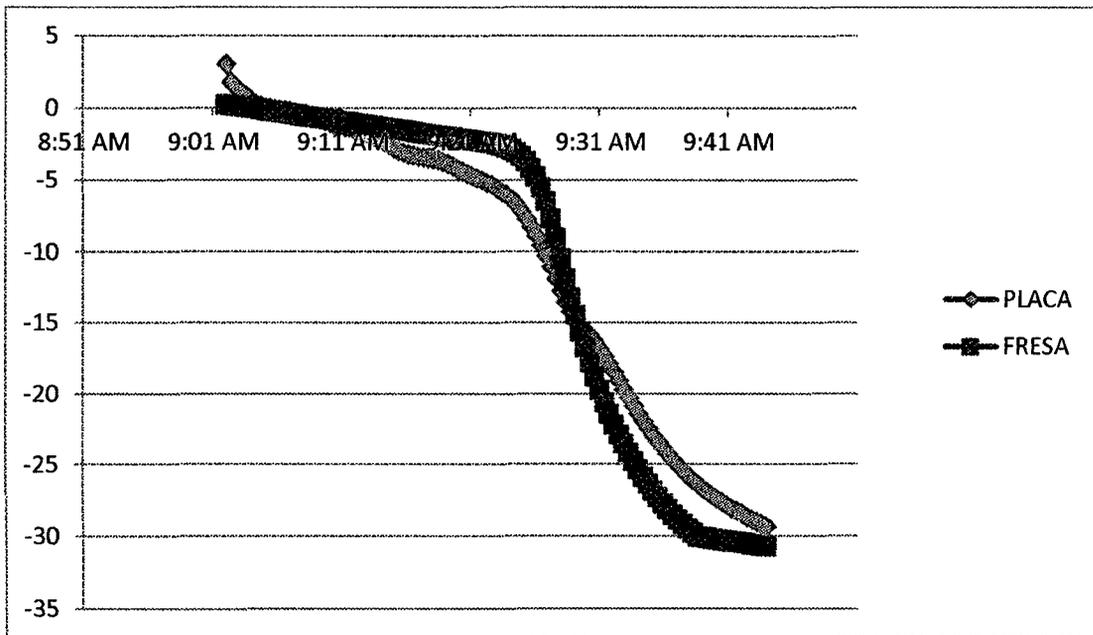
**GRAFICO K1: VELOCIDAD DE CONGELACION DEL TRATAMIENTO 11**

Ti= -3.26

t=42min

Tf= -30.02

Vc= 1.26°C/min

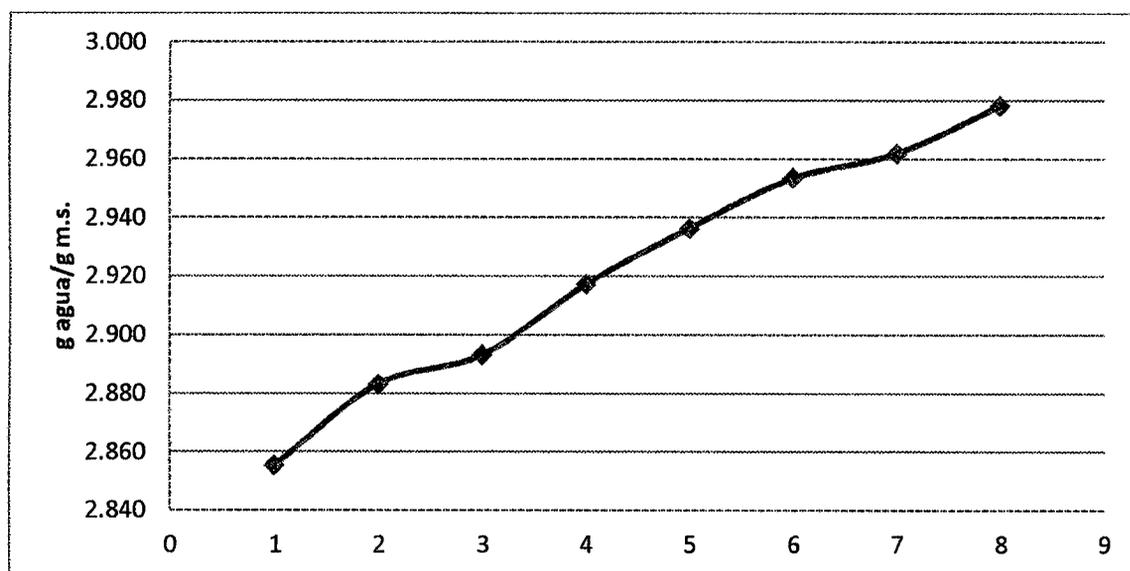


**GRAFICO L1: VELOCIDAD DE CONGELACION DEL TRATAMIENTO 12**

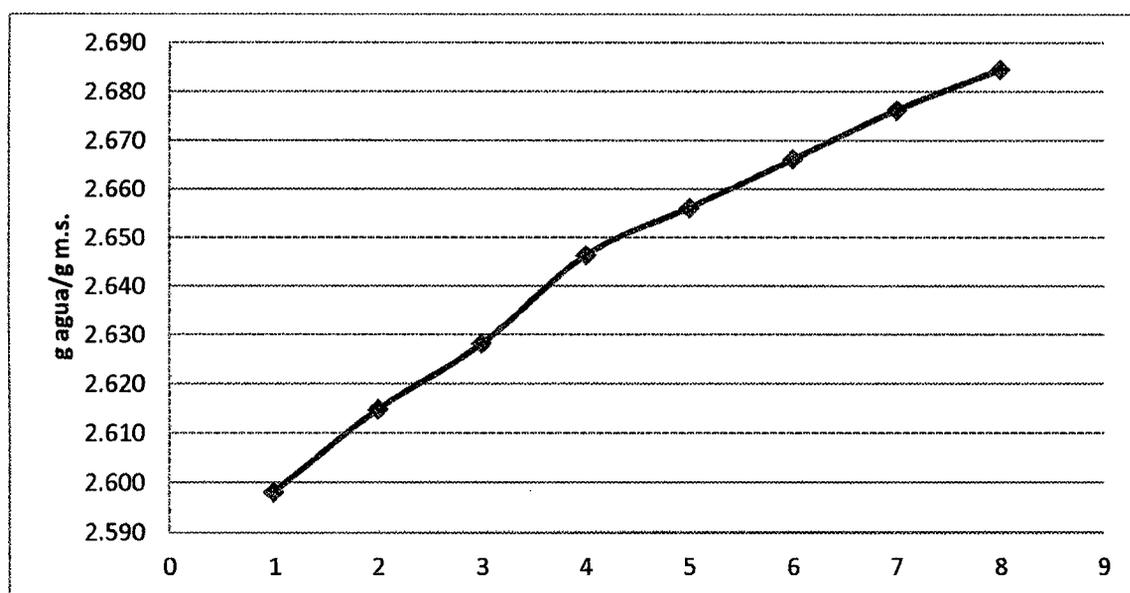
## ANEXO 4

### GRAFICO DE CAPACIDAD DE REHIDRATACION DE LOS DOCE TRATAMIENTOS

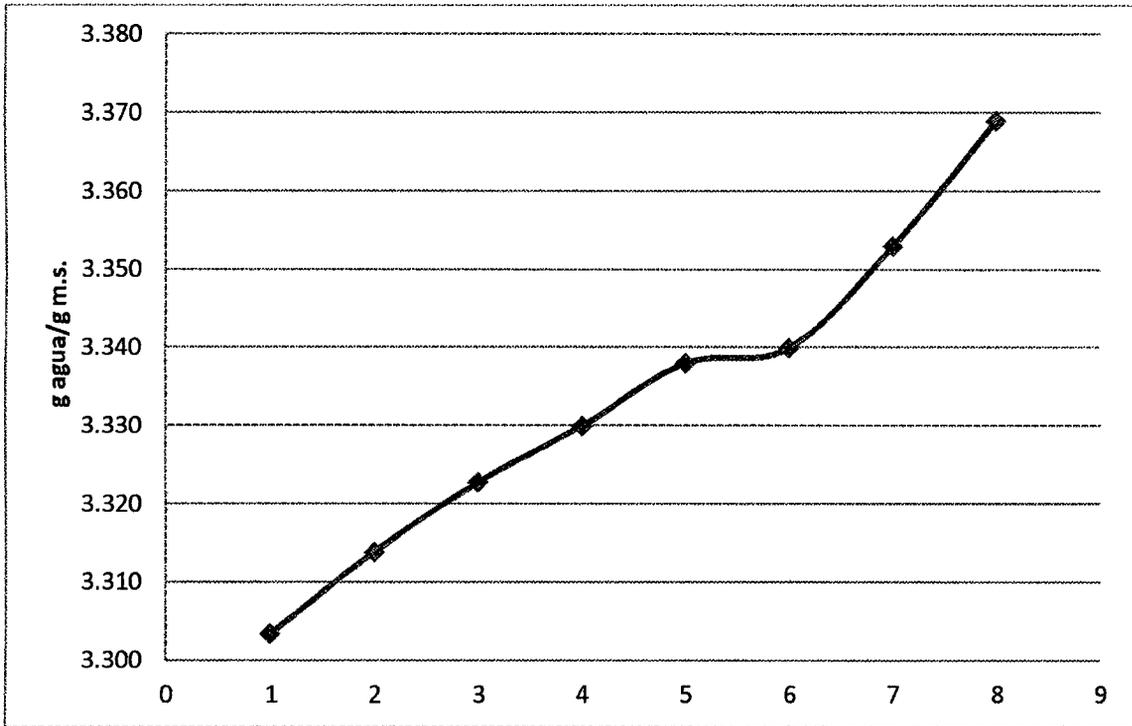
A continuación se presentan los gráficos de capacidad de rehidratación para los doce tratamientos.



**GRAFICO A2: CAPACIDAD DE REHIDRATACION DEL TRATAMIENTO 1 (cada 30 segundos)**



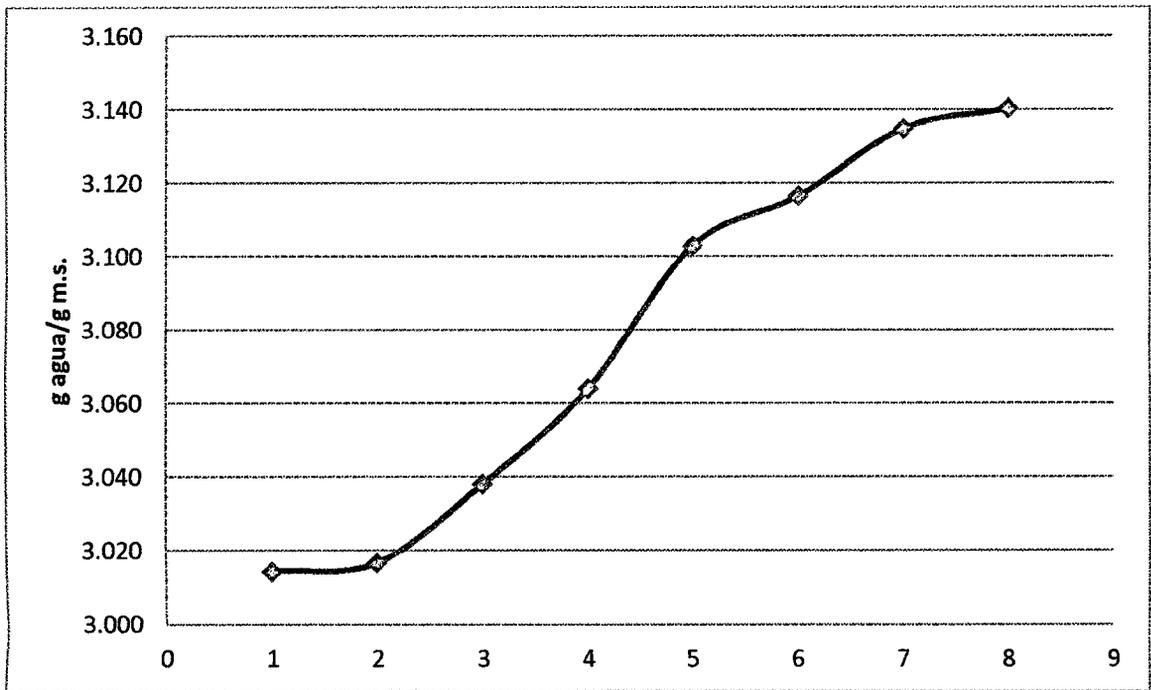
**GRAFICO B2: CAPACIDAD DE REHIDRATACION DEL TRATAMIENTO 2 (cada 30 segundos)**



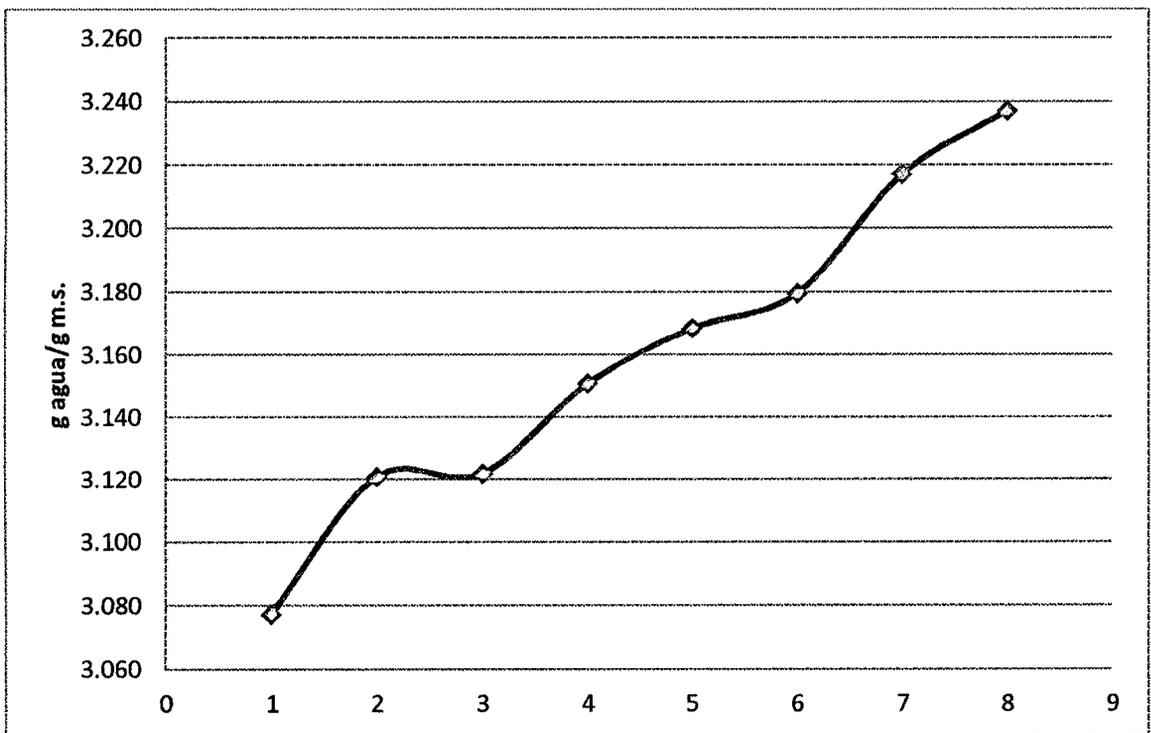
**GRAFICO C2: CAPACIDAD DE REHIDRATACION DEL TRATAMIENTO 3 (cada 30 segundos)**



**GRAFICO D2: CAPACIDAD DE REHIDRATACION DEL TRATAMIENTO 4 (cada 30 segundos)**



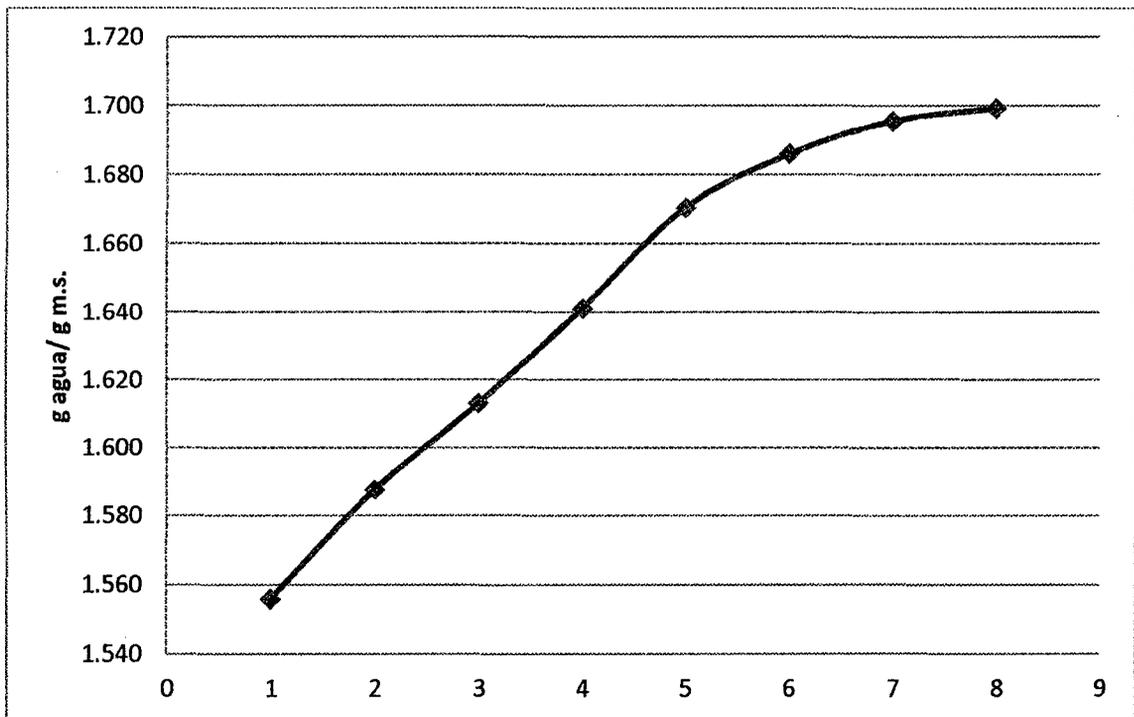
**GRAFICO E2: CAPACIDAD DE REHIDRATACION DEL TRATAMIENTO 5 (cada 30 segundos)**



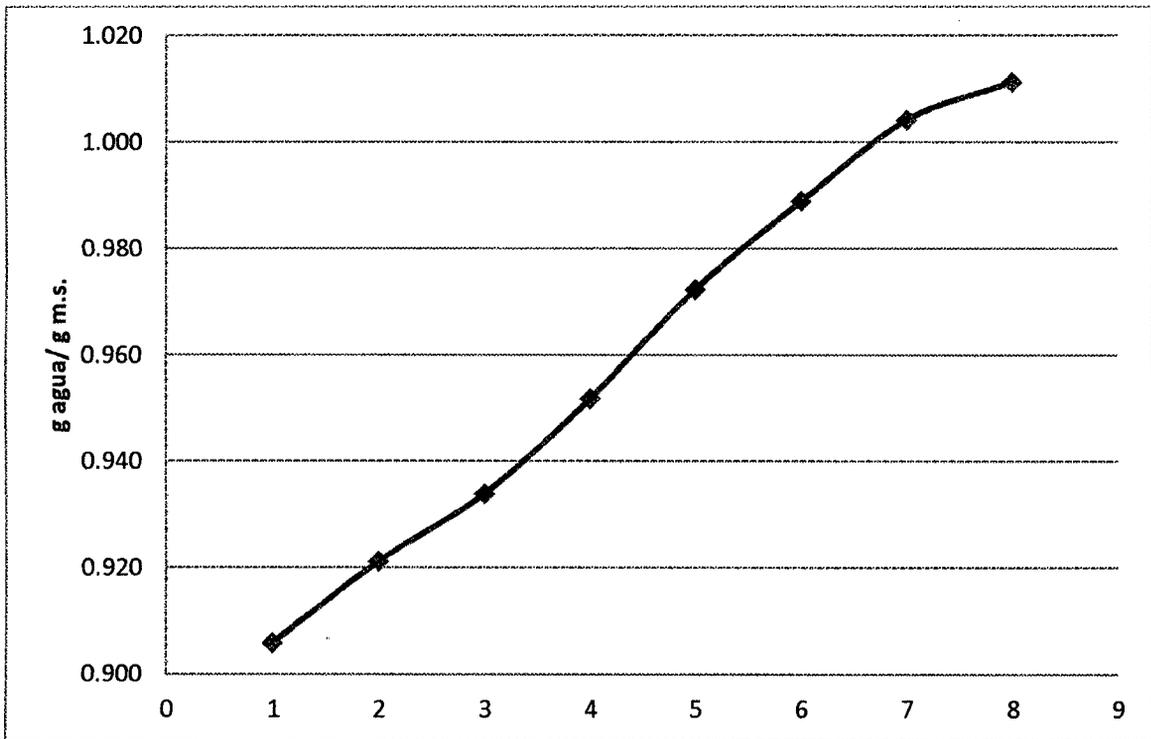
**GRAFICO F2: CAPACIDAD DE REHIDRATACION DEL TRATAMIENTO 6 (cada 30 segundos)**



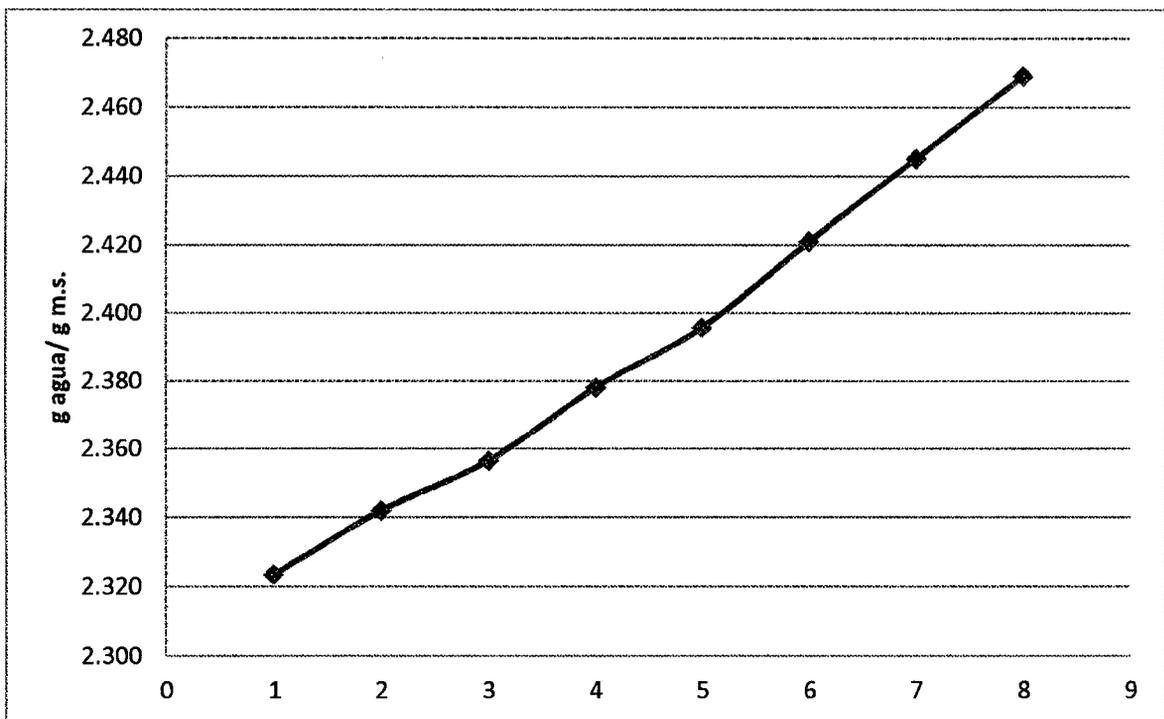
**GRAFICO G2: CAPACIDAD DE REHIDRATACION DEL TRATAMIENTO 7 (cada 30 segundos)**



**GRAFICO H2: CAPACIDAD DE REHIDRATACION DEL TRATAMIENTO 8 (cada 30 segundos)**



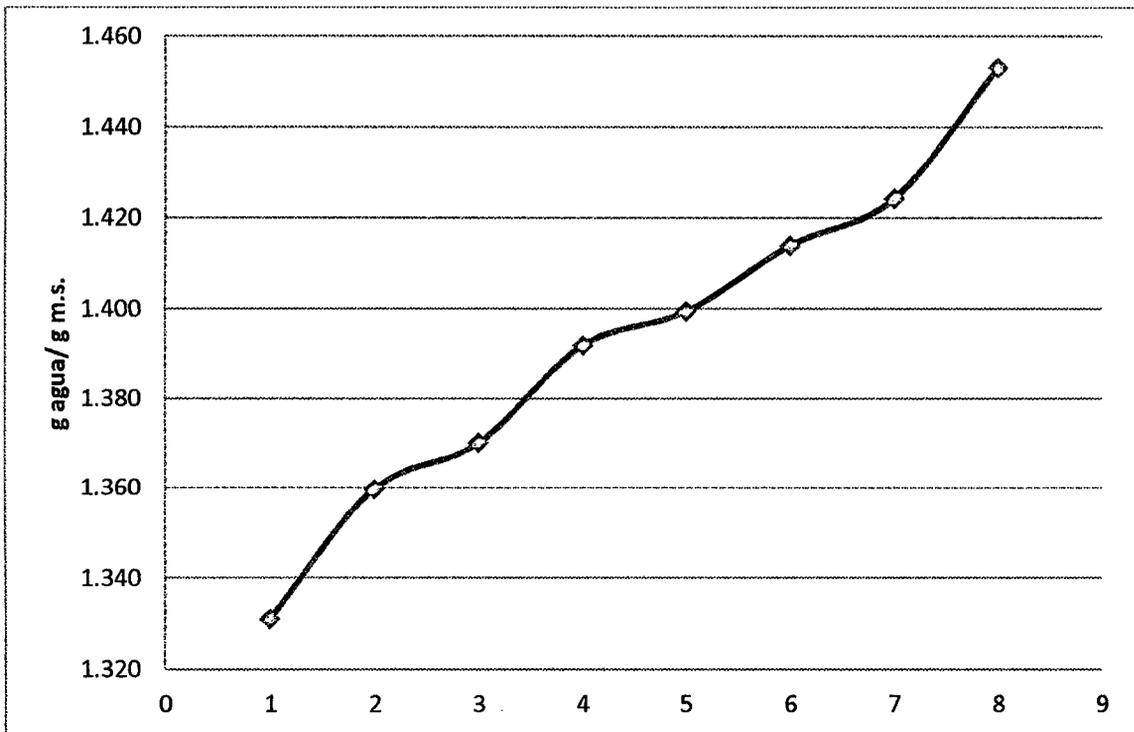
**GRAFICO I2: CAPACIDAD DE REHIDRATACION DEL TRATAMIENTO 9 (cada 30 segundos)**



**GRAFICO J2: CAPACIDAD DE REHIDRATACION DEL TRATAMIENTO 10 (cada 30 segundos)**



**GRAFICO K2: CAPACIDAD DE REHIDRATACION DEL TRATAMIENTO 11 (cada 30 segundos)**

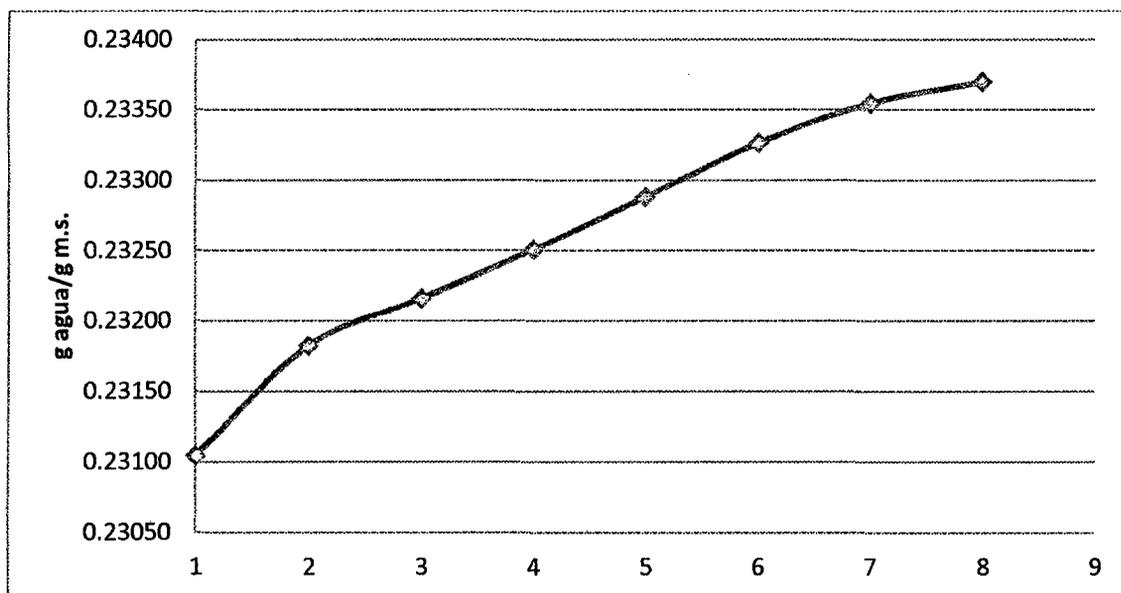


**GRAFICO L2: CAPACIDAD DE REHIDRATACION DEL TRATAMIENTO 12 (cada 30 segundos)**

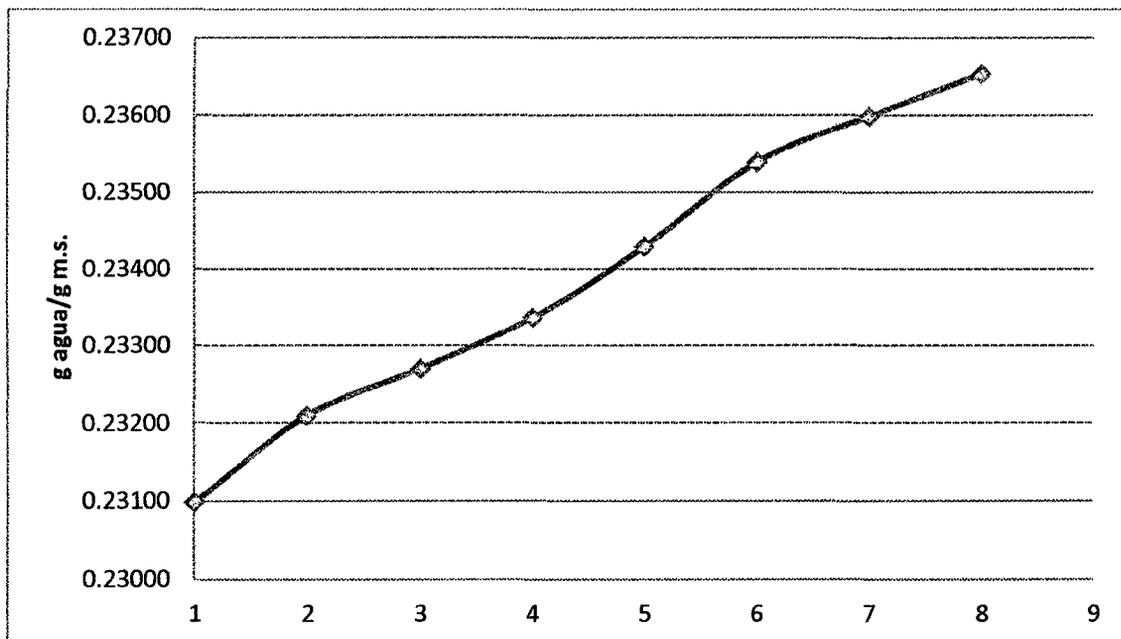
## ANEXO 5

### HIGROSCOPICIDAD

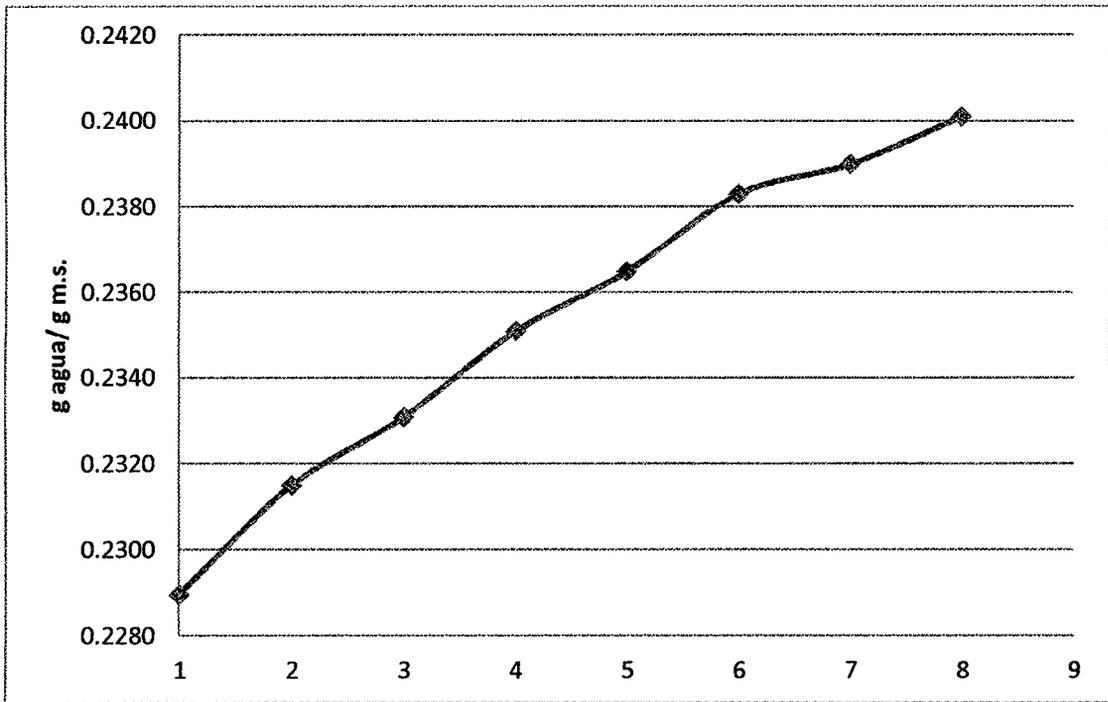
A continuación se presentan los gráficos de higroscopicidad para los doce tratamientos.



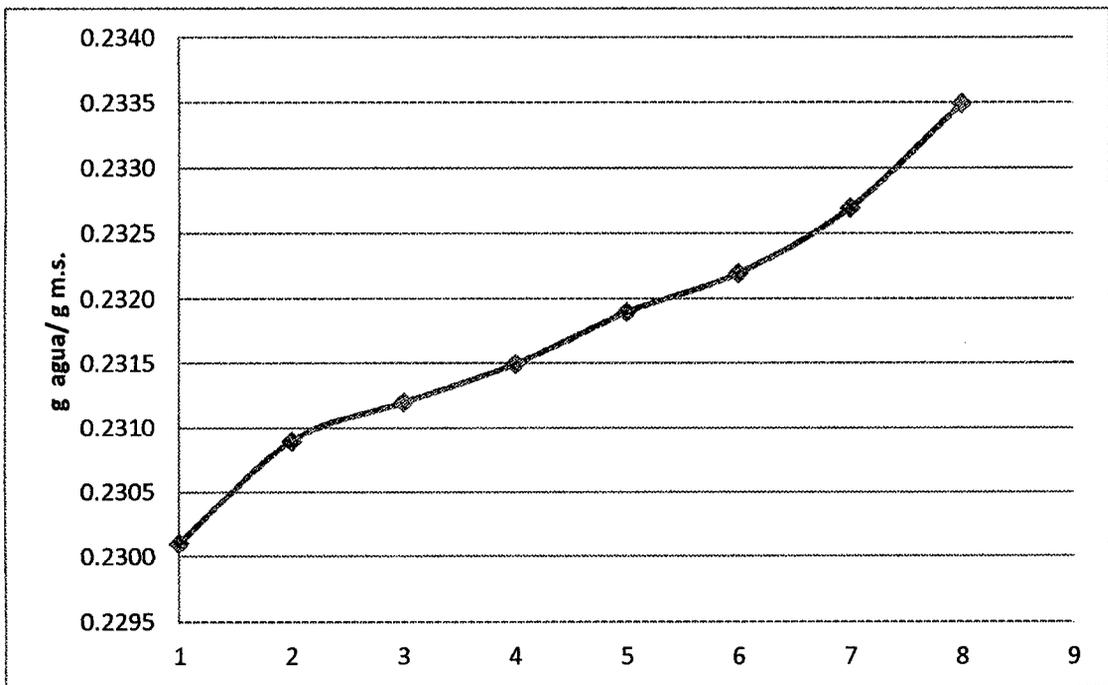
**GRAFICO A3: HIGROSCOPICIDAD DEL TRATAMIENTO 1  
(Cada 15 minutos)**



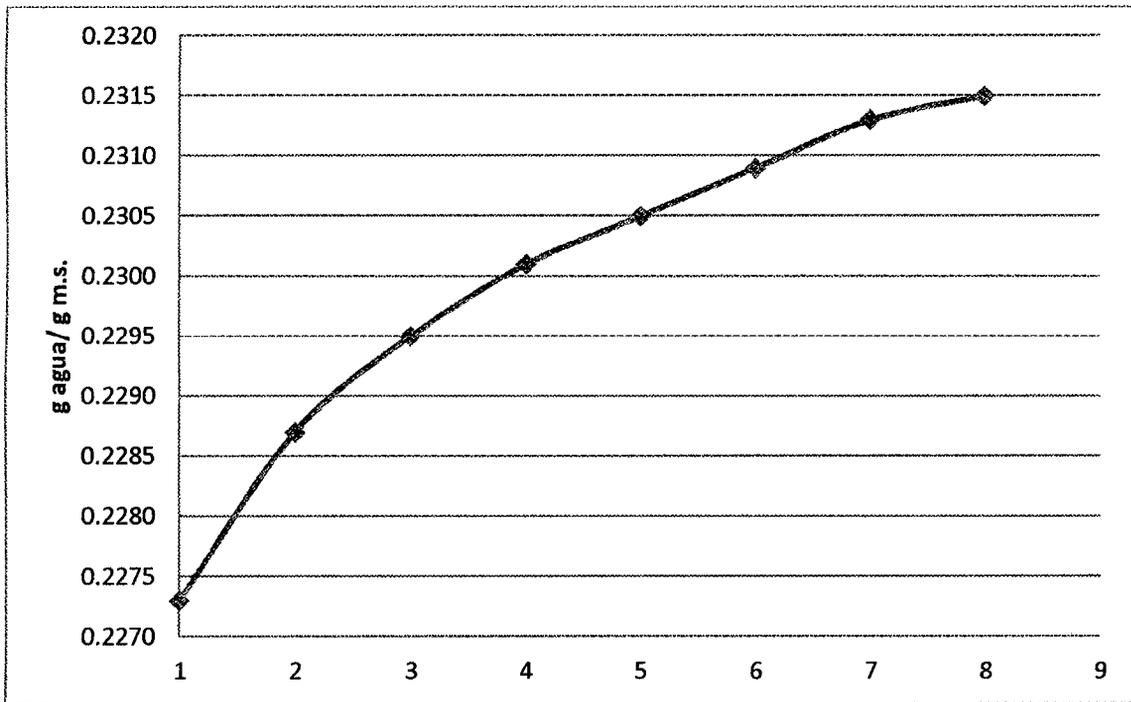
**GRAFICO B3: HIGROSCOPICIDAD DEL TRATAMIENTO 2  
(Cada 15 minutos)**



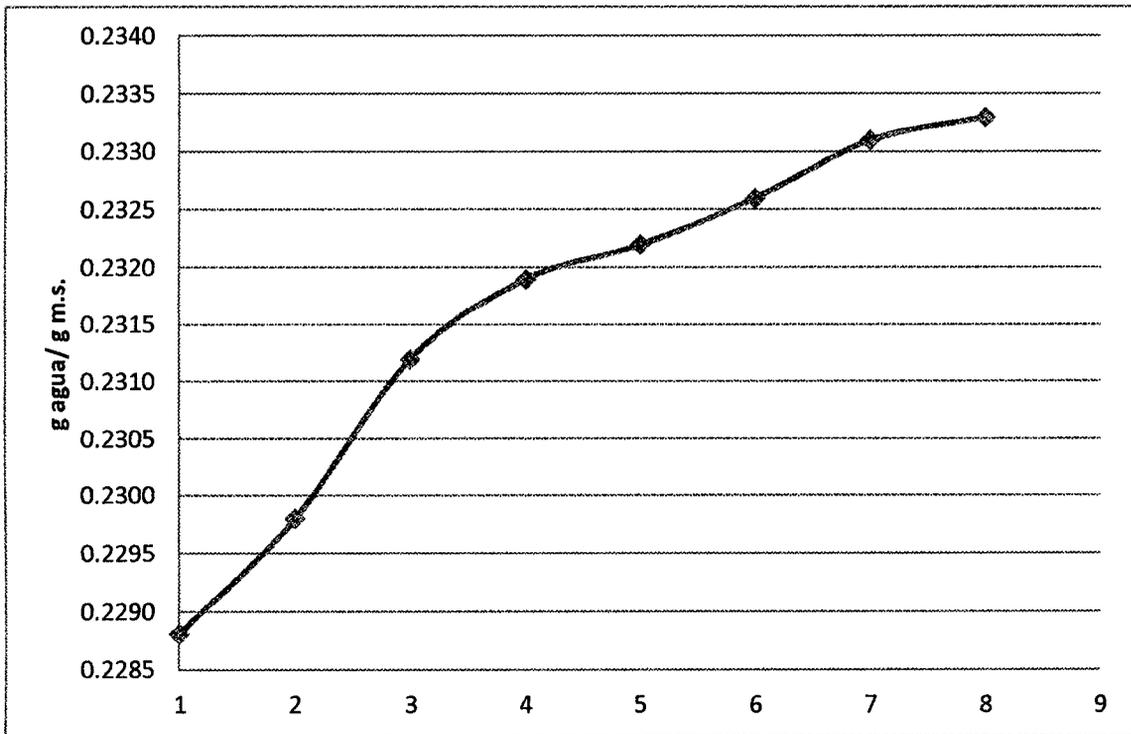
**GRAFICO C3: HIGROSCOPICIDAD DEL TRATAMIENTO 3  
(Cada 15 minutos)**



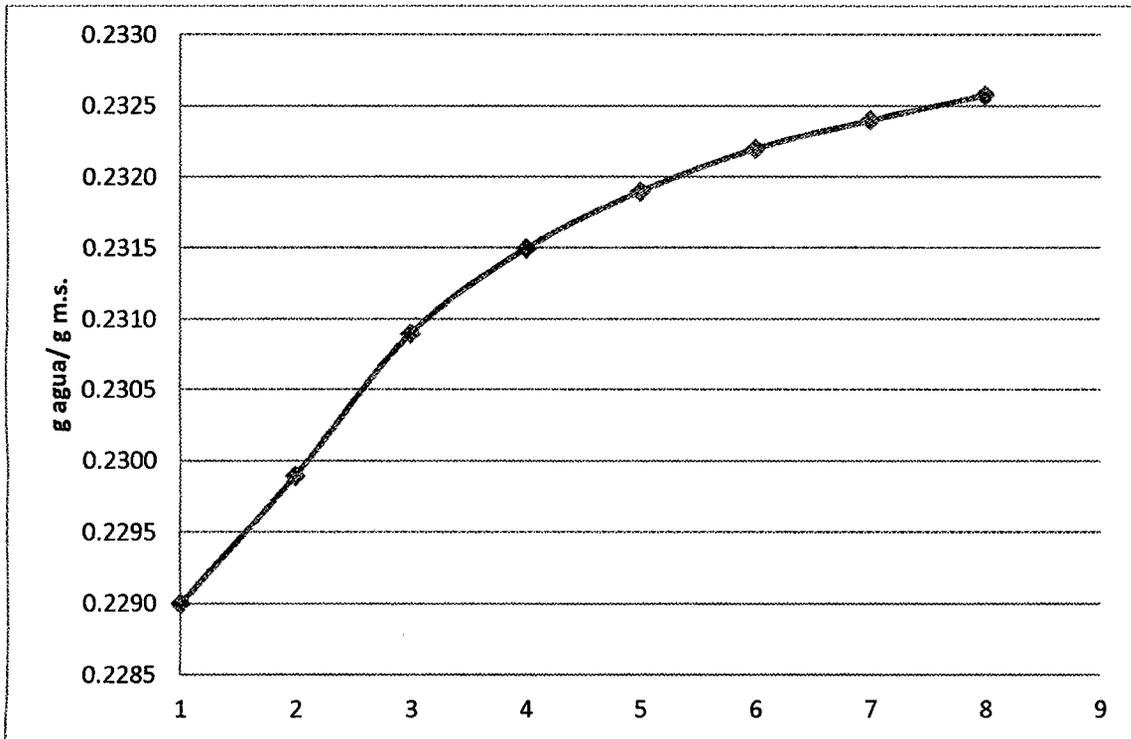
**GRAFICO D3: HIGROSCOPICIDAD DEL TRATAMIENTO 4  
(Cada 15 minutos)**



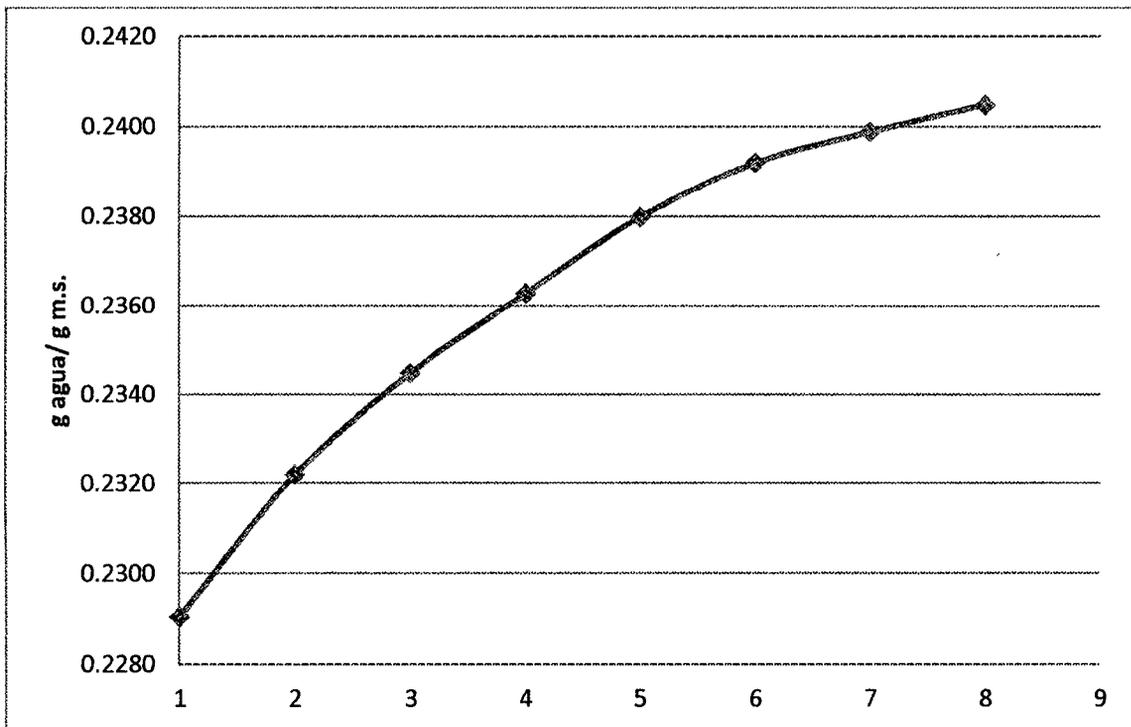
**GRAFICO E3: HIGROSCOPICIDAD DEL TRATAMIENTO 5  
(Cada 15 minutos)**



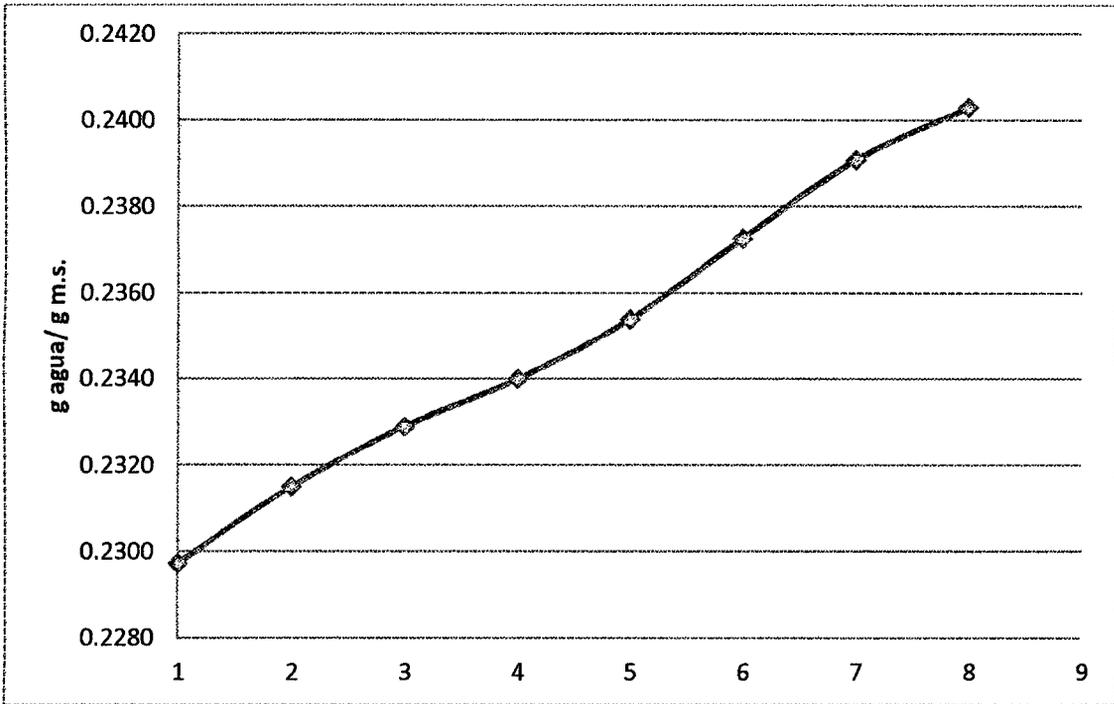
**GRAFICO F3: HIGROSCOPICIDAD DEL TRATAMIENTO 6  
(Cada 15 minutos)**



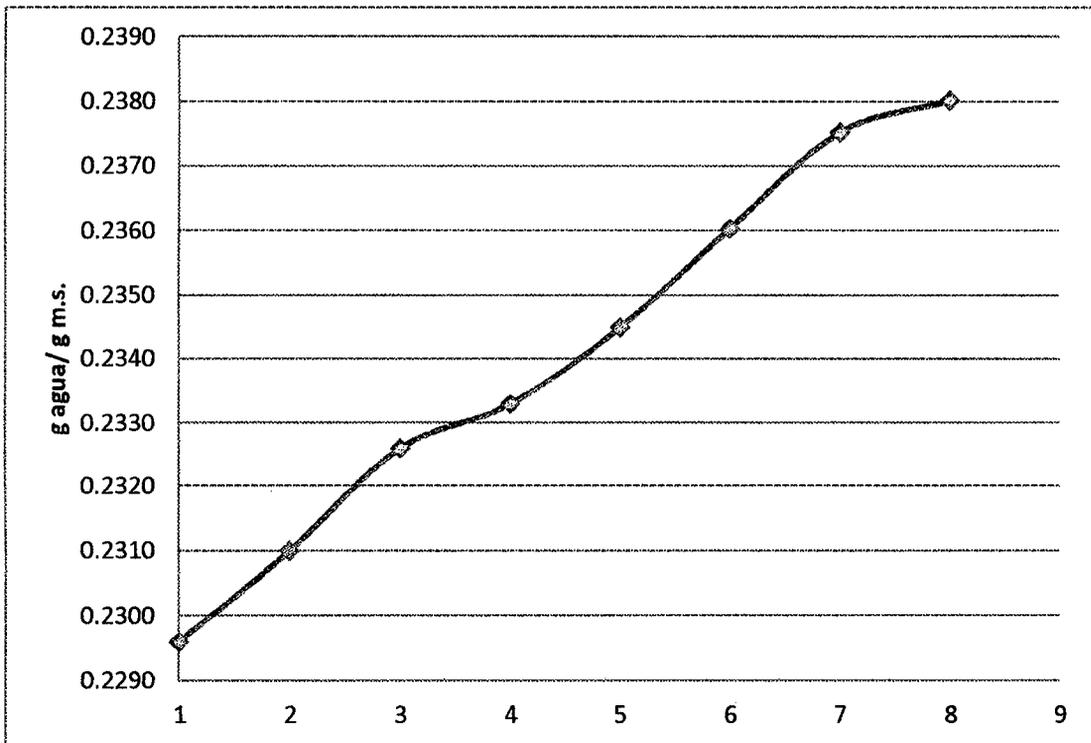
**GRAFICO G3: HIGROSCOPICIDAD DEL TRATAMIENTO 7  
(Cada 15 minutos)**



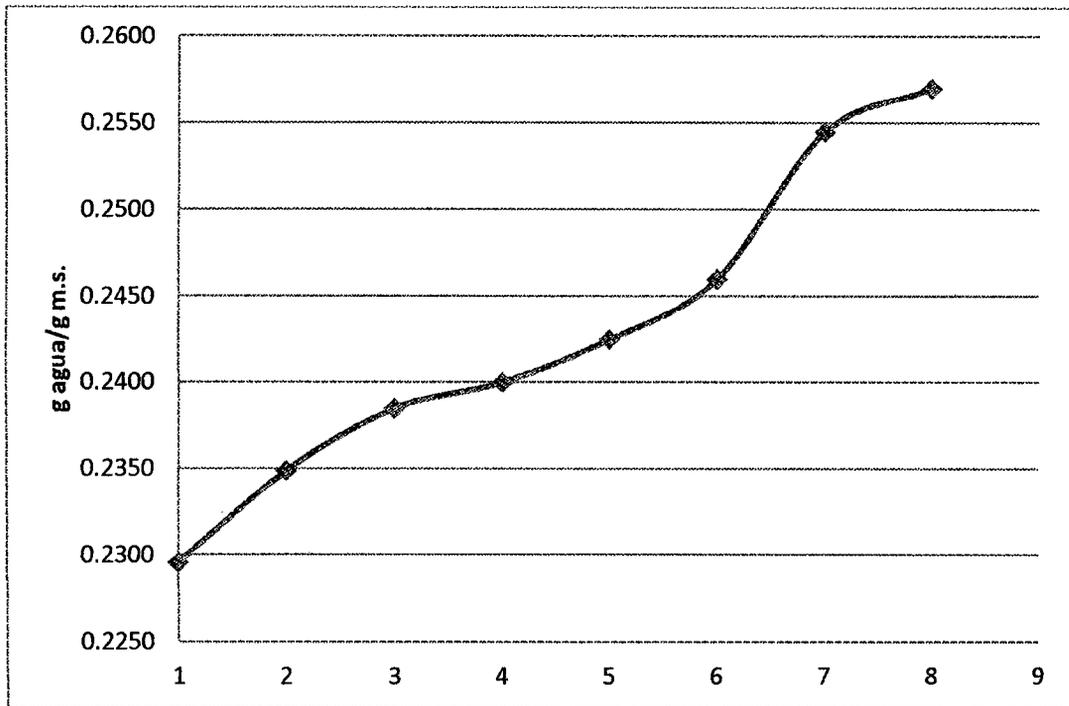
**GRAFICO H3: HIGROSCOPICIDAD DEL TRATAMIENTO 8  
(Cada 15 minutos)**



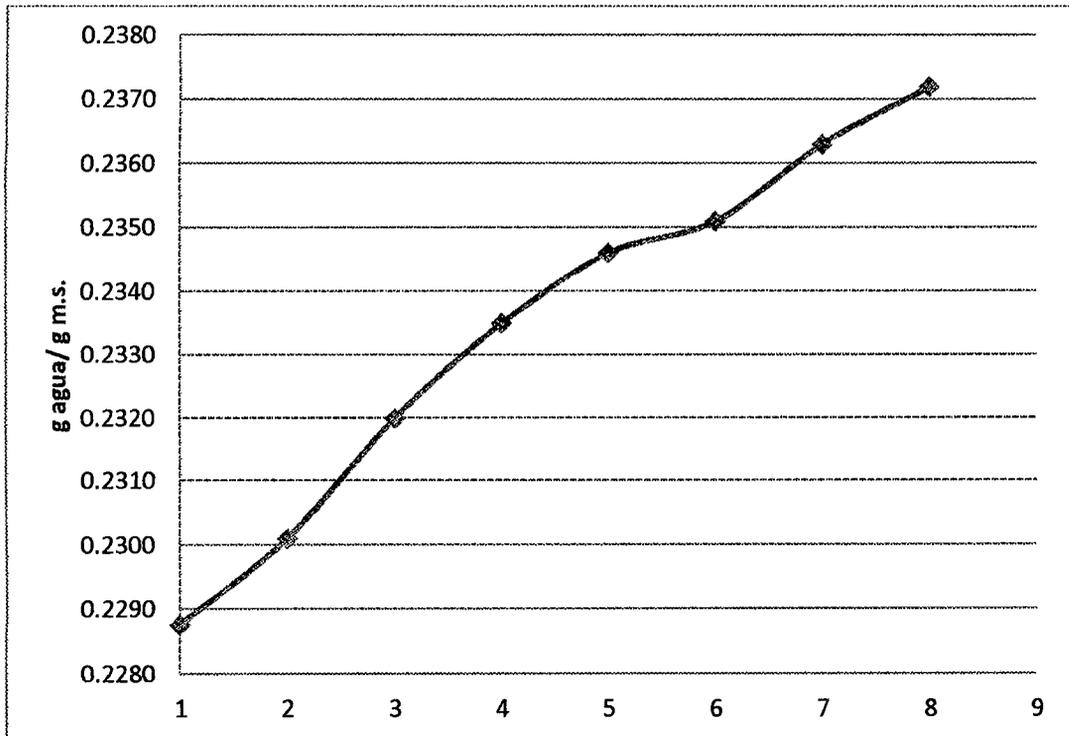
**GRAFICO I3: HIGROSCOPICIDAD DEL TRATAMIENTO 9  
(Cada 15 minutos)**



**GRAFICO J3: HIGROSCOPICIDAD DEL TRATAMIENTO 10  
(Cada 15 minutos)**



**GRAFICO K3: HIGROSCOPICIDAD DEL TRATAMIENTO 11  
(Cada 15 minutos)**



**GRAFICO L3: HIGROSCOPICIDAD DEL TRATAMIENTO 12  
(Cada 15 minutos)**



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

## **FACULTAD DE INGENIERIA**



### **ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

#### **I. DATOS GENERALES (PRE GRADO):**

##### **1.1. UNIVERSIDAD**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

##### **1.2. ESCUELA O CARRERA PROFESIONAL**

INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

##### **1.3. TITULO DE TRABAJO**

“EFECTO DEL MÉTODO DE LIOFILIZACIÓN, DENSIDAD DE CARGA Y TEMPERATURA DE PLACA EN LA CALIDAD DE FRESA (*Fragaria vesca* L.) DESHIDRATADA”

##### **1.4. AREA DE INVESTIGACION**

EXPERIMENTAL Y APLICADO

##### **1.5. AUTORES:**

DNI: 47350680, COLCHADO IRCAÑAUPA MIRELLA YANET

DNI: 46763027, VELASQUEZ AGUILAR ARELIS ELISA

##### **1.6. TITULO PROFESIONAL AL QUE CONDUCE:**

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

##### **1.7. AÑO DE APROBACION DE LA SUSTENTACION:**

2015

#### **II. CONTENIDO DEL RESUMEN**

##### **2.1. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

Las frutas juegan un papel trascendental en el equilibrio de la dieta humana teniendo en cuenta que constituyen una fuente natural de vitaminas y fibra, además de otro cúmulo de nutrientes y sustancias no



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**



**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

nutritivas pero con efecto beneficioso para la salud. Sin embargo, la disponibilidad de una gran variedad de especies se encuentra supeditada a las condiciones estacionales en las zonas subtropicales o a la baja oferta en el mercado de algunas de ellas, en concreto las de origen tropical. La fresa fisiológicamente madura presenta condiciones excepcionales para su procesado en la industria de alimentos, considerando que se le ha atribuido alto valor nutricional y energético, debido a su alto contenido de vitamina C. La fresa constituye un recurso de difícil manipulación y marcada estacionalidad influenciadas por su predisposición al ataque de microorganismos y la fragilidad de sus cultivos. Por esta razón, se requiere evaluar métodos para la transformación del producto que garanticen la estabilidad de sus componentes, de manera que puedan ser efectivos sus aplicaciones industriales. Tradicionalmente la tecnología ha incorporado una gran variedad de procesos que permitirían ofrecer la mayor cantidad de beneficios y toda clase de aprovechamiento de las frutas mencionadas. La liofilización es un proceso de secado utilizado principalmente en la industria alimentaria y farmacéutica, en el que el agua de un producto se extrae por sublimación. Para llevar a cabo la sublimación es necesario llevar el agua contenida en el fruto al estado sólido, es decir, se debe congelar. Este paso previo a la deshidratación, es de gran importancia para las características finales del producto. La velocidad a la cual se produce la congelación juega un papel preponderante, ya que afecta directamente la cantidad y tamaño de cristales de hielo formados. Si la velocidad es lenta, se formarían cristales de gran tamaño que pueden llegar a destruir la estructura interna del fruto. Existen distintos métodos de congelación que difieren entre sí en el tiempo que tarda en ocurrir el congelamiento total del producto. El método rápido es un método no convencional de congelamiento, en el cual el tiempo empleado en producir los cristales de hielo es menor que



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

## FACULTAD DE INGENIERIA



### ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

el tiempo necesario para congelar en cámaras frigoríficas convencionales.

#### 2.2. OBJETIVOS:

##### 2.2.1. Objetivo General:

- Determinar el efecto del método de liofilización, densidad de carga y temperatura de placa en la retención de vitamina c y calidad de la fresa deshidratada.

##### 2.2.2. Objetivos Específicos:

- Caracterizar fisicoquímica y sensorialmente la fresa.
- Determinar el método de liofilizado que retenga mayor cantidad de vitamina C y conserve la característica fisicoquímica de calidad.
- Determinar el espesor de la fresa que retenga mayor cantidad de vitamina C y conserve la característica fisicoquímica de calidad.
- Determinar la temperatura de la placa conserve las características fisicoquímicas.

#### 2.3. HIPOTESIS:

El método de liofilizado convencional con densidad de carga de 5 kg/m<sup>2</sup> y a temperatura de placa de -10 °C tiene mejor retención de vitamina C y mejor calidad, pero el tiempo de liofilización es mayor hasta en 2 horas frente al método rápido.

#### 2.4. MARCO TEORICO:

##### 2.4.1. Fresa

La fresa proviene de una hierba casi sin tallo, de hasta 30 cm de altura, perteneciente a la familia de las Rosaceae. Su tálamo, convexo y comestible, es rojo, dulce, aromático, carnoso, succulento y lleva numerosos frutitos secos (aquinos) sobre su superficie,



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

## FACULTAD DE INGENIERIA



### ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

constituyendo un fruto agregado (eterio). Se conocen más de 20 especies de *Fragaria*. Las variedades cultivadas comercialmente son por lo general híbridos, en especial *Fragaria vesca*. (Encyclopedia Britanica, 2010 citado por Mosquera L., 2010)

Las variedades de mayor importancia cultivadas en el Perú son: Camarosa, Chandler, Oso Grande y Pájaro, y en menor escala Fern, Douglas, Seascape, Irvine, Selva y otras. La Camarosa es una variedad que produce frutos durante 6 o 7 meses al año, su fruto es grande (sobre 28-30 cm), firme, color rojo oscuro y de forma cónica. Es la variedad de fresa más cultivada en los últimos años (alrededor del 60% de la producción mundial).

#### 2.4.1.1. Estado de Madurez

El índice de madurez es el color, es decir, se comenzará la recolección cuando el fruto ha adquirido el color típico de la variedad, al menos 2/3 a 3/4 de su color rojo, según sea la distancia a transportar y la temperatura reinante. (Undurraga P. y Vargas S., 2013)

#### 2.4.2. Liofilización

La liofilización es el proceso de deshidratación por congelación y sublimación; el contenido líquido natural de los sistemas biológicos se congela y se elimina en forma de vapor, bajo condiciones cuidadosamente controladas de presión y temperatura, para dejar una estructura que revierta el estado previo por adición de agua; si se aplica a sustancias lábiles como alimentos, permite la conservación a la temperatura ambiente durante largos periodos, adecuadamente protegidos del agua, luz y oxígeno. (Ozuna, 2001 citado por Bravo M.)

##### 2.4.2.1. Etapas de la liofilización.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**



**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL**

- **Congelación**

Para los alimentos, la temperatura de congelación es más baja que para el agua pura, ya que los solutos del agua no congelada se van concentrando y la temperatura de congelación va disminuyendo continuamente hasta que la solución queda congelada (Barbosa-Cánovas, 2005).

La variación en la velocidad de congelación afecta al tamaño de los cristales de hielo y por tanto al tamaño de poro en el producto seco, siendo de esperar, en consecuencia, que influya en la velocidad de desecación y en las características del producto, sobre todo en rehidratación (Brennan, 1980).

La estructura celular puede dañarse durante la congelación perjudicando la textura del producto reconstituido y el producto seco es muy quebradizo y susceptible a daños mecánicos (Fellows, 1994).

- **Sublimación (deshidratación primaria)**

La deshidratación primaria corresponde a la sublimación de toda el agua congelada del alimento, cuya velocidad es proporcional a la diferencia entre las presiones parciales de vapor de agua de hielo que se encuentran a nivel del frente de sublimación y sobre el condensador. Esta diferencia de presión depende directamente de la diferencia de temperatura entre el producto todavía congelado y el condensador del liofilizador. Como las diferencias de presión de vapor que se manejan son muy bajas, se explica que la velocidad de liofilización siempre sea pequeña (Potter, 1973).

La sublimación de los cristales de hielo puede considerarse comprendida por dos procesos fundamentales: transferencia de masa y transferencia de calor. Se suministra calor para sublimar los cristales de hielo y el vapor de agua generado es transferido fuera de la interfase de sublimación (Fellows, 1994).

- **Desorción (deshidratación secundaria)**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

## FACULTAD DE INGENIERIA



### ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

La etapa secundaria de secado comienza cuando se ha agotado el hielo en el producto, y la humedad proviene del agua parcialmente ligada en el material que se está secando. En este momento la velocidad de calentamiento debe disminuir para mantener la temperatura del producto por debajo de los 30-50°C, lo que evita el colapso del material (Barbosa-Cánovas, 2005).

#### 2.5. CONCLUSIONES:

- Se caracterizó a la fresa fresca obteniendo como resultado un porcentaje de humedad de 90.2 %, cenizas de 0.43 %, fibra de 1.04%, acidez 1.02 %, pH 3.46, Brix 6.5, y 58.65 mg de Vitamina C/100 g de fresa, los parámetros de color fueron  $L=41.05 \pm 0.4$ ,  $a^*=31.46 \pm 0.6$ ,  $b^*=22.86 \pm 0.45$ .
- El efecto del método de liofilización en los parámetros de color presentó diferencia significativa ( $p<0.05\%$ ) en el valor de  $a^*$ , siendo el mejor el método convencional, en el caso de la humedad y la capacidad de rehidratación también se presentó diferencia significativa siendo el método tradicional el que presentó menor porcentaje de humedad el con un promedio de 7.5% y una mayor capacidad de rehidratación con un promedio de 2.49 g de agua/g de m.s., aunque en la rehidratación las fresas liofilizadas por método rápido presentaron mejor aspecto físico, para la higroscopicidad hubo diferencia significativa en el método de liofilización, obteniéndose que en promedio el método rápido tiene menor valor de higroscopicidad, lo que favorece el almacenamiento de la fresa liofilizada, en el caso de la Vitamina C no se observó diferencia significativa.
- El efecto de la densidad de carga en los parámetros de color presentó diferencia significativa ( $p<0.05\%$ ) en el valor de  $a^*$  y  $b^*$ , siendo mejor la densidad de carga de 6 kg/m<sup>2</sup>, esto es debido al menor porcentaje de humedad por ende mayor concentración de pigmentos, en el caso



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

## FACULTAD DE INGENIERIA



### ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

de la humedad no hubo diferencia significativa en los resultados, sin embargo, según la prueba estadística de Tukey al 95% de confiabilidad se obtuvo que en promedio la densidad de carga de 6kg/m<sup>2</sup> presentó menores valores de humedad, en la capacidad de rehidratación y la higroscopicidad no hubo diferencia significativa, y a una densidad de carga de 7.5 kg/m<sup>2</sup> se presentó mayor porcentaje de retención de vitamina C.

- El efecto de la temperatura de placa en los parámetros de color presentó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) en el valor de  $a^*$  y  $b^*$ , siendo los valores más altos para la temperatura de placa de  $-10^{\circ}\text{C}$ , en el caso de la humedad y capacidad de rehidratación también se presentó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), obteniendo el menor porcentaje de humedad y mayor capacidad de rehidratación a la temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$ , para la higroscopicidad hubo diferencia significativa presentando menores valores a la temperatura de placa de  $0^{\circ}\text{C}$ , en la retención de vitamina C hubo diferencia significativa en la temperatura de placa siendo el que obtuvo mayor pérdida de vitamina C a  $-10^{\circ}\text{C}$ .
- El tratamiento nueve que consiste en el método rápido, temperatura de placa de  $-10^{\circ}\text{C}$  y densidad de carga de 6 kg/m<sup>2</sup>, mostro buenos resultados en comparación con los demás tratamientos, obteniéndose en los parámetro de color  $L = 34.55$ ,  $a^* = 39.3$  y  $b^* = 20.33$ , además se obtuvo 6.67 % de humedad, 3.2375 kg agua/kg m.s. en la capacidad de rehidratación, 0.2053 g agua/g m.s en la higroscopicidad y 70.6 % de retención de Vitamina C.

#### 2.6. RECOMENDACIONES:

En base a todo lo anterior, puede concluirse que las variables estudiadas tienen efecto en la calidad de la fresa. Desde este punto de vista, un análisis adicional para aumentar el porcentaje de retención de



# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

## FACULTAD DE INGENIERIA



### ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

vitamina C, podría realizarse liofilizando la fresa entera, para ver el efecto del corte de la fresa en la retención de Vitamina C; además también podría evaluarse la vida útil de la fresa deshidratada envasándolas en bolsas de aluminio plastificado y en otro tipo de envase. Para verificar el daño de la velocidad de congelación en la estructura de la fresa se tendría que hacer estudios de la porosidad del producto a nivel microscópico mediante microscopia electrónica de barrido (SEM).

#### 2.7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- Barbosa-Cánovas, 2005. Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. España. Ediciones Mundi Prensa.
- Brennan, J. 1980. Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. España. Acribia
- Fellows, P. 1994. Tecnología del procesado de alimentos: principios y prácticas. España. Acribia
- Mosquera, L. H. 2010. Influencia de la humedad y de la adición de solutos (maltodextrina o goma arábiga) en las propiedades fisicoquímicas de borjón y fresa en polvo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia
- Mosquera, L.H., Moraga, G., Martínez-Navarrete, N. 2010. Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borjón (*Borojoa patinoi* Cuatrec.) powder. *Journal of Food Engineering*, 97: 72–78.
- Ozuna, M, L. 2001. La liofilización como método de conservación de alimentos. Tesis de licenciatura en química de alimentos. UNAM. México.
- Potter, N. 1973. La ciencia de los alimentos. Mexico. Edutex S.A.
- Undurraga, P. y Vargas S. 2013. Manual de frutilla. Boletín INIA – N° 262. Instituto de Investigación Agropecuarias. Chile.