

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**EVALUACIÓN A ESCALA PILOTO DEL EFECTO DE LA  
DESAIREACIÓN EN LA ELABORACIÓN DEL JUGO DE  
NARANJA**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Muñoz V., Daniel A.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Químico

Caracas, 2012

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **EVALUACIÓN A ESCALA PILOTO DEL EFECTO DE LA DESAIREACIÓN EN LA ELABORACIÓN DEL JUGO DE NARANJA**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Johliny Casanova  
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Ceneiris Acosta

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por el Br. Muñoz V., Daniel A.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Químico

Caracas, 2012

Caracas, junio de 2012

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Daniel Muñoz, titulado:

**“Evaluación a escala piloto del efecto del proceso de la desaireación en la elaboración del jugo de naranja”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Armando Vizcaya  
Jurado

Prof. Amelia Estévez  
Jurado

Prof. Johliny Casanova  
Tutor Académico

Ing. Ceneiris Acosta  
Tutor Industrial

**A mis padres,  
Marilena y César,  
por darme la vida y  
enseñarme a vivirla**

## **Agradecimientos**

Primero que nada tengo que darle gracias a Dios por darme salud para llegar a este momento tan importante de mi vida, en el que se cumple uno de mis sueños y me abre las puertas para la realización de muchos más.

A la única y especial Universidad Central de Venezuela, que me dio la oportunidad de formarme tanto académica como personalmente sin pedir nada a cambio, sólo que le “echara pichón” para poder llegar un día a su grandiosa Aula Magna.

Por supuesto a mi familia, en especial a mis padres Marilena y César, que me trajeron a este mundo y nunca dejaron de confiar en mí, sabiendo que podía lograr esta meta así tuviera que caer y levantarme una y otra vez.

A mis tutoras Ing. Ceneiris Acosta y Profa. Johliny Casanova, que me acompañaron en todo momento, brindándome su incondicional ayuda, apoyo y disposición.

A mis amigos que estuvieron conmigo durante toda la carrera y que sé que podré contar con su apoyo cuando los necesite: Houssam, Franca, Varelon, Dona, Sayidh, Erika, Betty, Mayerling, Lessa, Jean, Myckol, Armando, Luisana, María José, Giovanni (Newton), Jesús (maracucho) y Vanessa (campi); gracias por todo sinceramente. José y Danka, ustedes tienen un lugar especial en mis agradecimientos porque son mis amigos más íntimos y siempre han estado allí día a día, dándome fuerzas y ánimos cuando más lo he necesitado.

Por último pero no menos importantes, a todos los amigos que pude hacer en mis pasantías, de los cuales aprendí muchísimo y les tengo un gran aprecio por haberme hecho sentir parte de su grandioso equipo de trabajo, José Juan, Mildred, Omar, Lisbeth, Héctor, Alejandro, Beatriz, Johan, Amarillys, Ceneiris y Lidia; nunca los olvidaré!

Muñoz V., Daniel A.

## EVALUACIÓN A ESCALA PILOTO DEL EFECTO DE LA DESAIREACIÓN EN LA ELABORACIÓN DEL JUGO DE NARANJA

**Tutor Académico: Prof. Johliny Casanova. Tutor Industrial: Ing. Ceneiris Acosta. Tesis. Caracas, U.C.V., Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Año 2012, 79 pp.**

**Palabras clave:** Desaireación, oxígeno disuelto, jugo de naranja, envasado.

**Resumen.** Un estudio comparativo sensorial y fisicoquímico del jugo de naranja pasteurizado a 90°C, envasado en caliente y en frío, desaireado y no desaireado fue llevado a cabo en una planta a escala piloto. Se estandarizó la metodología para la medición de oxígeno disuelto (OD) en un equipo Orion 3 Star DO benchtop mediante un diseño experimental involucrando las variables críticas: temperatura, velocidad de agitación y volumen de muestra. Se determinó que entre los rangos estudiados de estas variables (15 y 20 °C; 210 y 250 ml, 320 y 500 RPM) no existe diferencia significativa en la medición de la magnitud de la concentración de OD con un  $\alpha = 0,10$ ; de acuerdo a los resultados obtenidos en MiniTab®. Las condiciones estudiadas de operación del desaireador estuvieron entre 50 - 60 °C y -1,0 / -0,8 bar; siendo la condición de -1,0 bar y 60 °C la más efectiva para la remoción del OD (82,50%) cuando se envasa en caliente, de acuerdo a un análisis estadístico de varianza con un  $\alpha = 0,05$ . Las evaluaciones sensoriales fueron ejecutadas con un panel entrenado en atributos característicos del jugo de naranja, indicando que no hubo diferencia sensorial significativa entre el jugo desaireado y no desaireado, envasados a 80°C; mientras que las características fisicoquímicas del jugo permanecieron invariables sin desairear y con desaireado. El envasado a temperaturas elevadas favorece la remoción de OD, en mayor grado cuando aumenta la cantidad de sólidos totales en la bebida. No se encontraron diferencias sensoriales entre el jugo de naranja desaireado y no desaireado, ambos envasado en frío (20°C).

## ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
<b>CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>1</b>
I.1. - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
I.2 - ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
I.3 - OBJETIVOS .....	6
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
II.1.- Planta a escala piloto .....	8
II.2.- Naranja pasteurizada.....	8
II.3.- Concentrado de jugo de naranja para uso industrial.....	9
II.4.- Azúcar.....	9
II.5.- Agua de proceso .....	9
II.6.- Ácidos.....	9
II.6.1.- Ácido cítrico.....	10
II.6.2.- Ácido ascórbico.....	10
II.7.- Proceso de desaireación.....	12
II.7.1.- Principio de la desaireación .....	13
II.8.- Pasteurización.....	15
II.9.- Envasado en caliente .....	15
II.10.- Envasado aséptico en frío.....	15
II.11.- Diseño experimental estadístico .....	16

II.11.1- Probabilidad .....	17
II.11.2- Nivel de significancia.....	17
II.12.- Evaluación sensorial .....	17
II.12.1.- Panel entrenado sensorialmente .....	17
II.12.2.- Pruebas discriminativas.....	18
II.12.3.- Pruebas triangulares .....	18
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>19</b>
III.1.- Estandarización de la metodología para la determinación de oxígeno disuelto en jugo de naranja.....	19
III.2.- Determinación de las condiciones de operación del desaireador para la elaboración de jugo de naranja. ....	20
III.3.- Comparación de las características fisicoquímicas y sensoriales del producto desaireado con el producto sin desairear. ....	22
III.4.- Determinación del efecto del proceso de envasado del jugo de naranja sobre el contenido de oxígeno disuelto en el producto final. ....	27
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
IV.1.- Determinación de la metodología de análisis más apta para la medición de oxígeno disuelto en el jugo de naranja utilizando el equipo Orion 3 Star DO Benchtop.....	28
IV.2.- Determinación de las condiciones de operación del desaireador.....	33
IV.2.1.- Pruebas realizadas con agua de proceso sin uso del desaireador .....	33
IV.2.2.- Pruebas realizadas con agua de proceso utilizando el desaireador.....	36
IV.2.3.- Pruebas realizadas con jugo de naranja con uso del desaireador y envasado en caliente.....	38
IV.2.4.- Pruebas realizadas con jugo de naranja con uso del desaireador y envasado en frío .....	43
IV.2.5.- Pruebas realizadas con agua de proceso con azúcar añadida .....	46
IV.2.6.- Mediciones realizadas en una línea industrial de jugo de naranja envasado en empaques de 1000 ml. ....	48
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>50</b>



RECOMENDACIONES .....	52
BIBLIOGRAFÍA .....	53
ANEXOS .....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>Pág.</b>
Tabla N° 1. Condiciones de diseño del desaireador.....	20
Tabla N° 2. Condiciones recomendadas para una desaireación eficiente.....	21
Tabla N° 3. Niveles correspondientes para cada factor del diseño experimental .....	30
Tabla N°4. Resultados experimentales del diseño experimental con jugo de naranja en empaques de 1000 ml.....	31
Tabla N°5. Probabilidad para cada factor estudiado y sus interacciones en el diseño experimental con jugo de naranja en empaques de 1000 ml.....	32
Tabla N°6. Valores establecidos para la determinación de la concentración de oxígeno disuelto con el equipo Orion 3Star DO benchtop. ....	33
Tabla N°7. Valores de la concentración de oxígeno disuelto en el agua de proceso a la entrada y salida del sistema, sin el uso del desaireador, sin pasteurización y envasado en frío a 20°C. ....	34
Tabla N°8. Valores de la concentración de oxígeno disuelto en el agua de proceso a la entrada y salida del sistema, sin el uso del desaireador, con pasteurización a 90 °C y envasando en caliente a 80°C.....	35
Tabla N°9. Valores de la concentración de oxígeno disuelto en el agua de proceso a la entrada y salida del sistema, sin el uso del desaireador, con pasteurización a 90 °C y envasado en frío a 20°C. ....	35
Tabla N°10. Valores de la concentración de oxígeno disuelto en el agua de proceso a la entrada y salida del sistema, con el uso del desaireador a 50 °C y -0.8 bar, pasteurización a 90°C y envasado en caliente a 80°C. ....	36
Tabla N°11. Valores de la concentración de oxígeno disuelto en el agua de proceso a la entrada y salida del sistema, con el uso del desaireador a 60 °C y -1.0 bar, pasteurización a 90°C y envasado a 80°C.....	37
Tabla N°12. Valores de la concentración de oxígeno disuelto en el jugo de naranja en bebida cruda, bebida terminada pasteurizada y con el uso del desaireador a distintas condiciones de operación y sin el uso del desaireador. BT: bebida terminada.....	39

Tabla N°13. Propiedades fisicoquímicas de la bebida cruda y terminada para cada corrida de jugo de naranja envasado en caliente, sin desairear y a distintas condiciones de desaireación. BC: bebida cruda; BT: bebida terminada. ....	42
Tabla N°14. Resultados de las pruebas triangulares entre muestras de jugo de naranja pasteurizado y desaireado a diferentes condiciones, en comparación con el jugo patrón.....	43
Tabla N°15. Valores de la concentración de oxígeno disuelto en el jugo de naranja en bebida cruda y bebida terminada (BT), pasteurizada y envasada en frío a 20°C, con el uso del desaireador a 60°C y -1,0 bar y sin el uso del desaireador. ....	44
Tabla N°16. Resultados estadísticos de las pruebas sensoriales realizadas a muestras del jugo de naranja pasteurizado y envasado en frío a 20°C, con el uso del desaireador a 60°C y -1,0 bar y sin el uso del desaireador.....	45
Tabla N°17. Propiedades fisicoquímicas de la bebida cruda y terminada para cada corrida de jugo de naranja pasteurizado, sin desairear y desaireado a -1,0 bar y 60°C, ambas con envasado en frío a 20°C. BC: bebida cruda; BT: bebida terminada. ....	46
Tabla N°18. Concentraciones promedio y diferencia porcentual de la concentración de oxígeno disuelto en el agua de proceso con azúcar, sometido a pasteurización, sin desairear y desaireado, envasado en caliente y en frío. S/D: sin desairear; C/D: con desaireado a -1,0 bar, 60°C; E/F: envasado a 20°C; E/C: envasado a 80°C. ....	46
Tabla N°19. Concentraciones de oxígeno disuelto en el jugo de naranja procesado en una línea industrial, pasteurizado, con envasado estéril en frío con inyección de nitrógeno (envases de 1000 ml) y sin inyección de nitrógeno (envases de 250ml)....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>Pág.</b>
Figura N°1. Vías de la degradación del ácido ascórbico. ....	11
Figura N°2. Desaireador para jugos a condiciones de vacío.....	12
Figura N°3. Solubilidad del oxígeno en agua en función de la temperatura a dos presiones diferentes.....	13
Figura N°4. Esquema de equipos en una planta productora de naranjada en caliente. ....	14
Figura N°5. Ejemplo de una planilla presentada a un panelista en una prueba triangular. ....	18
Figura N°6. Medidor de oxígeno disuelto Orion 3 DO Benchtop .....	19
Figura N°7. pHmetro utilizado para la medición del pH de las muestras.....	22
Figura N°8. Tituladora automática Metrohm utilizada para medir la acidez cítrica de las muestras .....	23
Figura N°9. Densitómetro Anton Paar DMA 4500 utilizado para la medición de la densidad de las muestras .....	23
Figura N°10. Refractómetro Atago utilizado para medir °Bx de las muestras.....	24
Figura N°11. Refracción de la luz en agua y en una solución concentrada en sacarosa .....	24
Figura N°12. Esquema de un electrodo polarográfico .....	25
Figura N°13. Disminución de la temperatura del jugo de naranja envasado en empaques de 1000 ml, refrigerado a -20 °C.....	29
Figura N°14. Montaje de los equipos para la medición del oxígeno disuelto. ....	30
Figura N°15. Diferencia porcentual del oxígeno disuelto a la entrada y salida del sistema en el agua de proceso, a distintas condiciones. ....	38

Figura N°16. Diferencia porcentual de la concentración de oxígeno disuelto entre la bebida cruda y bebida terminada del oxígeno disuelto en el jugo de naranja pasteurizado envasado en caliente, desaireado a distintas condiciones y no desaireado ..... 40

Figura N°17. Diferencia porcentual de la concentración del oxígeno disuelto entre la entrada y salida del sistema en el agua de proceso y jugo de naranja pasteurizado y envasado en caliente, no desaireado (patrón) y con el desaireado más eficiente..... 41

Figura N°18. Diferencia porcentual del oxígeno disuelto entre la entrada y salida del sistema en el agua de proceso y jugo de naranja pasteurizado, envasado en frío a 20°C, no desaireado (patrón) y desaireado a 60°C y -1,0bar..... 45

Figura N°19. Diferencia porcentual del oxígeno disuelto entre la entrada y salida del sistema en el agua de proceso, agua de proceso con azúcar añadida y naranjada con pasteurización, envasado en frío a 20°C y en caliente a 80°C, sin desairer y con desaireado a 60°C y -1,0bar ..... 47

## INTRODUCCIÓN

Los estudios a escala piloto son fundamentales en todo tipo de industria, especialmente en las empresas de alimentos, debido a que en ellas se aplican las condiciones de operación a las cuales el producto es sometido en la línea industrial, dejando conocer la variabilidad de factores como temperatura, presión, caudal y características fisicoquímicas del producto a lo largo de todo el proceso.

En el caso de las bebidas de frutas, el jugo de naranja 60 % (naranjada) es uno de los que posee mayor índice de consumo tanto en Venezuela como a nivel mundial y también es uno de los más susceptibles a la oxidación, proceso que depende de las condiciones de almacenamiento y cantidad de oxígeno disuelto (OD) que se encuentre en el producto al momento del envasado. La oxidación de la naranjada tiene como consecuencia la degradación de sus propiedades nutritivas y organolépticas por la formación de compuestos derivados de la oxidación del ácido ascórbico (vitamina C).

Es por esta razón que se plantea el estudio de la operación de un equipo desaireador a escala piloto, evaluando si los efectos de su incorporación a la línea de producción alteran los parámetros fisicoquímicos y organolépticos de la naranjada. Para ello, se debe estandarizar la metodología para la determinación de OD, establecer mediante pruebas con agua de proceso y naranjada las condiciones a las que operaría el desaireador y determinar si se presentan diferencias notables entre la naranjada sin desairear y la desaireada. Por último, se estudiaron las diferencias de concentración de OD en el producto terminado envasándose en frío y en caliente.

El presente trabajo está conformado por cinco capítulos: en el capítulo I se describen los fundamentos de la investigación, donde se detalla el planteamiento del problema, los antecedentes de la investigación y los objetivos generales y específicos.

En el capítulo II se presentan conceptos clave para el entendimiento de los aspectos teóricos concernientes al estudio.

El capítulo III expone la metodología detallada con la cual se van a ejecutar los objetivos propuestos en esta investigación.

En el capítulo IV se muestran los resultados y el análisis de lo que se obtuvo en la parte experimental durante las corridas de agua de proceso y naranjada en la planta piloto.

Por último, se observan las conclusiones a las que se pudo llegar, luego de analizar los resultados encontrados y también las recomendaciones para pruebas o investigaciones posteriores a este Trabajo Especial de Grado.

---

## CAPÍTULO I

### FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación se presenta el planteamiento del problema objeto de estudio, así como el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación. En esta sección, también se muestran los antecedentes que servirán de apoyo a este Trabajo Especial de Grado.

#### I.1. - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los jugos de frutas producidos industrialmente están compuestos principalmente por concentrado de jugo natural, agua de proceso y otros ingredientes tales como endulzantes, aromas y aceites naturales que resaltan y hacen más agradable el sabor del jugo para el consumidor.

Existen diversos métodos que se aplican en el procesado de bebidas de frutas para su conservación y alargamiento de la vida útil como lo son la pasteurización y el tipo de envasado, que puede ser en caliente o aséptico en frío. Estas etapas en el procesamiento tienen el objetivo de eliminar la mayoría de bacterias y microorganismos que puedan proliferar en el tiempo que el producto se encuentre en espera por ser consumido. También existen procesos de uso complementario como es el caso de la desaireación, que tiene la función de eliminar gran parte del oxígeno presente en un fluido a procesar (Tetra Pak®, 1998).

Particularmente en el caso de las bebidas de frutas, la cantidad de oxígeno disuelto en el mismo, juega un papel fundamental en su conservación, debido a que el ácido ascórbico presente es sensible a las reacciones de oxidación, destruyéndose con gran facilidad, lo que ocasiona la pérdida de su función vitamínica y características nutricionales, además de originar el indeseable pardeamiento no enzimático, causando cambio de color a un tono marrón en la bebida (Berlinet, 2003). Aunado a



esta posible reacción, las bacterias aeróbicas que puedan subsistir luego del proceso de pasteurización podrían reproducirse al encontrarse en un medio con presencia de oxígeno, causando descomposición o deterioro de la bebida (Hui, 2006a).

En cuanto al proceso de elaboración del jugo, en el envasado, el exceso de oxígeno puede provocar la formación de espuma, llevando a tener pérdidas de producto y/o llenado incorrecto. Al poner en operación el desaireador, no sólo se extrae gran porcentaje del oxígeno disuelto, sino también componentes volátiles característicos del jugo, pudiendo ocasionar cambios en sus propiedades organolépticas (Tetra Pak®, 1998).

En búsqueda de mejoras en la calidad de sus productos y la posible extensión de la vida útil de los jugos de frutas producidos por una empresa de consumo masivo, se plantea la incorporación a escala industrial de un equipo de desaireación para la elaboración del jugo de naranja. Como es sabido, antes de incorporar un nuevo equipo a una línea industrial se deben realizar pruebas a escala piloto para conocer qué efectos tendría sobre el producto final, así como también los requerimientos operacionales implicados.

Por estos motivos, se busca en el presente Trabajo Especial de Grado evaluar el efecto de la desaireación en el procesamiento de jugo de naranja pasteurizado. Para esto se utilizó una planta piloto con un desaireador incorporado y se realizaron análisis fisicoquímicos y sensoriales del producto obtenido bajo estas condiciones. Los resultados obtenidos de esta evaluación servirán de base para la toma de decisión acerca de la incorporación de la etapa de desaireación en la elaboración de jugo de naranja a escala industrial.

## **I.2 - ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

A lo largo de los años se han realizado estudios físico-químicos a las bebidas de frutas, debido principalmente a la degradación gradual del ácido ascórbico durante el

almacenaje del producto. Esta degradación puede depender de varios factores como: exposición a la luz, grado de oxigenación del producto, tipo de envase y temperatura de almacenamiento. Algunas de estas investigaciones se presentan a continuación:

a) García (2007) evaluó la estabilidad microbiológica y las variaciones físico-químicas y sensoriales del concentrado del jugo de naranja empacado asépticamente y del producto diluido, almacenado a diferentes temperaturas (25, 30 y 37 °C).

La metodología se basó en el recuento de bacterias aerobias mesófilas de las muestras, empleando el método de siembra a profundidad, análisis de pH, grados Brix, contenido de ácido ascórbico, relación °Bx: % acidez, color, componentes volátiles y evaluaciones sensoriales.

Los resultados más importantes de este estudio, muestran que a la temperatura de almacenaje de 37 °C, el concentrado presentó cambios significativos en sus características sensoriales y contenido de vitamina C, mientras que a 30 °C sólo se evidenció alteración sensorial y a 25 °C permaneció estable, siendo la temperatura un factor crítico en la estabilidad del jugo. También observó que las variables temperatura conjuntamente con el tiempo de almacenamiento (12 semanas), influyen directamente en el oscurecimiento del jugo de naranja por formación de compuestos melanoidales, provenientes de la reacción de Maillard. En cuanto a los compuestos volátiles, el incremento de L-Carvona, t-Carveol y furfural, pueden estar relacionados con la alteración en las características sensoriales del producto. Por otro lado, los parámetros fisicoquímicos no mostraron dependencia en función de la temperatura.

b) Burdurlu, Koca y Karadeniz (2006) estudiaron la cinética de la degradación de la vitamina C o ácido ascórbico (AA) y la formación de hidroximetilfurfural (HMF) en concentrados de jugos de frutas cítricas (naranja, limón, uva y mandarina), durante ocho semanas de almacenamiento a temperaturas de 28, 37 y 45°C.

Para la medición de la concentración del ácido ascórbico utilizaron un método espectrofotométrico con una longitud de onda de 500nm contra gas xileno. La pérdida

de ácido ascórbico fue contabilizada mediante la siguiente ecuación estándar de primer orden:

$$\ln C = \ln C_0 - kt \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

C: concentración de AA al tiempo t (mg/100g)

C<sub>0</sub>: concentración de AA a t=0 (mg/100g)

k: constante cinética de la reacción (h<sup>-1</sup>)

t: tiempo de almacenamiento (semanas)

En cuanto al método para la determinación de HMF, se basó en la medición del color rojo que aparece a partir de la reacción entre el ácido tiobarbitúrico y el HMF en un espectrofotómetro a 550nm contra agua.

Los resultados obtenidos describen la disminución general del ácido ascórbico en todas las muestras y más aún a temperaturas elevadas como se esperaba y comprobaron que su comportamiento se rige por un modelo cinético de primer orden. En el caso del jugo de naranja se registró una oxidación menor en comparación a las otras frutas a 28 °C, mientras que el jugo de limón tuvo la mayor destrucción de ácido ascórbico debido a que la descomposición de éste es promovida con el aumento del pH. Por otro lado, se evidenció que el HMF se formó en mayor cantidad en las muestras almacenadas a la temperatura de 45°C.

c) Berlinet *et al.* (2003) efectuaron pruebas sobre los efectos que podía sufrir el jugo de naranja reconstituido en tres diferentes tipos de envases de PET en comparación con envases de vidrio, debido a la influencia de las condiciones de almacenamiento (oxígeno, luz y espacio).

Los envases de PET utilizados fueron: monocapa estándar (PET 1), multicapa (PET 2) y tratado con plasma (PET 3). El jugo de naranja fue preparado a partir de concentrado de jugo de naranja con 60 °Brix, hasta ser diluido a 11,5 °Brix, para luego ser homogeneizado y pasteurizado antes de ser envasado asépticamente. Las

botellas fueron almacenadas en cuartos con temperatura controlada de 20 °C con iluminación artificial, sin luz y también sumergidas en agua bajo luz artificial.

Los resultados mostraron como en el envase PET 1, el oxígeno permeado fue más de 10 veces mayor que en los PET 2 y PET 3, que presentaron permeabilidad casi idéntica, teniendo un valor de 0,0318; 0,0029 y 0,0028 UA respectivamente (UA =  $\text{cm}^3/24\text{h}/\text{botella}$ ), mientras que el vidrio mostró ser el más efectivo como barrera para el oxígeno, evidenciándose en la cantidad de vitamina C en el jugo con respecto al tiempo en comparación con los envases plásticos. Esta diferencia de permeabilidad del oxígeno en PET 1 trajo como consecuencia que la vitamina C tuviera una mayor degradación porcentual a lo largo del tiempo (2 y 3 meses) y un mayor pardeamiento en comparación a los envases PET 2, PET 3 y vidrio.

En cuanto al medio de almacenamiento, el jugo en las botellas de PET 1 disminuyó su concentración de vitamina C a un 39% en 2 meses y 43% al cumplirse los 3 meses; en cambio, las botellas de PET 2 y PET 3 presentaron una disminución de aproximadamente 29% en 2 meses y variación despreciable al transcurrir el mes siguiente. En el caso de las botellas de vidrio, mostraron ser más eficiente con una reducción de 18 y 24 % luego de 2 y 3 meses respectivamente.

Las botellas sumergidas en agua después de 2 meses, tuvieron pérdidas de vitamina C de 35% (PET 1), 26% (PET 2) y 21% (PET 3), significando una disminución de entre 3 y 8% menor en comparación con las que botellas que estaban en medio ambiente aireado.

El análisis comparativo efectuado a las botellas almacenadas en luz artificial y en oscuridad reflejó que no hubo diferencia significativa en la cantidad de ácido ascórbico en 3 meses de estudio.

d) Zerdin *et al.* (2003) estudiaron el comportamiento del empaque considerando el uso de una película que permite la salida del oxígeno del producto conocida como “oxygen scavenging film” (OS) y también la de una capa que actúa como barrera para

el oxígeno. Estas películas fueron analizadas para determinar la pérdida de ácido ascórbico en el jugo de naranja empacado, debido al oxígeno en función del tiempo y la temperatura.

Para el desarrollo del experimento se trasvasó asépticamente jugo de naranja natural 100% a condiciones de vacío, en bolsas de los materiales descritos anteriormente y almacenadas durante 373 días a 4 y 25 °C, en ausencia de luz. Los diferentes análisis incluyeron conteo de oxígeno disuelto y microbiológico, así como también medición de color y cantidad de vitamina C.

Como resultado obtuvieron que la tasa de oxidación del ácido ascórbico en el jugo de naranja fue menor cuando se empacó en bolsas OS que las empacadas en bolsas de material laminado, tomadas como referencia. La oxidación de la vitamina C fue mayor cuando el jugo estuvo a 25 °C que al estar almacenado a una temperatura de 4 °C. Se evidenció que el oscurecimiento del jugo y la descomposición de la vitamina C dependen directamente de la concentración de oxígeno disuelto. Otra conclusión importante fue que el material OS ayuda significativamente a la conservación del jugo de naranja empacado, por su propiedad de remover el oxígeno disuelto, siendo potencialmente similar a las características del papel aluminio usado en los empaques tipo ladrillo o “brick-packs”.

### **I.3 - OBJETIVOS**

#### **I.3.1. – Objetivo general**

Evaluar a escala piloto el efecto de la desaireación sobre las características fisicoquímicas y sensoriales del jugo de naranja.

#### **I.3.2. – Objetivos específicos**

- a) Estandarizar la metodología para la determinación de oxígeno disuelto en jugo de naranja.

- b) Establecer las condiciones de operación del desaireador para la elaboración de jugo de naranja.
- c) Comparar las características fisicoquímicas y sensoriales del producto desaireado con el producto sin desairear.
- d) Determinar el efecto del proceso de envasado del jugo de naranja sobre el contenido de oxígeno disuelto en el producto final.

---

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los fundamentos teóricos necesarios para la realización de este Trabajo Especial de Grado, definiendo conceptos relacionados con la producción a escala piloto e industrial del jugo de naranja y el proceso de desaireación.

#### **II.1.- Planta a escala piloto**

Una planta piloto es una plataforma experimental en la cual se muestra representativamente la operación de una planta industrial. Esta representación operacional piloto puede ser idéntica a la industrial o escalable mediante modelos matemáticos (Euzen, 1993).

#### **II.2.- Naranja pasteurizada**

De acuerdo a la norma de la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) 1701-93, la naranja pasteurizada es el producto preparado a partir de jugo de naranja o su concentrado, no fermentado, extraído de naranjas maduras, sanas y limpias de la especie *Citrus sinensis* (L), adicionando agua potable, con o sin edulcorantes, sometido a tratamiento térmico adecuado que asegure su conservación en envases apropiados, bajo condiciones de refrigeración.

El jugo de naranja es el que más se elabora en el mundo y su valor nutritivo radica en su alto contenido de vitamina C. Para obtener un jugo de naranja de alta calidad es recomendable usar fruta fresca, no obstante en la mayoría de las industrias el jugo se elabora a partir de una base concentrada que es más fácil de conservar y manipular (Food and Agriculture Organization, 2006).

### **II.3.- Concentrado de jugo de naranja para uso industrial**

La norma COVENIN 2264-94 establece que el concentrado de jugo de naranja para uso industrial es el jugo de naranja al cual se le ha eliminado una gran parte del agua de su composición a fin de que el producto final contenga no menos de 54% ni más de 65,5% de sólidos solubles, sometido a congelación.

### **II.4.- Azúcar**

A la naranjada se le podrán añadir edulcorantes naturales, tales como: sacarosa, glucosa o fructosa en cantidad no mayor a 11,0 g/100g en el producto final (Norma COVENIN 1701-93). La cantidad de azúcar en bebidas de frutas se mide mediante un refractómetro y su concentración se expresa en unidades de grados Brix (°Brix o °Bx), definiéndose como la cantidad de sólidos solubles tales como azúcares, sales, ácidos, etc. presentes en la solución y se expresa como el porcentaje en peso de sacarosa con respecto al peso total de la solución (Gil, 2010).

### **II.5.- Agua de proceso**

El agua utilizada en la industria proviene generalmente de ríos, pozos subterráneos y lagos, por lo que requerirá un tratamiento previo para la adecuación de sus propiedades fisicoquímicas. El agua cruda es almacenada en un tanque de recepción, luego es pasada por un filtro de arena y luego por uno de carbón; esta es llevada a un tanque de agua filtrada. Para finalizar, el agua filtrada es sometida a un proceso de intercambio iónico mediante resinas con la finalidad de adecuar su dureza, obteniendo el agua de proceso (Cervecería Polar C.A., 2009).

### **II.6.- Ácidos**

Después del azúcar, los sólidos solubles de mayor abundancia en la naranjada son los provenientes del concentrado de jugo de naranja y luego en menor proporción los ácidos, siendo el cítrico el de mayor predominancia en concentración y el ácido ascórbico el más importante en el aspecto nutritivo (Tetra Pak<sup>®</sup>, 1998).



### **II.6.1.- Ácido cítrico**

El ácido cítrico es un ácido orgánico, muy común y frecuente en la naturaleza. Se puede encontrar como producto del metabolismo de la mayoría de los organismos, en el ciclo de Krebs, y formando parte de muchas frutas, especialmente de los cítricos, a las que confiere su característica de acidez (Cubero, 2002).

El ácido cítrico es el acidulante principal en la mayoría de las bebidas debido a que es altamente soluble en agua, higroscópico y aporta sensación de acidez brillante y refrescante, que se disipa rápidamente (Bartek Ingredients Inc, 2004).

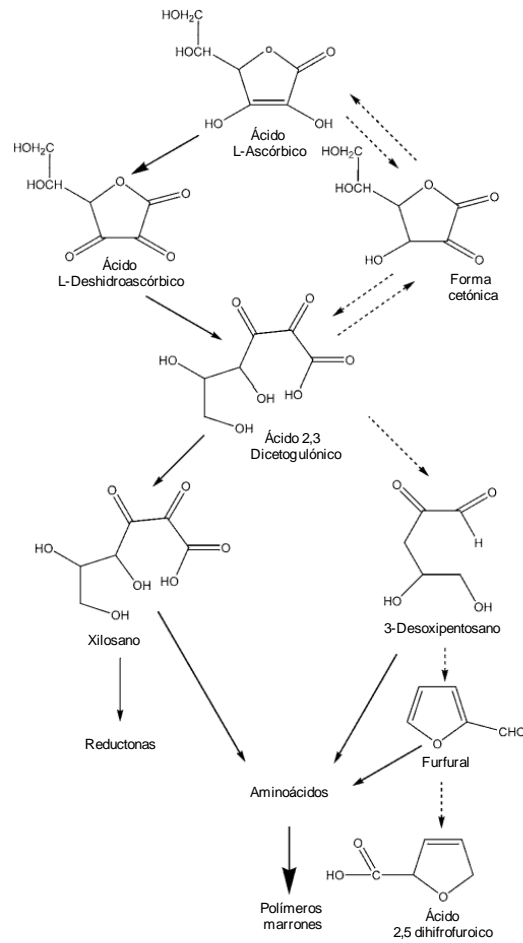
### **II.6.2.- Ácido ascórbico**

El ácido ascórbico o vitamina C, es una vitamina hidrosoluble muy extendida en el mundo orgánico, indispensable para el hombre, los primates y algunas otras especies animales, que no pueden producirla, y en los cuales su carencia provoca el escorbuto, de ahí su denominación de ácido ascórbico (Doros, 2008).

La vitamina C es el nutriente más importante de la naranjada y es una de las razones por la que es tan demandado por los consumidores. Es esencial para la síntesis de colágeno, la proteína elemental de la piel, huesos, arterias y dientes. (Tetra Pak<sup>®</sup>, 1998)

#### **II.6.2.1. – Degradación del ácido ascórbico**

La degradación del ácido ascórbico en el jugo de naranja se lleva a cabo de manera aerobia y anaerobia simultáneamente. La velocidad y predominancia de un tipo de degradación va a depender de la cantidad de oxígeno disuelto en la bebida y otros factores como la concentración de azúcar y sal, temperatura, pH, enzimas, concentración inicial de ácido ascórbico, etc (Hui, 2006a). En la Figura N°1 se puede observar las vías de degradación del ácido ascórbico.



**Figura N°1.** Vías de la degradación del ácido ascórbico.  
(Línea sólida: ruta aerobia; línea segmentada: ruta anaerobia)

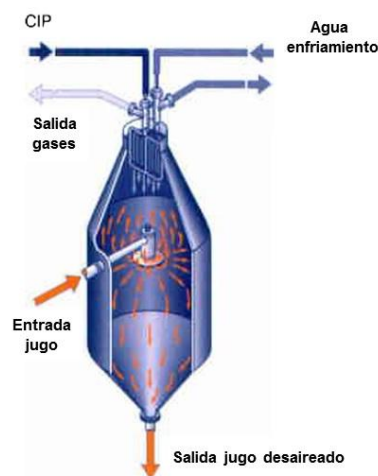
Tanto el ácido L-ascórbico como el ácido L-deshidroascórbico tienen actividad como vitamina C (Shakuntala, 2001); pero al degradarse hasta furfural, éstos pierden su propiedad nutritiva y es la causa del pardeamiento del jugo de naranja (Rouseff, 1992). La determinación de la concentración del furfural es el análisis más utilizado para saber el nivel de calidad sensorial del jugo de naranja, ya que su contenido en el jugo fresco es nulo en comparación a las cantidades que han sido encontradas en jugos con almacenamiento prolongado (Jordán, 1999).

Hay tres fuentes de incorporación de oxígeno a la bebida en su producción; mediante el oxígeno disuelto, oxígeno atrapado y cabezal de oxígeno. El oxígeno disuelto en realidad está presente como parte de la solución matriz en la bebida y participa en su

oxidación. El oxígeno atrapado se encuentra en las burbujas de aire suspendidas en el interior del jugo, que sirven como “reservorio” de oxígeno disuelto. En los alimentos sensibles a la oxidación, el oxígeno disuelto y atrapado puede ser reducido mediante el proceso de desaireación. Por último, el cabezal de oxígeno es el más fácil de controlar y es aquel que se encuentra entre la capa superior del jugo y la tapa del envase. Éste difunde a través de la bebida y el daño que puede causar se localizaría en mayor grado en la parte superior del recipiente (Philip, 2010).

### II.7.- Proceso de desaireación

Los jugos de frutas son desaireados debido a que el oxígeno disuelto disminuye los niveles de concentración de vitamina C, ocasionando deterioro en el sabor. Otro de los beneficios se encuentra en la disminución de formación de espuma en el proceso de llenado, evitándose pérdida de producto o llenado incorrecto. Los métodos de desaireación son conocidos por mejorar los atributos de calidad del jugo de naranja con respecto al pardeamiento, vitamina C, percepción sensorial y valores de color HunterLab<sup>®</sup>. Si además de poner en práctica este proceso, el llenado se realiza en caliente y el almacenamiento de la bebida se fija a temperaturas menores de 15°C, los jugos de frutas cítricas pueden llegar a tener una vida útil de casi 1 año (Hui, 2006b). En la Figura N°2 se muestra detalladamente el desaireador a ser estudiado.



**Figura N°2.** Desaireador para jugos a condiciones de vacío (Tetra Pak<sup>®</sup>, 1998)

El jugo al entrar al desaireador se encuentra con una presión de vacío, lo que facilita la volatilización del oxígeno y en consecuencia, también de los aromas característicos de la bebida. El producto desaireado se extrae por la parte inferior del equipo y los condensadores ubicados en la parte superior, evitan que gran parte de los aromas escapen y puedan condensar nuevamente al líquido.

### II.7.1.- Principio de la desaireación

El principio de la desaireación está basado en disminuir la presión parcial del gas para remover los gases disueltos, tomando en cuenta las leyes de Henry y Dalton. La ley de Henry establece que: “la masa de un gas disuelto en una masa definida de líquido a una temperatura, es directamente proporcional a la presión parcial del gas en contacto con el líquido” (Singh, 2006). Ésta ley es representada por la siguiente ecuación:

$$X_A = \frac{P_A}{\mathcal{H}(T)} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$X_A$  = concentración del gas A en la fase líquida

$P_A$  = presión parcial del gas A en la fase gaseosa

$\mathcal{H}$  = constante de Henry (es función de la temperatura y depende del líquido)

Por lo tanto, la solubilidad del oxígeno decrece con el aumento de la temperatura y el descenso de la presión como se puede evidenciar en la Figura N°3. También decrece cuando la concentración sólidos disueltos aumenta (Tetra Pak<sup>®</sup>, 1998).

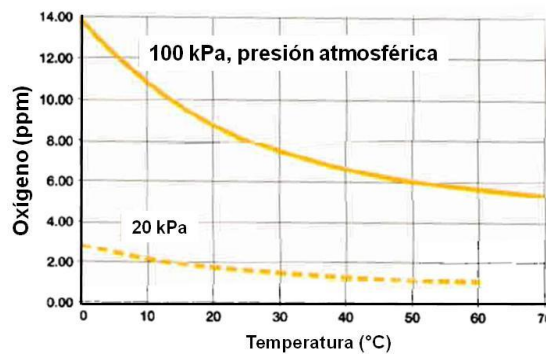
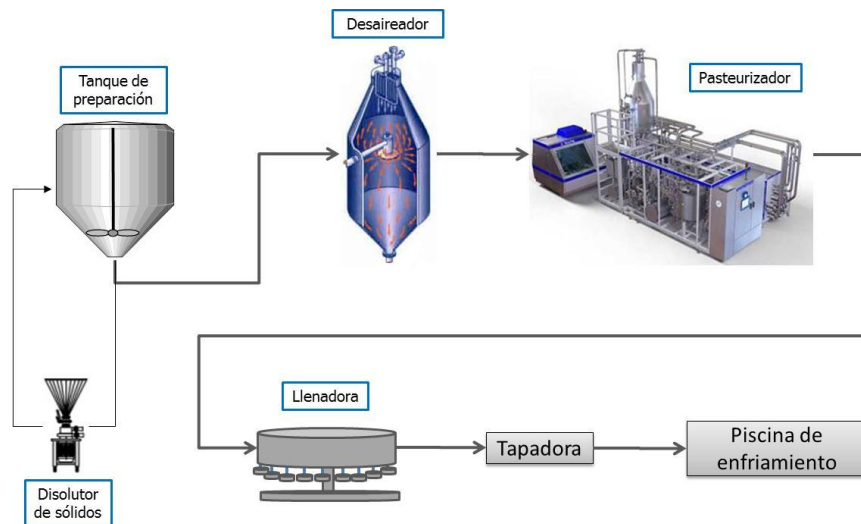


Figura N°3. Solubilidad del oxígeno en agua en función de la temperatura a dos presiones diferentes (Tetra Pak<sup>®</sup>)

Un desaireador generalmente consiste en un recipiente en el cual el producto es sometido a condiciones de presiones de vacío a flujo continuo. Se obtiene un mayor rendimiento si el jugo se precalienta antes de entrar a la cámara de desaireado y comúnmente en la producción de jugo de naranja, esta etapa se encuentra antes de la pasteurización. A altas temperaturas, los gases no condensables (oxígeno, nitrógeno, etc) son menos solubles en el líquido, pero como consecuencia se tendría una pérdida más acentuada de aromas característicos de la bebida (Philip, 2010).

Como se indicó anteriormente, la desaireación se lleva a cabo normalmente antes del tratamiento térmico o pasteurización, como se observa en el esquema de la Figura N°4.



**Figura N°4.** Esquema de equipos en una planta productora de naranjada en caliente.

De acuerdo a la Figura N°4, el proceso se realiza por cargas, donde los ingredientes de la naranjada se mezclan en un tanque de preparación; luego a la bebida cruda se le sustrae el oxígeno en el desaireador. Posteriormente se debe pasteurizar con el objetivo de eliminar o inactivar la mayoría de los microorganismos que existen en la bebida, calentándose a altas temperaturas por un tiempo determinado. Para finalizar, es envasado e inmediatamente tapado en caliente y las botellas son sumergidas en un

baño de agua fría para ocasionar el llamado “choque térmico”, generándose así vacío en la botella. Alternativamente el jugo puede ser envasado asépticamente; la diferencia radica en que el envasado y cerrado ocurre en un ambiente estéril a bajas temperaturas (<30°C), dejando de ser necesaria la piscina de enfriamiento (Stanga, 2010).

### **II.8.- Pasteurización**

La pasteurización es un proceso esencial para conseguir un período de larga vida en los jugos; en ella se consigue la eliminación de microorganismos (mohos o levaduras) y/o inactivación enzimática mediante el calentamiento del jugo a una temperatura dada durante un tiempo determinado (Jordán, 1999). Las temperaturas de pasteurización se encuentran entre 65°C por 30 minutos; 77°C por 1 minuto y 88-90°C por 30 segundos. Una vez transcurrido el tiempo, la operación se completa con el enfriamiento rápido del producto hasta una temperatura entre 25-40°C, a fin de producir un choque térmico que inhibe el crecimiento de los microorganismos que pudieran haber sobrevivido al calor. Durante este procesamiento son causados pequeños cambios en las características sensoriales y en el valor nutritivo (Fellows, 2000).

### **II.9.- Envasado en caliente**

El llenado en caliente es empleado para garantizar la integridad microbiana de los jugos y néctares de frutas. El producto es calentado a la temperatura requerida, luego envasado y seguidamente tapado. Dependiendo de la temperatura de llenado, que normalmente se encuentra entre 70 y 80 °C, el producto terminado debe ser enfriado hasta una temperatura menor de 25 °C antes de ser almacenado, lo que evitaría un sobre-cocimiento del jugo (Ashurst, 2005).

### **II.10.- Envasado aséptico en frío**

Comúnmente, el envasado aséptico en frío se lleva a cabo en un área estéril y totalmente aislada del resto de la línea de producción. Ésta área está provista de filtros

de aire que proporcionan aire con la calidad requerida, el cual es bombeado continuamente manteniendo un diferencial de presión constante entre el exterior y el interior. Las botellas entran al compartimiento mediante transportadores usando aire estéril y son tomadas sólo por el cuello; luego son tratadas por inyección de aire caliente y enjuagadas para eliminar microorganismos que puedan contener. Seguidamente son tratadas con agua y aire estéril para remover trazas de desinfectante. Después de ser desinfectadas, las botellas son llenadas de producto y cerradas con tapas esterilizadas previamente (Stanga, 2010).

### **II.11.- Diseño experimental estadístico**

El diseño experimental estadístico se refiere a la programación de un experimento de tal manera que los datos sean recolectados y analizados por métodos estadísticos, resultando en conclusiones válidas y objetivas. Una de las razones por las que se realiza un diseño experimental, radica en que se analizan los distintos parámetros involucrados en un proceso, para determinar si éstos pueden encontrarse en un rango determinado de trabajo, confiriéndole robustez al proceso. Para la ejecución del diseño experimental, se deben considerar los factores que puedan influir en el rendimiento del proceso, que al ser identificados, el analista debe establecer los niveles o valores de estos factores para ser estudiados. Al tener un número  $k$  de factores y  $N$  de niveles, se puede establecer como un diseño factorial  $N^k$ ; por ejemplo si se tienen 2 niveles y 4 factores se tiene un diseño  $2^4$ , significando que se requieren 16 corridas para su diseño experimental, sin réplicas (Montgomery, 2009). La añadidura de réplicas al diseño experimental otorgaría un grado mayor de confianza a los resultados del estudio.

Al obtener los datos del diseño experimental, deben evaluarse mediante un análisis de varianza, que busca medir la variación total de un conjunto de datos como una suma de términos, que se pueden atribuir a fuentes o causas específicas de variación (Freund, 1992).

### **II.11.1- Probabilidad**

Una definición común de probabilidad es la del cociente del número de casos favorables a un suceso “S” y el número de casos posibles, por lo que la probabilidad siempre es mayor o igual a cero. La suma de los distintos sucesos posibles que pueden ocurrir siempre es igual a la unidad (Martín, 2006).

### **II.11.2- Nivel de significancia**

El nivel de significancia ( $\alpha$ ) es el riesgo asociado a no tener una certeza de 100%. Por ejemplo, si en un estudio se produjeron hallazgos significativos en el nivel de 0,05, la traducción es que existe una posibilidad en 20 (que equivale a 0,05 o 5%) de que las diferencias observadas no se hayan debido a la razón postulada en la hipótesis sino a alguna o algunas otras razones desconocidas (Salkin, 1999).

### **II.12.- Evaluación sensorial**

La evaluación o análisis sensorial se define como el examen de las propiedades organolépticas de un producto realizable con los sentidos y su objetivo es medir todas aquellas propiedades de los alimentos que son captadas por los sentidos antes y durante su ingestión, es decir, definir lo que se conoce como “calidad sensorial”. Este análisis es una herramienta importante en el control de calidad industrial, pudiendo aplicarse tanto en el proceso de fabricación, como en la evaluación final del producto (Arias, s.f.).

#### **II.12.1.- Panel entrenado sensorialmente**

Un panel entrenado sensorialmente está compuesto de personas preparadas previamente en la identificación y reconocimiento de atributos sensoriales de los alimentos, de modo tal que son sensibles a sus propiedades organolépticas, por lo que pueden proveer mediciones sensoriales de forma precisa, consistente y estandarizada (ASTM, 1981).



**II.12.2.- Pruebas discriminativas**

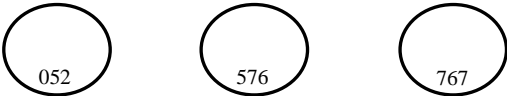
Las pruebas discriminativas son usadas cuando un investigador desea determinar si dos muestras son perceptiblemente diferentes. Son ampliamente usadas en la industria, en los procedimientos de control de calidad y en el estudio del impacto por cambios de formulación o el proceso. Existen varios tipos de pruebas discriminativas, como las de comparación apareada, igual-diferente, triangular, entre otras (Olivas, 2009).

**II.12.3.- Pruebas triangulares**

Es una prueba discriminativa que consiste en determinar si existe diferencia sensorialmente perceptible entre dos muestras, comparando tres muestras a la vez, de las cuales dos son iguales entre sí y la otra diferente. El juez simplemente escogerá la que sea diferente de las otras dos, presentándose una probabilidad menor (33,33%) de obtener una respuesta correcta al azar, en contraste a otras pruebas, en las cuales la probabilidad es del 50%, como en las pruebas de comparación por pares (Pedrero, 1997). Un ejemplo de la planilla que es presentada al panelista se muestra en la Figura N°5:

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

**Instrucciones:** A continuación se le presentan 3 muestras de **naranjada**. Cada muestra está codificada. Por favor, evalúe las muestras de izquierda a derecha y marque con una equis (X) las dos muestras que usted considera sensorialmente similares.



Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Figura N°5.** Ejemplo de una planilla presentada a un panelista en una prueba triangular.

---

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describe la metodología a utilizada, mediante la cual se cumplirán los objetivos del problema planteado. Este esquema está compuesto por estrategias, métodos y procedimientos experimentales, que tienen la función de recolectar toda la información necesaria con la finalidad de encontrar una solución al problema proyectado.

A continuación se presentan las actividades específicas que se llevarán a cabo para consumir cada uno de los objetivos pautados en este trabajo.

#### **III.1.- Estandarización de la metodología para la determinación de oxígeno disuelto en jugo de naranja**

Se realizó una investigación documental, donde se revisó el manual de operación del equipo Orion 3 Star DO Benchtop, mostrado en la Figura N°6, con la finalidad de conocer detalladamente cómo operar y calibrar correctamente el equipo, lo cual sirvió de base para la elaboración del procedimiento de medición de oxígeno disuelto en muestras de jugo de naranja, siguiendo los parámetros dictados por la norma ISO 9000.



**Figura N°6.** Medidor de oxígeno disuelto Orion 3 DO Benchtop  
(Elaboración Propia)

Posteriormente, se ejecutó un diseño experimental estadístico para la estandarización de la metodología de la medición de oxígeno disuelto, tomando en cuenta las variables que puedan afectar dicha medición, como el volumen de muestra, temperatura y velocidad de agitación. Se utilizó el programa MiniTab® para determinar el orden y la aleatoriedad de las pruebas, además de los resultados probabilísticos. Para estas pruebas se usaron muestras de jugo de naranja comercial en presentación de 1000 ml, evaluando volúmenes de muestra de 210 y 250 ml, temperaturas de 15 y 20 °C y velocidades de agitación de 320 y 500 RPM. Según los resultados obtenidos se elaboró el procedimiento estandarizado para la medición de oxígeno disuelto.

### III.2.- Determinación de las condiciones de operación del desaireador para la elaboración de jugo de naranja.

Primeramente se revisó el manual de operación del desaireador, con el objeto de obtener información acerca de cómo manipular las variables involucradas en su funcionamiento, siendo éstas la presión de operación, temperatura y caudal. Las condiciones de diseño del desaireador de acuerdo al fabricante son presentadas en la Tabla N° 1:

**Tabla N° 1.** Condiciones de diseño del desaireador.

Propiedad	Valor
Temperatura de diseño (°C)	0 – 148
Presión de diseño (bar)	-1 / 3,5
Presión máxima de operación (bar)	5,67
Volumen (l)	16,0

Una vez conocidos los pasos para modificar dichas condiciones de operación en el equipo, se efectuaron corridas con agua de proceso en la planta piloto a manera de ensayo para probar la manipulación de las variables implicadas.

Seguidamente se realizaron una serie de corridas en la planta piloto, modificando los parámetros de operación de las variables mencionadas en el desaireador, dejando fijo el caudal, preparando aproximadamente 300 litros de jugo de naranja por cada condición. Se observó el comportamiento de la cantidad de oxígeno disuelto en función de la presión y temperatura, mediante la toma de muestras de bebida antes y después de ingresar al desaireador. Las condiciones recomendadas para una desaireación eficiente se observan en la Tabla N°2.

**Tabla N° 2.** Condiciones recomendadas para una desaireación eficiente (Tetra Pak<sup>®</sup>, 1998).

Propiedad	Valor
Temperatura de entrada (°C)	50 – 60
Presión de operación (bar)	-1,0 / 3,5
Oxígeno disuelto entrada (ppm)	8 – 10
Oxígeno disuelto salida (ppm)	0,5

Teniendo como base esta información, se estudiaron las combinaciones de condiciones de operación de tres temperaturas (50, 55 y 60 °C) con dos presiones de vacío (-1.0 y -0.8 bar). Los valores de presión de vacío fueron escogidos en base a la capacidad de la bomba de vacío instalada en la planta piloto y las temperaturas tuvieron un valor de tolerancia de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . De acuerdo a los valores de concentración de OD a la entrada y la salida del equipo presentados en la Tabla N°2, se deberían tener porcentajes de remoción de OD en un rango del 93,75 - 95,00 %, operando a las condiciones recomendadas.

Los resultados obtenidos sirvieron como base para la definición de las condiciones de operación del desaireador.

### III.3.- Comparación de las características fisicoquímicas y sensoriales del producto desaireado con el producto sin desairear.

Para realizar la comparación, se midieron las propiedades fisicoquímicas más importantes referentes a la calidad de las bebidas de frutas cítricas, tales como pH, acidez cítrica, densidad, sólidos solubles y oxígeno disuelto, así como también una evaluación de las características sensoriales, tanto en el jugo de naranja desaireado producido bajo las diferentes condiciones establecidas anteriormente, así como también en el jugo patrón sin desairear. Dichos parámetros fueron medidos a través de los siguientes equipos:

#### a) Medición de pH

Esta medición se hace mediante el pHmetro inoLab WTW series mostrado en la Figura N°7.



**Figura N°7.** pHmetro utilizado para la medición del pH de las muestras  
(Elaboración propia)

De acuerdo a la norma venezolana COVENIN 1701-93, el jugo de naranja pasteurizado debe poseer un valor de pH entre 3 y 3,5.

#### b) Medición de la acidez cítrica

En el jugo de naranja los ácidos son la forma más abundante de sólidos solubles después de los azúcares. La acidez es principalmente dada por la presencia de ácido cítrico, la cual se mide por titulación con hidróxido de sodio estandarizado a una concentración de 0,1 N (Ver Figura N°8) y es expresada en gramos de ácido cítrico por cada 100 ml de jugo. Por

requerimientos de la norma COVENIN 1701-93, el jugo de naranja debe presentar una acidez cítrica máxima de 0,7 g/100 ml.



**Figura N°8.** Tituladora automática Metrohm utilizada para medir la acidez cítrica de las muestras  
(Elaboración propia)

c) Medición de la densidad

El equipo utilizado para medir la densidad en las bebidas de frutas es un densitómetro, el cual se muestra en la Figura N°9. Está diseñado bajo el principio de un tubo en U que es excitado para su oscilación, donde la frecuencia de oscilación está directamente relacionada con la densidad de la muestra. Mientras más densa sea la muestra, menor la frecuencia de oscilación (Anton Paar, s.f.).



**Figura N°9.** Densitómetro Anton Paar DMA 4500 utilizado para la medición de la densidad de las muestras  
(Elaboración propia)

La magnitud de la densidad relativa a 20 °C del jugo de naranja pasteurizado según la norma COVENIN 1701-93 no debe ser inferior a 1,05 g/ml.

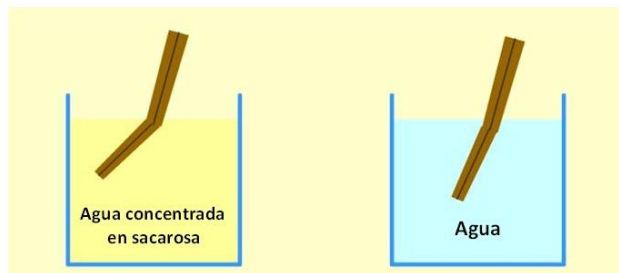
d) Medición de sólidos solubles (°Bx)

La concentración de sólidos solubles en una solución se mide en grados Brix (°Bx) y se expresa como el porcentaje en peso de sacarosa y está definido a una temperatura de 20°C (Suárez, 2003), esta concentración no debe ser menor a 12 °Bx y no debe superar los 15 °Bx en el jugo de naranja pasteurizado por cumplimiento de la norma COVENIN 1701-93. Para medir los sólidos solubles se utiliza un refractómetro (Ver Figura N°10)



**Figura N°10.** Refractómetro Atago utilizado para medir °Bx de las muestras (Elaboración propia)

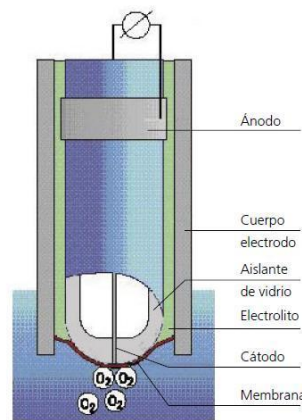
Un refractómetro es un instrumento que está fundamentado en el principio de que la refracción de la luz a través de una sustancia, en este caso en particular la refracción es mayor cuando la concentración de azúcar aumenta, como se puede observar en la Figura N°11. (Atago, s.f.)



**Figura N°11.** Refracción de la luz en agua y en una solución concentrada en sacarosa (Atago, s.f)

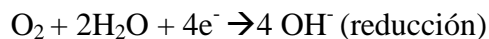
e) Medición de oxígeno disuelto

Estas mediciones se hicieron en el medidor de oxígeno disuelto mostrado en la Figura N° 1. El sensor es de tipo polarográfico, ya que se le debe aplicar voltaje para su polarización y la toma de medidas. Según el catálogo de “Aguas-Industria” de Crison (2005), el sistema consiste en una célula de dos electrodos, una membrana permeable al oxígeno y un electrolito. Los electrodos son un ánodo de plata y un cátodo de un metal noble, generalmente platino. Un electrolito, conteniendo KCl, debe unir el ánodo y el cátodo (Ver Fig. 12).



**Figura N° 12.** Esquema de un electrodo polarográfico (Crison, 2005)

En la Figura N° 12, se presenta el esquema de un electrodo medidor de oxígeno disuelto, donde se describen sus principales componentes. Cuando el oxígeno difunde a través de la membrana permeable al interior del electrodo, ocurren las siguientes reacciones de óxido-reducción:



Al existir estas reacciones, se genera una corriente que es la base de la medida en unidades de partes por millón (ppm) o porcentaje de saturación (% sat).



---

Una vez recolectados todos los datos fisicoquímicos característicos de ambos jugos en estudio (desaireado y sin desairear), fueron comparados para determinar si existieron cambios importantes en sus propiedades.

f) Evaluación de diferencias sensoriales

Otra de las pruebas importantes que se emplearon para comprobar si se evidenciaron cambios organolépticos perceptibles o no entre el producto desaireado y sin desairear, fue la prueba de evaluación sensorial discriminativa mediante la aplicación de pruebas triangulares. Estas pruebas fueron realizadas mediante degustaciones con un panel entrenado en identificar diferencias en descriptores del jugo de naranja como color, aroma, sabor, viscosidad, dulzor, acidez y amargor. Los datos recolectados fueron analizados estadísticamente a través de la tabla de Roessler para una cola ( $p=1/3$ ), la cual se puede detallar en el Anexo A. Específicamente para las muestras de naranjada se tienen las siguientes premisas:

**Hipótesis:**

$H_0$ : No existen diferencias entre las muestras de jugo de naranja.

$H_1$ : Si existen diferencias entre las muestras de jugo de naranja.

**Muestras:**

Muestra 1: jugo de naranja sin desairear.

Muestra 2: jugo de naranja desaireado (varía según la condición de proceso evaluada).

Las muestras fueron codificadas y servidas de manera aleatoria. Se realizaron entre 10 y 12 juicios para cada una de las condiciones de desaireación. El análisis de datos consiste en sumar el número de juicios correctos y utilizando la tabla de Roessler se determina si existe diferencia significativa entre las muestras (Stone, 2004).

---

#### **III.4.- Determinación del efecto del proceso de envasado del jugo de naranja sobre el contenido de oxígeno disuelto en el producto final.**

Para evaluar este efecto, se hicieron corridas en la planta piloto con jugo de naranja, teniendo una temperatura de envasado de  $\approx 20^{\circ}\text{C}$ , tanto para el producto desaireado bajo la mejor condición de operación obtenida en el desaireador, como para el producto sin desairear, con el objetivo de comparar la concentración final de oxígeno disuelto con los resultados encontrados al envasarse en caliente a  $\approx 80^{\circ}\text{C}$ . Adicionalmente, a la naranjada se le hizo un estudio sensorial con el panel entrenado para conocer si existe diferencia organoléptica bajo las dos condiciones de procesamiento.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

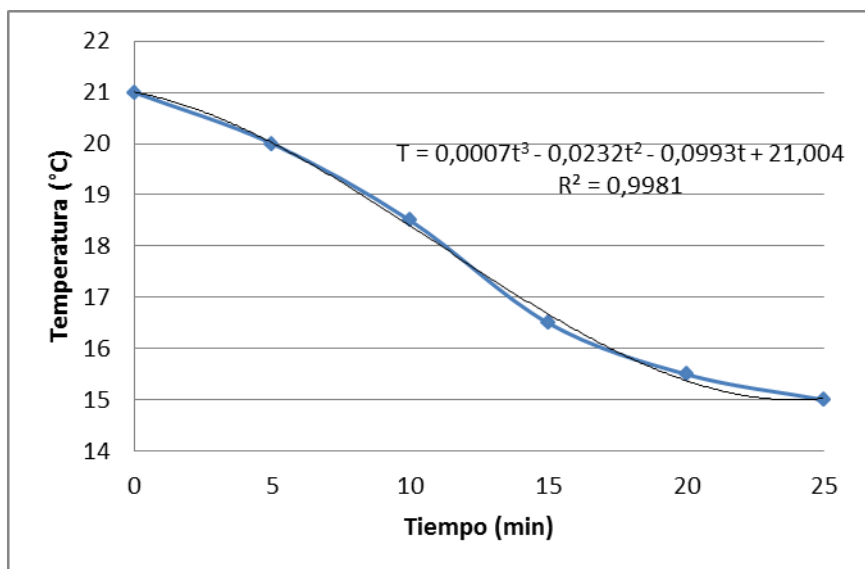
En este capítulo se presentan en detalle los resultados obtenidos de las pruebas efectuadas a partir de los objetivos específicos planteados.

#### **IV.1.- Determinación de la metodología de análisis más apta para la medición de oxígeno disuelto en el jugo de naranja utilizando el equipo Orion 3 Star DO Benchtop.**

Las condiciones generales del diseño experimental para la realización de este objetivo fueron las siguientes:

**Temperatura de medición:** 15 y 20°C

La concentración de oxígeno disuelto en líquidos depende directamente de la temperatura, de acuerdo a la ley de Henry (Ec. 2). Se estableció como temperaturas de análisis 15 y 20 °C. Para estas pruebas se utilizaron muestras de jugo comercial en empaques de 1000 ml, todas provenientes del mismo lote y fecha de producción. Estas fueron puestas en refrigeración a -20°C para ser llevados a las temperaturas requeridas, habiéndose determinado los tiempos de residencia necesarios en refrigeración para cada condición, de acuerdo a la gráfica resultante del estudio, como se observa en la Figura N°13.



**Figura N°13.** Disminución de la temperatura del jugo de naranja envasado en empaques de 1000 ml, refrigerado a -20 °C.

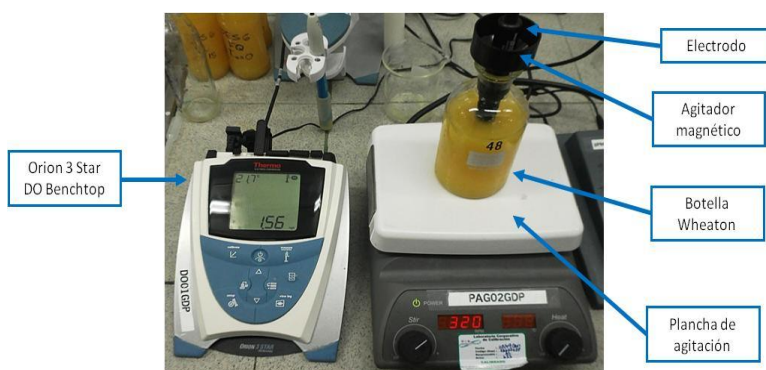
La gráfica muestra que a partir de 21 °C, el jugo de naranja envasado en empaques de 1000 ml de contenido, tarda aproximadamente 5 minutos en alcanzar los 20 °C y unos 25 minutos para llegar a 15 °C. Este enfriamiento se puede representar matemáticamente como una ecuación de tercer orden (Ver Figura N°13) con  $R^2=0,9981$ .

#### **Volumen de muestra:** 210 y 250 ml

El volumen mínimo para el estudio de 210 ml es determinado a partir de que la solución debe estar en contacto con el sensor de temperatura del electrodo. El volumen máximo de 250 ml está dado por la capacidad de la botella Wheaton (Ver Figura N°14). Para la medición de estos volúmenes de muestra se utilizó un cilindro graduado de 250 ml. La botella Wheaton es comúnmente utilizada en análisis de líquidos para determinar el contenido de oxígeno disuelto, como por ejemplo en el tratamiento de aguas residuales, estudios biológicos en aguas de ríos, lagos, etc.

**Velocidad de agitación: 320 y 500 RPM**

La velocidad de agitación puede influir en el tiempo de residencia del oxígeno contenido en la muestra, pudiendo afectar el valor real de la medición. La velocidad de agitación es regulada a través de una perilla en la plancha de agitación. En la Figura N° 14 se muestra el montaje de los equipos para la medición del oxígeno disuelto, el cual consta de una plancha de agitación, botella Wheaton, agitador magnético y el equipo Orion 3 Star DO Benchtop.



**Figura N°14.** Montaje de los equipos para la medición del oxígeno disuelto.

**Diseño experimental**

Para el estudio se seleccionó un diseño experimental de 3 factores y dos niveles ( $2^3$ ) en el cual se estudiaron los 3 factores identificados en la revisión bibliográfica: temperatura, volumen de muestra y velocidad de agitación. En la Tabla N°3 se observa en detalle los niveles seleccionados para cada factor.

**Tabla N° 3.** Niveles correspondientes para cada factor del diseño experimental

Factor	Nivel -1	Nivel 1
Temperatura (°C)	15	20
Volumen (ml)	210	250
Velocidad de agitación (RPM)	320	500

A través del software Minitab<sup>®</sup> 14.0 se obtuvo una tabla aleatoria con tres replicaciones para el diseño experimental escogido, el cual se muestra en la Tabla N°4, junto con los resultados obtenidos de las mediciones de oxígeno disuelto en cada una de las corridas.

**Tabla N°4.** Resultados experimentales del diseño experimental con jugo de naranja en empaques de 1000 ml.

N° de Corrida	Volumen (ml)	Velocidad agitación (RPM)	Temperatura (°C)	Concentración de oxígeno disuelto (ppm)
1	250	500	20	1,14
2	250	320	15	1,31
3	210	500	15	1,15
4	250	500	15	1,17
5	250	500	20	1,22
6	250	500	15	1,13
7	250	500	20	1,07
8	250	320	20	1,28
9	250	320	20	1,32
10	210	320	15	1,27
11	210	320	20	1,25
12	250	320	15	1,17
13	210	500	15	1,29
14	210	500	20	1,19
15	250	500	15	1,08
16	210	500	20	1,12
17	250	320	20	1,15
18	210	320	20	1,30
19	210	320	15	1,17
20	210	500	15	1,21
21	210	500	20	1,23
22	210	320	15	1,13
23	250	320	15	1,11
24	210	320	20	1,12

La variación de la concentración de oxígeno disuelto se encontró en un rango de entre 1,07 ppm hasta 1,32 ppm, teniéndose un promedio general de 1,19 ppm.

Se realizó el análisis de varianza, tomando los factores estudiados (volumen, velocidad de agitación y temperatura), obteniendo los resultados mostrados en la Tabla N°5:

**Tabla N°5.** Probabilidad para cada factor estudiado y sus interacciones en el diseño experimental con jugo de naranja en empaques de 1000 ml.

	<b>Término</b>	<b>Probabilidad</b>
	Volumen	0,471
	Velocidad de agitación	0,146
	Temperatura	0,605
Interacciones de los factores	Volumen* Velocidad de agitación	0,224
	Volumen*Temperatura	0,570
	Velocidad de agitación *Temperatura	0,411
	Volumen* Velocidad de agitación *Temperatura	0,795

Existe suficiente evidencia estadística para suponer, que con un nivel de confianza de 95% o  $\alpha=0,05$ , no existen diferencias significativas entre los valores obtenidos de concentración de oxígeno, usando cualquiera de las combinaciones de las variables estudiadas a los niveles empleados. En la Tabla N°5 se observa que la menor probabilidad entre todos los términos llega a alcanzar un valor de 0,146 (Velocidad de agitación) y para que exista diferencia significativa, la probabilidad debe ser inferior a “ $\alpha$ ”. En el anexo B y C se presentan todos los datos resultantes del análisis de varianza para este estudio, generados por el software MiniTab® 14.

De acuerdo a los resultados del diseño experimental, los criterios para la toma de decisión de los valores para los niveles de los factores analizados fueron los siguientes: se estableció que la temperatura de medición debe ser de 20°C ya que es una temperatura estándar en varios análisis de laboratorio, como por ejemplo en la medición de densidad y °Brix. El volumen de 210 ml fue el escogido para consumir la menor cantidad de muestra posible y

la velocidad de agitación de 320 RPM por consideración propia, suponiendo que es más adecuada que 500 RPM. Los resultados se muestran en la Tabla N°6:

**Tabla N°6.** Valores establecidos para la determinación de la concentración de oxígeno disuelto con el equipo Orion 3Star DO benchtop.

<b>Factor</b>	<b>Valor</b>
Temperatura (°C)	20
Volumen (ml)	210
Velocidad de agitación (RPM)	320

#### **IV.2.- Determinación de las condiciones de operación del desaireador**

Antes de comenzar las pruebas en la planta piloto con el desaireador operativo, fue necesario contar con la ayuda técnica de personal especializado en el funcionamiento del desaireador, ya que éste nunca se había puesto en marcha. Una vez conocidos los detalles para su correcta operatividad, se tuvo conocimiento de cómo modificar la temperatura de entrada del fluido al equipo, también del establecimiento de la presión de vacío y del nivel de líquido óptimo, el cual se verifica por medio de un visor ubicado en la parte superior del desaireador. Como pruebas preliminares para el establecimiento de las condiciones de operación del equipo, se hicieron corridas con agua de proceso para observar el comportamiento del equipo, las cuales se describen a continuación:

##### **IV.2.1.- Pruebas realizadas con agua de proceso sin uso del desaireador**

Para estas pruebas con agua de proceso se mantuvo el mismo recorrido que realiza el producto normalmente en la línea industrial, sin utilizar el desaireador y sin usar el tratamiento térmico. En la Tabla N°7 se presentan los datos obtenidos de la corrida efectuada con agua de proceso, sin elevar su temperatura y envasado en frío.



**Tabla N°7.** Valores de la concentración de oxígeno disuelto en el agua de proceso a la entrada y salida del sistema, sin el uso del desaireador, sin pasteurización y envasado en frío a 20°C.

<b>t (min)</b>	<b>Concentración O<sub>2</sub> entrada (ppm) a 28°C</b>	<b>Concentración O<sub>2</sub> salida (ppm) a 20°C</b>
0	6,87	7,79
10	6,79	7,54
20	6,68	7,34
30	6,86	7,41
40	6,86	7,35
50	6,69	7,20
60	6,70	7,17
<b>Promedio</b>	<b>6,78</b>	<b>7,40</b>

El agua de proceso mantuvo una temperatura constante a la entrada de  $\approx 28^{\circ}\text{C}$  y de salida de  $\approx 20^{\circ}\text{C}$ , pero en lo que respecta a la concentración de oxígeno disuelto, existió un aumento en promedio de 0,62 ppm o en términos porcentuales, un 8,38%.

La agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (USEPA por sus siglas en inglés) estudió la saturación máxima de oxígeno disuelto que puede contener el agua dependiendo de la temperatura a presión atmosférica, como se presenta en el Anexo D. El agua a 20 y 28°C puede soportar un máximo de 9,10 y 7,73 ppm de oxígeno respectivamente, lo que explicaría la ganancia de oxígeno en las pruebas en el agua envasada en frío, sin uso del desaireador, sin pasteurización (9,20%) y con pasteurización (8,44%).

Posteriormente se procedió a calentar el agua de proceso hasta  $\approx 90^{\circ}\text{C}$  utilizando el pasteurizador, sin desairear y se estableció una temperatura de envasado de  $\approx 80^{\circ}\text{C}$  (llenado en caliente). Los resultados registrados se muestran en la Tabla N°8.

**Tabla N°8.** Valores de la concentración de oxígeno disuelto en el agua de proceso a la entrada y salida del sistema, sin el uso del desaireador, con pasteurización a 90 °C y envasado en caliente a 80°C.

<b>t (min)</b>	<b>Concentración O<sub>2</sub> entrada (ppm) a 28°C</b>	<b>Concentración O<sub>2</sub> salida (ppm) a 80°C</b>
0	6,66	4,16
10	6,61	4,18
20	6,70	3,96
30	6,67	3,99
40	6,67	3,80
50	6,59	3,81
60	6,56	3,82
<b>Promedio</b>	<b>6,64</b>	<b>3,96</b>

Se encontró que a estas condiciones, el oxígeno disuelto disminuyó en promedio unos 2,68 ppm o un 40,36%. Estos resultados pueden evidenciar que un aumento de la temperatura en el llenado, genera una reducción de la solubilidad del oxígeno en el líquido, tal como enuncia la ley de Henry.

En la tabla N°9 se encuentran los resultados de concentración de OD en el agua de proceso a la entrada y salida, aplicando calentamiento hasta 90°C (pasteurización) y luego envasado en frío a  $\approx 20^\circ\text{C}$ .

**Tabla N°9.** Valores de la concentración de oxígeno disuelto en el agua de proceso a la entrada y salida del sistema, sin el uso del desaireador, con pasteurización a 90 °C y envasado en frío a 20°C.

<b>t (min)</b>	<b>Concentración O<sub>2</sub> entrada (ppm) a 28°C</b>	<b>Concentración O<sub>2</sub> salida (ppm) a 20°C</b>
0	6,72	7,14
10	6,72	7,15
20	6,64	7,11
30	6,67	7,14
40	6,53	7,32
50	6,56	7,20
60	6,61	7,31
<b>Promedio</b>	<b>6,64</b>	<b>7,20</b>

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta prueba, se registró un incremento en promedio de 0,56 ppm o un 7,78% en la concentración de OD, siendo similar a los valores encontrados en la prueba efectuada sin pasteurización y llenado en frío (Tabla N°7), lo que puede indicar que el calentamiento intermedio en el proceso a  $\approx 90^{\circ}\text{C}$  no influye en el valor final de la concentración de OD.

#### IV.2.2.- Pruebas realizadas con agua de proceso utilizando el desaireador

Las siguientes pruebas fueron ejecutadas incorporando el desaireador al proceso, con el objetivo de constatar que su funcionamiento tuviese impacto en la concentración final de oxígeno disuelto en el agua, según lo establece la teoría.

La primera prueba tuvo como condición que en el desaireador se estableciera una temperatura de  $\approx 50^{\circ}\text{C}$  y una presión de vacío de -0,8 bar (límite inferior de presión de operación de la bomba de vacío) pasteurización a  $\approx 90^{\circ}\text{C}$  y un envasado en caliente a  $\approx 80^{\circ}\text{C}$ . Los resultados se observan en la Tabla N°10:

**Tabla N°10.** Valores de la concentración de oxígeno disuelto en el agua de proceso a la entrada y salida del sistema, con el uso del desaireador a  $50^{\circ}\text{C}$  y -0.8 bar, pasteurización a  $90^{\circ}\text{C}$  y envasado en caliente a  $80^{\circ}\text{C}$ .

<b>t (min)</b>	<b>Concentración O<sub>2</sub> entrada (ppm) a 28°C</b>	<b>Concentración O<sub>2</sub> salida (ppm) a 80°C</b>
0	6,62	3,42
10	6,66	3,40
20	6,60	3,44
30	6,53	3,27
40	6,61	3,00
50	6,59	3,27
60	6,69	3,16
<b>Promedio</b>	<b>6,62</b>	<b>3,28</b>

A estas condiciones de presión y temperatura en el desaireador y con una temperatura de envasado de  $\approx 80^{\circ}\text{C}$ , el oxígeno disuelto decreció en promedio unos 3,34 ppm (50,45%), superando los valores de remoción que se obtuvieron sin el uso del desaireador (40,36%).

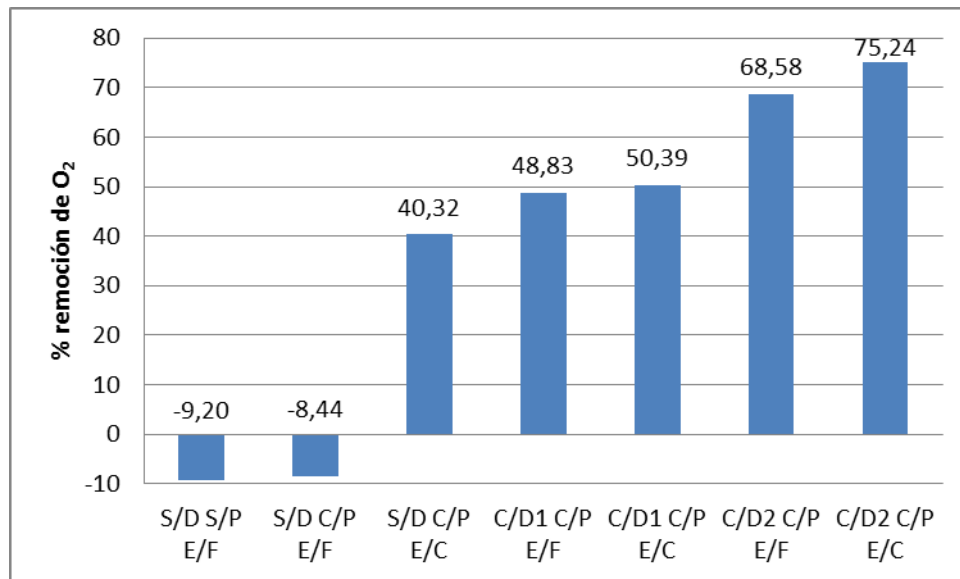
Los resultados observados en la Tabla N°11 corresponden a la condición de  $\approx 60^{\circ}\text{C}$  y -1,0 bar fijada en el desaireador (límite superior de presión de operación de la bomba de vacío), con pasteurización a  $\approx 90^{\circ}\text{C}$  y una temperatura de envasado de  $\approx 80^{\circ}\text{C}$ .

**Tabla N°11.** Valores de la concentración de oxígeno disuelto en el agua de proceso a la entrada y salida del sistema, con el uso del desaireador a  $60^{\circ}\text{C}$  y -1.0 bar, pasteurización a  $90^{\circ}\text{C}$  y envasado a  $80^{\circ}\text{C}$ .

<b>t (min)</b>	<b>Concentración O<sub>2</sub> entrada (ppm) a 28°C</b>	<b>Concentración O<sub>2</sub> salida (ppm) a 80°C</b>
0	6,43	1,64
10	6,52	1,56
20	6,49	1,67
30	6,38	1,60
40	6,40	1,51
50	6,38	1,61
60	6,41	1,57
<b>Promedio</b>	<b>6,43</b>	<b>1,59</b>

Porcentualmente se tuvo un 75,27% de reducción de la concentración del oxígeno disuelto en el agua de proceso, con el desaireador operando al límite de las condiciones recomendadas por el fabricante, sin embargo no se lograron alcanzar niveles menores a 1 ppm de concentración.

En la Figura N°15 se muestran los diferentes porcentajes de remoción de oxígeno disuelto en las distintas pruebas a escala piloto realizadas con el agua de proceso, en frío y con calentamiento para el recorrido sin el uso del desaireador y usando el desaireador a distintas condiciones.



**Figura N°15.** Diferencia porcentual del oxígeno disuelto a la entrada y salida del sistema en el agua de proceso, a distintas condiciones. S/D: sin desaireador; S/P: sin pasteurización; C/P: con pasteurización; E/F: envasado en frío; E/C: envasado en caliente; C/D1: con desaireador (-0.8bar; 50°C); C/D2: con desaireador (-1,0 bar; 60°C).

De los resultados mostrados en la Figura N°15, se puede observar que tanto el proceso de llenado en caliente como el proceso de desaireación contribuyen a eliminar el oxígeno disuelto en el agua de proceso, siendo esta remoción en mayor grado cuando se opera el desaireador a  $\approx 60^{\circ}\text{C}$ , -1,0 bar y envasado a  $\approx 80^{\circ}\text{C}$ , lo cual coincide con la ley de Henry que enuncia que la solubilidad de los gases en los líquidos es dependiente de la temperatura y la presión.

### IV.2.3.- Pruebas realizadas con jugo de naranja con uso del desaireador y envasado en caliente

Se efectuaron pruebas con jugo de naranja para evaluar la concentración de oxígeno disuelto en el mismo, tanto al ser procesado bajo la condición normal de operación (sin desairear) como al ser procesado con el uso del desaireador bajo diferentes condiciones de operación, con el objeto de determinar la condición de operación en la cual se obtuviese la mayor remoción de oxígeno con la menor pérdida de aromas característicos de la bebida.

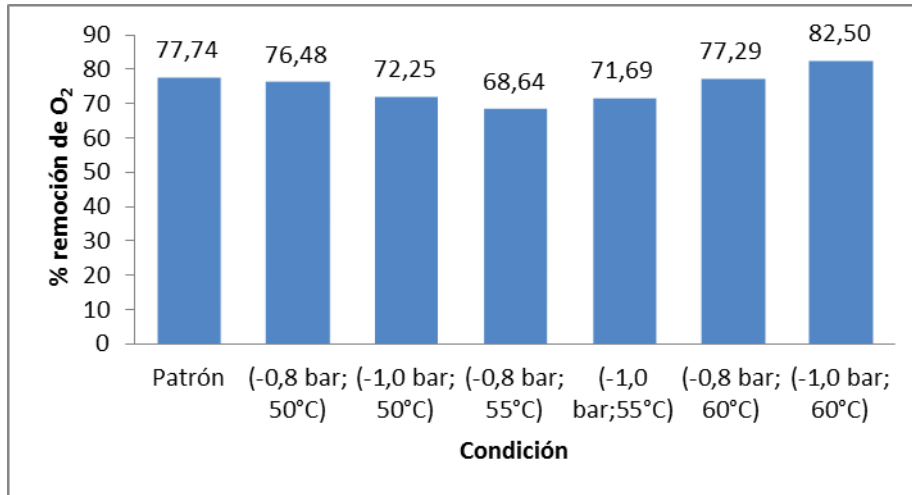
En la Tabla N°12 se observan los resultados detallados de cada una de las pruebas. En el Anexo E se encuentran los datos operacionales de cada corrida.

**Tabla N°12.** Valores de la concentración de oxígeno disuelto en el jugo de naranja en bebida cruda, bebida terminada pasteurizada y con el uso del desaireador a distintas condiciones de operación y sin el uso del desaireador (Patrón). BT: bebida terminada.

	ppm O <sub>2</sub> disuelto						
	Patrón	(-0,8 bar; 50°C)	(-1,0 bar; 50°C)	(-0,8 bar; 55°C)	(-1,0bar; 55°C)	(-0,8 bar; 60°C)	(-1,0 bar; 60°C)
Bebida cruda	6,64	7,02	6,98	6,92	6,29	6,60	6,80
BT (t = 0 min)	1,58	1,87	1,55	2,70	2,33	1,68	1,22
BT (t = 5 min)	1,35	1,87	1,81	2,04	1,43	1,51	1,18
BT (t = 10 min)	1,54	1,46	1,77	2,33	1,81	1,47	1,13
BT (t = 15 min)	1,51	1,55	2,63	1,65	1,56	1,55	1,28
BT (t = 20 min)	1,41	1,51	-	2,14	-	1,29	1,14
<b>Promedio BT</b>	<b>1,48</b>	<b>1,65</b>	<b>1,94</b>	<b>2,17</b>	<b>1,78</b>	<b>1,50</b>	<b>1,19</b>

Para la realización de estas 7 pruebas se prepararon 4 tanques de producto. Para la bebida “patrón” (sin desairear) se preparó un tanque de 300 litros de naranjada, mientras que para el estudio con el desaireador en funcionamiento se elaboraron 3 tanques de 600 litros de jugo; 300 litros por condición. La bebida cruda mantuvo una temperatura de entrada de 28°C y la bebida terminada fue envasada en caliente en todos los casos a una temperatura de aproximadamente 80°C. En la tabla N°12 se puede observar que para cada una de las condiciones evaluadas se obtuvo valores de concentración de oxígeno disuelto cercanos a 1,8 ppm, siendo éste el valor promedio para el jugo de naranja comercial desaireado (Trammell, 1986). La menor concentración de oxígeno en la bebida final se alcanzó para la condición de menor presión y mayor temperatura (-1,0 bar; 60°C) según lo esperado, alcanzando un porcentaje de remoción de oxígeno de 82,5% como se muestra en la Figura N°16. Mediante un análisis estadístico de varianza con un 95% de confianza entre las seis corridas donde se utilizó el desaireador (Ver Anexo F), se determinó que de los dos factores evaluados es la temperatura quien afecta significativamente el porcentaje de remoción de

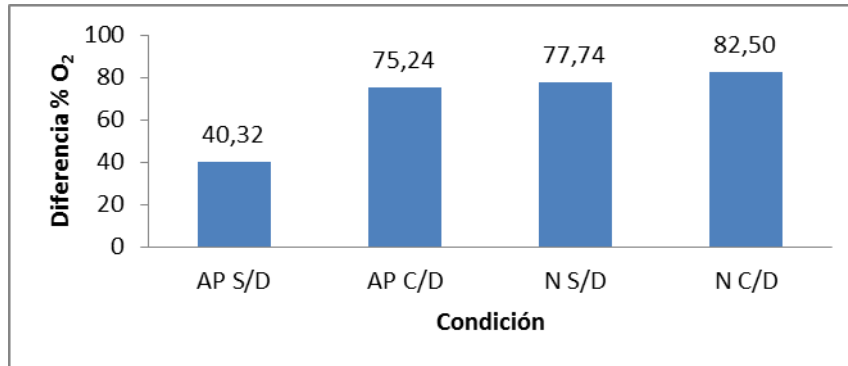
OD, por lo que se estableció como condición de operación óptima del desaireador una temperatura de 60°C y presión de -1,0 bar.



**Figura N°16.** Diferencia porcentual de la concentración de oxígeno disuelto entre la bebida cruda y bebida terminada del oxígeno disuelto en el jugo de naranja pasteurizado envasado en caliente, desaireado a distintas condiciones y no desaireado (patrón).

Al comparar los valores de remoción de oxígeno disuelto obtenido para el jugo de naranja sin desairear envasado en caliente (77,74%) con el obtenido en el proceso de desaireación más eficiente (82,50%) se tiene una diferencia porcentual de apenas 4,76%, siendo los valores de OD en el jugo de 1,48 ppm y 1,19 ppm respectivamente. Sin embargo, al realizar un análisis estadístico entre los porcentajes de remoción de ambas corridas (Ver Anexo G), se encontró que existe diferencia significativa para un  $\alpha = 0,05$ . Estudios anteriores indican que el jugo de naranja a concentraciones de OD de 0,6 y 1,8 ppm no tienen diferencias sensoriales significativas a través del tiempo (22 y 15 semanas respectivamente) con respecto al jugo de naranja a concentraciones de 10,1 ppm de OD por lo que no impacta en la vida útil del producto (Trammell, 1986). El alto porcentaje de remoción de oxígeno obtenido en el proceso sin desaireación y envasado en caliente puede deberse a la baja solubilidad del oxígeno a las temperaturas de envasado ( $\approx 80^\circ\text{C}$ ). En la Figura N°17 se muestra evidencia de esto, donde contrastan los porcentajes de remoción de oxígeno

disuelto en el jugo de naranja y agua de proceso (sólidos solubles nulos), sin desairear y desaireado:



**Figura N°17.** Diferencia porcentual de la concentración del oxígeno disuelto entre la entrada y salida del sistema en el agua de proceso y jugo de naranja pasteurizado y envasado en caliente, no desaireado (patrón) y con el desaireado más eficiente. AP: agua de proceso; N: naranjada; S/D: sin desairear; C/D: con desaireación a 60°C y -1,0bar.

En la Figura N°17 se muestra que la remoción de OD para naranjada sin desairear y envasada en caliente (77,74%) es un 37,42 % mayor que para el agua de proceso tratada en las mismas condiciones (40,32%), lo que concuerda con la teoría, señalando que uno de los factores que afectan directamente a la solubilidad del oxígeno en los líquidos, es la cantidad de sólidos disueltos (Tetra Pak<sup>®</sup>, 1998). Por otro lado, la remoción de OD en la naranjada desaireada y envasada en caliente (82,50%) es un 7,26% mayor que la del agua de proceso envasada en caliente desaireada (75,24%) indicando que la desaireación es mucho más efectiva para líquidos con bajo contenido de sólidos solubles o en ausencia de estos. Para este caso en particular el agua de proceso contiene 0°Bx y la naranjada en promedio 13,5°Bx, gracias a la sacarosa añadida y los azúcares naturales y otros sólidos solubles del concentrado de jugo de naranja.

Los análisis fisicoquímicos de la bebida cruda y terminada en cada corrida para la naranjada se encuentran en la Tabla N°13, mostrada a continuación:



**Tabla N°13.** Propiedades fisicoquímicas de la bebida cruda y terminada para cada corrida de jugo de naranja envasado en caliente, sin desairear y a distintas condiciones de desaireación. BC: bebida cruda; BT: bebida terminada.

Batch	Corrida	Bebida	pH	Acidez (g/100ml)	°Bx	Densidad (g/ml)
1 (300 L)	Patrón	BC	3,40	0,52	13,13	1,049
		BT (t=0min)	3,40	0,55	13,11	1,050
		BT (t=15min)	3,45	0,54	13,17	1,052
2 (600 L)	1	BC	3,39	0,56	13,66	1,054
		BT (t=0min)	3,36	0,53	13,51	1,053
		BT (t=15min)	3,37	0,53	13,59	1,053
	2	BC	3,39	0,56	13,66	1,054
		BT (t=0min)	3,38	0,53	13,68	1,052
		BT (t=15min)	3,37	0,53	13,65	1,052
3 (600 L)	3	BC	3,37	0,53	13,54	1,051
		BT (t=0min)	3,39	0,53	13,60	1,052
		BT (t=15min)	3,39	0,53	13,57	1,052
	4	BC	3,37	0,53	13,54	1,051
		BT (t=0min)	3,40	0,53	13,30	1,052
		BT (t=15min)	3,39	0,53	13,30	1,052
4 (600 L)	5	BC	3,34	0,55	13,70	1,053
		BT (t=0min)	3,33	0,52	13,70	1,050
		BT (t=15min)	3,32	0,54	13,60	1,052
	6	BC	3,34	0,55	13,70	1,053
		BT (t=0min)	3,32	0,54	13,70	1,052
		BT (t=15min)	3,33	0,55	13,70	1,053

A nivel fisicoquímico no hubo diferencias importantes entre el jugo de naranja patrón y el jugo desaireado en cualquiera de las condiciones estudiadas, según lo esperado, ya que las mismas deberían ser independientes del tipo de procesamiento al que es sometida la bebida. En la Tabla N°14 están contenidos los resultados de las pruebas triangulares hechas con un panel entrenado para determinar si existían diferencias sensoriales entre la naranjada desaireada y sin desairear.

**Tabla N°14.** Resultados de las pruebas triangulares entre muestras de jugo de naranja pasteurizado y desaireado a diferentes condiciones, en comparación con el jugo patrón ( $\alpha = 0,05$ ).

Corrida	Condición de operación del desaireador	Cantidad de panelistas	Juicios correctos	Diferencia estadística
1	(-0,8bar; 50°C)	12	3	No
2	(-1,0bar; 50°C)	12	4	No
3	(-0,8bar; 55°C)	12	5	No
4	(-1,0bar; 55°C)	10	6	No
5	(-0,8bar; 60°C)	12	8	Si
6	(-1,0bar; 60°C)	12	3	No

Se puede observar que no existe diferencia sensorial significativa entre las muestras obtenidas bajo el proceso de desaireación y el patrón sin desairear a excepción de la corrida N°5 donde se pudo determinar que la diferencia encontrada fue en cuanto a la percepción del nivel de dulzor del producto y no a pérdidas de aroma o sabor a naranja en el mismo como se esperaba.

#### **IV.2.4.- Pruebas realizadas con jugo de naranja con uso del desaireador y envasado en frío**

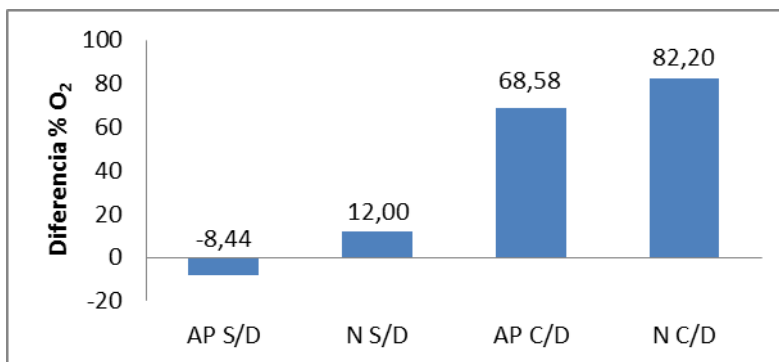
A continuación se muestran los resultados de la evaluación del efecto de la temperatura de envasado en frío sobre concentración de oxígeno disuelto en el jugo de naranja en la Tabla N°15:

**Tabla N°15.** Valores de la concentración de oxígeno disuelto en el jugo de naranja en bebida cruda y bebida terminada (BT), pasteurizada y envasada en frío a 20°C, con el uso del desaireador a 60°C y -1,0 bar y sin el uso del desaireador.

	ppm O <sub>2</sub> disuelto	
	Sin desairear y envasado en frío	Desaireado a 60°C/-1,0 bar y envasado en frío
Bebida cruda	5,80	5,90
BT (t = 0 min)	5,13	1,10
BT (t = 10 min)	5,08	1,00
BT (t=20 min)	5,10	1,07
BT (t=30 min)	5,12	1,04
<b>Promedio BT</b>	5,11	1,05
<b>% remoción O<sub>2</sub></b>	<b>11,90</b>	<b>82,20</b>

De la Tabla N°15 se puede observar que al realizar el envasado en frío ( $\approx 20^{\circ}\text{C}$ ) mediante el proceso de desaireación se obtiene un porcentaje de remoción de oxígeno en la bebida significativamente mayor que para el proceso sin desaireación alcanzando 1,05 ppm valor por debajo del promedio de 1,8 ppm para jugos desaireados (Trammell, 1986), lo cual muestra la eficiencia de la desaireación en los procesos de envasado en frío.

Porcentualmente, hubo un 70,30% de diferencia de remoción de OD entre el jugo desaireado (82,20%) y el jugo sin desairear (11,90%), ambos envasados en frío (Ver Figura N°18), siendo mucho mayor a la diferencia de remoción obtenida para el mismo producto desaireado y sin desairear envasado en caliente (7,26%) como se observa en la Figura N°17. Esto indica que la temperatura de llenado, la cantidad de sólidos disueltos y la aplicación de la desaireación o no en el procesado del jugo, juegan un papel fundamental en la concentración final de OD.



**Figura N°18.** Diferencia porcentual del oxígeno disuelto entre la entrada y salida del sistema en el agua de proceso y jugo de naranja pasteurizado, envasado en frío a 20°C, no desaireado (patrón) y desaireado a 60°C y -1,0bar. AP: agua de proceso; N: naranjada; S/D: sin desaireado; C/D: con desaireación a 60°C y -1,0bar.

En cuanto a la concentración de OD entre el agua de proceso y naranjada envasada en frío, se obtuvieron valores finales promedio de 7,20 ppm (Ver Tabla N°9) y 5,11 ppm (Ver Tabla N°15) respectivamente, corroborando lo dicho anteriormente acerca de la dependencia de la concentración de OD con los sólidos totales.

Se realizaron pruebas sensoriales con muestras del jugo patrón y desaireado envasadas en frío y de los resultados obtenidos se pudo determinar que no existen diferencias entre las muestras. Los resultados se presentan en la Tabla N°16:

**Tabla N°16.** Resultados estadísticos de las pruebas sensoriales realizadas a muestras del jugo de naranja pasteurizado y envasado en frío a 20°C, con el uso del desaireador a 60°C y -1,0 bar y sin el uso del desaireador (patrón); ( $\alpha = 0,05$ ).

Cantidad de panelistas	Juicios correctos	Diferencia estadística
10	3	No

Sensorialmente no se encontraron diferencias significativas entre las muestras estudiadas. En lo respectivo a las características fisicoquímicas, los análisis se observan en la Tabla N°17:

**Tabla N°17.** Propiedades fisicoquímicas de la bebida cruda y terminada para cada corrida de jugo de naranja pasteurizado, sin desairear y desaireado a -1,0 bar y 60°C, ambas con envasado en frío a 20°C. BC: bebida cruda; BT: bebida terminada.

Corrida	Bebida	pH	Acidez (g/100ml)	°Bx	Densidad (g/ml)
Sin desairear y envasado en frío	BC	3,38	0,55	13,65	1,050
	BT (t=0min)	3,40	0,54	13,62	1,051
	BT (t=15min)	3,39	0,54	13,64	1,050
Desaireado a -1,0 bar/60°C y envasado en frío	BC	3,41	0,52	13,60	1,051
	BT (t=0min)	3,39	0,53	13,58	1,050
	BT (t=15min)	3,39	0,53	13,61	1,050

Ambos jugos se mantuvieron fisicoquímicamente dentro del rango de especificaciones, permaneciendo invariables en la bebida antes y después del procesamiento para ambos casos, como se tenía previsto.

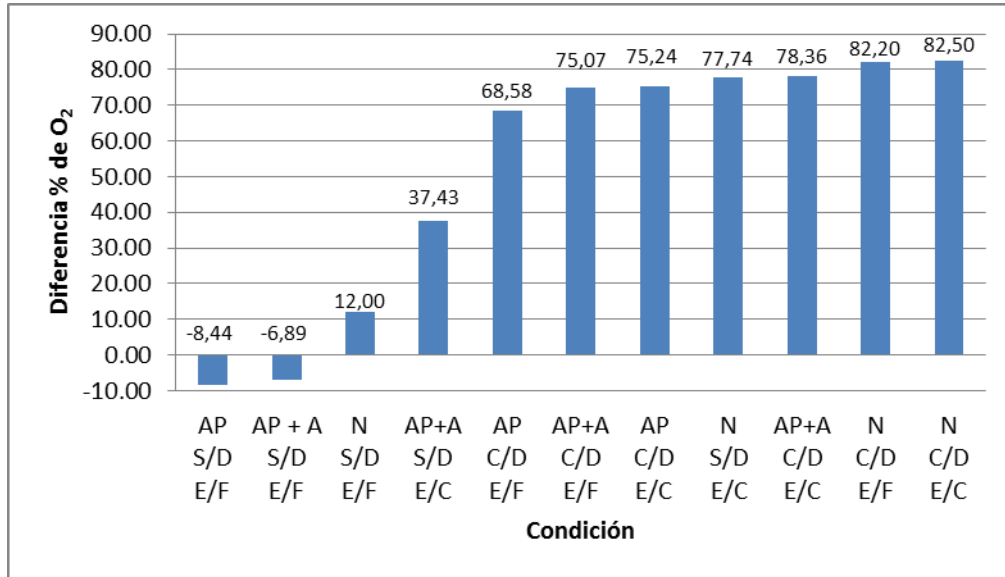
#### IV.2.5.- Pruebas realizadas con agua de proceso con azúcar añadida

Con el propósito de comprobar el efecto de la cantidad de sólidos solubles en el fluido a procesar sobre la solubilidad del oxígeno disuelto, se llevaron a cabo pruebas con agua de proceso agregándole la misma cantidad de sacarosa que se le añade al jugo de naranja, obteniéndose una cantidad de sólidos solubles de 8,11°Bx. Cada corrida tuvo una duración de 60 minutos, tomándose muestras cada 10 minutos. Los resultados de las pruebas se observan en la Tabla N°18:

**Tabla N°18.** Concentraciones promedio y diferencia porcentual de la concentración de oxígeno disuelto en el agua de proceso con azúcar, sometido a pasteurización, sin desairear y desaireado, envasado en caliente y en frío. S/D: sin desairear; C/D: con desaireado a -1,0 bar, 60°C; E/F: envasado a 20°C; E/C: envasado a 80°C.

	Concentración promedio		
	O <sub>2</sub> entrada (ppm)	O <sub>2</sub> salida (ppm)	Diferencia % O <sub>2</sub>
S/D E/F	6,76	7,23	-6,89
S/D E/C	6,70	4,19	37,43
C/D E/F	6,69	1,67	75,07
C/D E/C	6,60	1,43	78,36

Los datos encontrados reflejan el comportamiento esperado, donde la menor concentración de OD fue hallada cuando el desaireador estuvo en operación y el envasado fue a 80°C. Las diferencias en la remoción de OD y la influencia de los sólidos totales sobre la concentración final de OD, se pueden observar comparando el agua de proceso, agua de proceso con azúcar y naranjada, a distintas condiciones de procesamiento y envasado, como se muestra en la Figura N° 19:



**Figura N° 19.** Diferencia porcentual del oxígeno disuelto entre la entrada y salida del sistema en el agua de proceso, agua de proceso con azúcar añadida y naranjada con pasteurización, envasado en frío a 20°C y en caliente a 80°C, sin desairerar y con desaireado a 60°C y -1,0bar. AP: agua de proceso; AP+A: agua de proceso con azúcar; N: naranjada; S/D: sin desairerar; C/D: con desaireación a 60°C y -1,0bar; E/F: envasado en frío; E/C: envasado en caliente.

En la Figura N° 19 se puede observar claramente que la remoción de OD depende de tres factores fundamentales: cantidad de sólidos totales, desaireado o no y tipo de envasado. Los porcentajes más altos correspondieron a las pruebas con el desaireador en funcionamiento y envasado a  $\approx 80^\circ\text{C}$ , teniendo mayor remoción en la naranjada (82,50%), seguido por el agua de proceso con azúcar (78,36%) y por último el agua de proceso (75,24%), confirmando lo establecido por la teoría de que mientras más sólidos totales se tengan, menor será la concentración final de oxígeno en la muestra (Tetra Pak<sup>®</sup>, 1998). En

ninguno de los casos se alcanzaron los porcentajes de remoción de OD señalados por el fabricante, los cuales debían haber estado en el orden del 93,75 – 95 %. Los porcentajes de remoción de OD entre el jugo de naranja desaireado envasado a  $\approx 80^{\circ}\text{C}$  y desaireado envasado en frío a  $\approx 20^{\circ}\text{C}$ , no tienen diferencia significativa según el análisis estadístico mostrado en el Anexo H, lo que indica que la desaireación predomina en eficiencia frente al envasado en caliente para la remoción de OD.

#### IV.2.6.- Mediciones realizadas en una línea industrial de jugo de naranja envasado en empaques de 1000 ml.

Con el objeto de evaluar la concentración de oxígeno disuelto en el producto comercial bajo las condiciones actuales de envasado en frío (aséptico) se realizaron mediciones de OD al jugo de naranja producido en una planta a escala industrial. Existen dos variantes cuando se envasa en frío de acuerdo al tipo de empaque a utilizar; con inyección de nitrógeno (envase de 1000 ml) y sin inyección de nitrógeno (envase de 250 ml). Los resultados se muestran en la Tabla N°19.

**Tabla N°19.** Concentraciones de oxígeno disuelto en el jugo de naranja procesado en una línea industrial, pasteurizado, con envasado estéril en frío con inyección de nitrógeno (envases de 1000 ml) y sin inyección de nitrógeno (envases de 250ml).

Bebida	Concentración O <sub>2</sub> (ppm) (1000 ml)	Concentración O <sub>2</sub> (ppm) (250 ml)
Bebida cruda	6,99	6,13
Muestra 1 BT	2,84	3,74
Muestra 2 BT	2,84	3,93
Muestra 3 BT	3,02	3,91
Muestra 4 BT	2,41	3,73
<b>Promedio O<sub>2</sub> en BT</b>	<b>2,90</b>	<b>3,83</b>
<b>% Remoción de O<sub>2</sub></b>	<b>58,51</b>	<b>37,52</b>

En el envasado con inyección de nitrógeno se obtiene una remoción de oxígeno del 58,51% siendo mayor que el obtenido envasado sin inyección de este gas, ocasionado a que el

nitrógeno desplaza al oxígeno disuelto contenido en la bebida. Los valores de remoción de OD encontrados en empaques de 250 ml (37,52%) deberían similares a los vistos en la Tabla N°15 para el jugo de naranja envasado en frío sin desairear (12,00%), la diferencia puede deberse al hecho de que las temperaturas de llenado fueron cercanas a los 30°C para las muestras industriales y a escala piloto se encontraron alrededor de 20°C; además de las diferencias propias entre escalamiento industrial y piloto.



## CONCLUSIONES

- Los valores fijados de las variables estudiadas en el diseño experimental para la estandarización de la metodología para el análisis de oxígeno disuelto en jugo de naranja, fueron 210 ml de volumen de muestra, velocidad de agitación de 320 RPM y temperatura de muestra de 20°C.
- Se establece como condición de operación del desaireador una temperatura de 60°C y presión de vacío de -1,0 bar, siendo ésta donde se obtuvo la mayor remoción del oxígeno disuelto.
- La remoción de oxígeno en el jugo de naranja mediante el uso del desaireador y envasado en caliente fue del 82,50% alcanzando concentraciones de oxígeno alrededor de 1,19 ppm.
- El proceso de envasado en caliente  $\approx 80$  °C, sin desaireación, disminuye la solubilidad del oxígeno en el jugo de naranja reduciendo la concentración de oxígeno disuelto desde 6,64 ppm hasta 1,48ppm, equivalente a un 77,74% de remoción.
- Existe diferencia estadísticamente significativa entre la remoción de oxígeno en el jugo de naranja mediante el uso del desaireador con envasado en caliente y el obtenido en el proceso de envasado en caliente sin desairear, sin embargo se considera que no es necesaria la incorporación del desaireador debido a los bajos niveles de concentración de oxígeno encontrados sin el uso de este (1,48ppm).
- El proceso de desaireación del jugo de naranja seguido de envasado en frío a  $\approx 20$ °C, logra un porcentaje de remoción de oxígeno del 82,20%.

## Conclusiones y recomendaciones

---

- No existe diferencia estadísticamente significativa entre la remoción de oxígeno obtenida en el jugo de naranja desaireado envasado en caliente frente al desaireado y envasado en frío.
- No es posible alcanzar los porcentajes de remoción de OD indicados por el fabricante (93,75 – 95 %), en el jugo de naranja bajo las condiciones estudiadas.
- A mayor concentración de sólidos solubles, mayor es la remoción de oxígeno disuelto luego del procesamiento en todos los casos estudiados.
- No hay diferencia sensorial ni fisicoquímica entre el jugo de naranja desaireado y no desaireado, tanto para proceso de envasado en caliente a  $\approx 80$  °C como de envasado en frío  $\approx 20$  °C.

## RECOMENDACIONES

- Según evidencia encontrada en las mediciones, se requiere evaluar la necesidad del uso de un desaireador en la elaboración del jugo de naranja bajo el proceso de envasado aséptico (20-25°C) cuando se usa nitrógeno en el llenado.
- Verificar mediante la realización de análisis sensoriales y determinación de la variación de concentración del ácido ascórbico en el tiempo, si efectivamente el proceso de desaireación no influye de manera significativa en la vida útil del jugo de naranja, en comparación con el producto no desaireado considerando los bajos niveles de oxígeno disuelto en el jugo producido actualmente sin desaireación envasado tanto asépticamente, como en caliente.
- Realizar pruebas con el desaireador en la línea industrial tanto para el proceso de llenado en caliente como en frío para determinar si alcanza un mayor grado de remoción de OD que el obtenido a escala piloto tal como ofrece el fabricante (0,5 ppm OD en la bebida terminada).
- Realizar el estudio de la desaireación para otros sabores de jugos de frutas que sean sensibles a la oxidación.
- Realizar un estudio económico de los costos de operación del desaireador con el objetivo de establecer si es rentable su puesta en marcha en una línea industrial versus los beneficios obtenidos para un proceso de envasado en frío (aséptico) sin inyección de nitrógeno.

## BIBLIOGRAFÍA

Anton Paar. (s.f.). *DMA/RXA Combined density/Refractive index measuring system*. Recuperado en Julio, 28, 2011, de [http://pdf.directindustry.com/pdf/anton-paar/dma-rxa-combined-density-refractive-index-measuring-system/16352-51837-\\_2.html](http://pdf.directindustry.com/pdf/anton-paar/dma-rxa-combined-density-refractive-index-measuring-system/16352-51837-_2.html)

Arias, M. (s.f.). *Caracterización físico-químico y sensorial de nabiza y grelo (Brassica rapa L.)* Trabajo para optar al grado de Doctor presentado a la Universidad de Santiago de Compostela, España.

Ashurst, P. (2005). *Chemistry and technology of soft drinks and fruit juices*. Blackwell Publishing Ltd.

ASTM (American Society for Testing and Materials). (1981). *Guidelines for the selection and training of sensory panel members*. Philadelphia, EEUU.

Atago.(s.f.). *Bits of knowledge*. Recuperado en Julio, 28, 2011, de <http://www.atago.net/USA/mame.html>

Bartek Ingredients Inc. (2004). *La selección de los acidulantes*. Recuperado en Febrero, 02, 2012, de <http://www.bartek.ca/pdfs/Newsletter/LaSelecciondelosAcidulantes.pdf>

Berlinet C., Ducruet V., Brat P., Brillouet J-M, Reynes y Guichard E. (2003). *Effects of PET packaging on the quality of an orange juice made from concentrate*. International Conference Engineering and Food.

Burdurlu, H.S, Koca, N. y Karadeniz, F. (2006). *Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage*. Journal of Food Engineering, 74: 211-216

Cervecería Polar C.A. (2009). *Análisis sensorial de aguas de proceso*.

Crison. (2005). *Catálogo 2005 "Aguas-Industria"*. 1ra Edición. Recuperado en Julio, 29, 2011, de [http://www.crison.es/pdfs/indu/03/crison\\_3\\_3.pdf](http://www.crison.es/pdfs/indu/03/crison_3_3.pdf)

Cubero, N. (2002). *Aditivos alimentarios*. España: A. Madrid Vicente, Ediciones.

Dorosz, P. (2008). *Tabla de vitaminas, sales minerales, oligoelementos*. España: Editorial Hispano Europea, S.A.

Euzen, J. (1993). *Scale-up methodology for chemical processes*. Francia: Éditions Technip.

## Bibliografía

---

FAO, Food and Agriculture Administration. (2006). *Jugo de naranja*. Recuperado en enero, 31, 2012, de [http://www.fao.org/inpho\\_archive/content/documents/vlibrary/AE620s/Pprocesados/FRU18.HTM](http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/AE620s/Pprocesados/FRU18.HTM)

Fellows, J. (2000). *Food processing technology. Principles and practice*. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC.

Freund, J. (1992). *Estadística elemental*. Prentice Hall Inc.

García, L. (2007). *Evaluación de la estabilidad de un concentrado de jugo de naranja empacado asépticamente*. Trabajo de Grado presentado a la Universidad Metropolitana.

Gil, A. (2010). *Tratado de Nutrición. 2a ed. Tomo II: Composición y Calidad Nutritiva de los Alimentos*. Editorial Médica Panamericana.

Hui, Y. (2006a). *Food biochemistry & food processing*. Blackwell Publishing.

Hui, Y. (2006b). *Handbook of fruits and fruit processing*. Blackwell Publishing.

HunterLab. (2008). Hunter L, a, b versus CIE 1976 L\*a\*b\*. Recuperado en octubre, 18, 2011, de [http://www.hunterlab.com/appnotes/an02\\_01.pdf](http://www.hunterlab.com/appnotes/an02_01.pdf)

Jordán, M. (1999). *Constituyentes aromáticos del zumo de naranja. Efecto del procesado industrial*. Trabajo para optar al grado de Doctor en Ciencias Químicas presentado a la Universidad de Murcia, España.

Martín, F. (2006). *Fundamentos de probabilidad*. Editorial Thomson.

Montgomery, D. (2009). *Design and analysis of experiments*. Wiley & Sons, Inc.

Norma Venezolana COVENIN 1701-93. (1993). *Naranjada*.

Norma Venezolana COVENIN 2264-94. (1994). *Jugo de naranja concentrado congelado para uso industrial (1era revisión)*.

Olivas, R. (2009). *Las pruebas de diferencia en el análisis sensorial de los alimentos*. Revista Tecnociencia Chihuahua Vol. III, N°1. México.

Pedrero, D. (1997). *Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos analíticos*. México: Longman de México Editores, S.A.

## Bibliografía

---

Philip, N. (2010). *Principles of aseptic processing and packaging*. EEUU: Purdue University.

Rouseff, R.L. (1992). *Off-flavor development in citrus juices products*. Editorial Editorial: Charalambous G.

Salkin, N. (1999). *Métodos de investigación*. Prentice Hall.

Shakuntala, M. (2001). *Foods, facts and principles*. New Delhi: New Age International.

Singh, O. (2006). *Engineering thermodynamics*. New Delhi: New Age International.

Stanga, M. (2010). *Sanitation: Cleaning and disinfection in the food industry*. Wiley-VCH.

Stone, H. (2004). *Sensory evaluation practices*. Academic Press.

Suárez, D. (2003). *Guía de procesos para la elaboración de néctares, mermeladas, uvas pasas y vinos*. Siglo del hombre Editores S.A.

Tetra Pak<sup>®</sup>. (1998). *The orange book*. Suecia: Ruter Press.

Trammell, D. (1986). *Effect of oxygen on taste, ascorbic acid loss and browning for HTST-Pasteurized, single strength orange juice*. Journal of food science.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. (2012). *Dissolved oxygen and biochemical oxygen demand*. Recuperado en enero, 24, 2012 de <http://water.epa.gov/type/rsl/monitoring/vms52.cfm>

Zerdin K., Rooney M. y Vermue J. (2003). *The vitamin C content of orange juice packed in an oxygen scavenger material*. Food Chemistry.

## ANEXOS

**Anexo A.** Mínimo de juicios correctos para establecer diferencia significativa a probabilidades de 5 y 1 % para pruebas triangulares (una cola,  $p=1/3$ ).

<b>Test triangular</b>		
	Mínimo de juicios correctos para establecer diferencias significativas	
<b>N° de juicios (n)</b>	<b>p = 0.05</b>	<b>p =0.01</b>
3	3	-
4	4	-
5	4	5
6	5	6
7	5	6
8	6	7
9	6	7
10	7	8
11	7	8
12	8	9
13	8	9
14	9	10
15	9	10
16	9	11
17	10	11
18	10	12
19	11	12
20	11	13
21	12	13
22	12	14
23	12	14
24	13	15
25	13	15

**Anexo B.** Análisis de varianza del diseño experimental para jugo de naranja en prismas de 1000 ml, obtenido mediante el software MiniTab® 14.

Estimated Effects and Coefficients for ppm O2 (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		1,19083	0,01581	75,34	0,000	
Volumen	-0,02333	-0,01167	0,01581	-0,74	0,471	
RPM	-0,04833	-0,02417	0,01581	-1,53	0,146	
Temperatura	0,01667	0,00833	0,01581	0,53	0,605	
Volumen*RPM	-0,04000	-0,02000	0,01581	-1,27	0,224	
Volumen*Temperatura	0,01833	0,00917	0,01581	0,58	0,570	
RPM*Temperatura	-0,02667	-0,01333	0,01581	-0,84	0,411	
Volumen*RPM*Temperatura	0,00833	0,00417	0,01581	0,26	0,795	

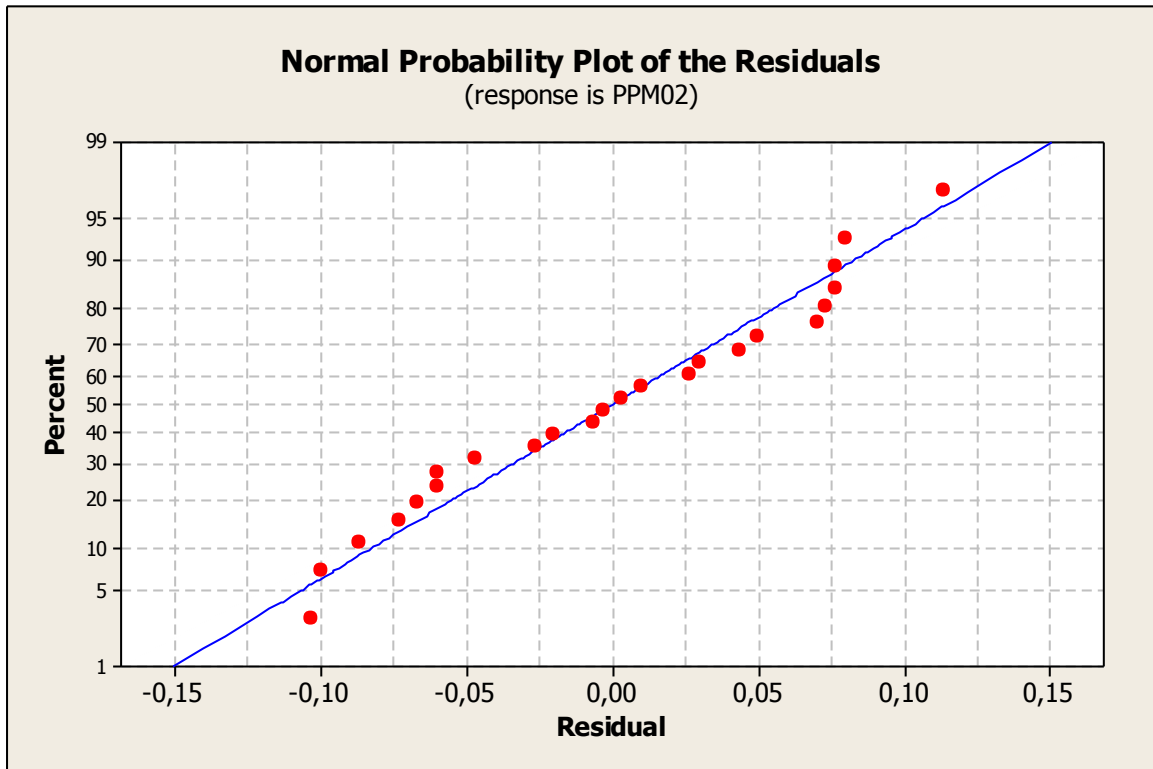
S = 0,0774328    R-Sq = 26,87%    R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for ppm O2 (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0,018950	0,0189500	0,0063167	1,05	0,396
2-Way Interactions	3	0,015883	0,0158833	0,0052944	0,88	0,471
3-Way Interactions	1	0,000417	0,0004167	0,0004167	0,07	0,795
Residual Error	16	0,095933	0,0959333	0,0059958		
Pure Error	16	0,095933	0,0959333	0,0059958		
Total	23	0,131183				

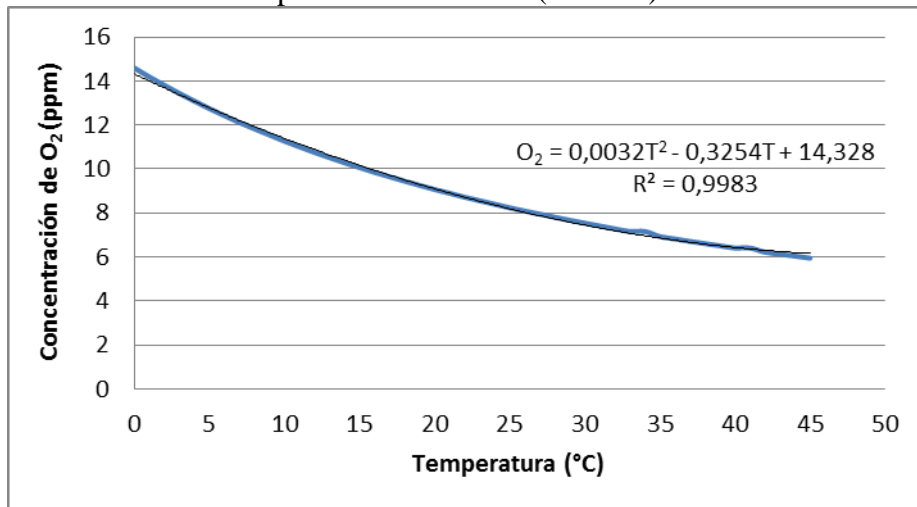
Estimated Coefficients for ppm O2 using data in uncoded units	
Term	Coef
Constant	-0,88630
Volumen	0,0074074
RPM	0,0070509
Temperatura	0,072778
Volumen*RPM	-2,73148E-05
Volumen*Temperatura	-0,00019630
RPM*Temperatura	-2,72222E-04
Volumen*RPM*Temperatura	9,25926E-07



**Anexo C.** Probabilidad normal de los errores residuales del diseño experimental para jugo de naranja en prismas de 1000 ml, obtenido mediante el software MiniTab® 14



**Anexo D.** Saturación máxima de oxígeno disuelto en agua en función de la temperatura a presión atmosférica (USEPA)



**Anexo E.** Valores operacionales a escala piloto para las corridas de naranjada en caliente sin desairear y a diferentes condiciones de desaireación.

	<b>Caudal (l/h)</b>	<b>T<sub>entrada des.</sub> (°C)</b>	<b>P vacío (Kpa)</b>	<b>T<sub>salida des.</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>entrada paster</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>salida paster</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>llenado</sub> (°C)</b>
Patrón	196.7	-	-	-	89.3	88.6	78.9
	201.2	-	-	-	88.1	89.6	78.2
	201	-	-	-	88.4	89.4	77.4
	200.4	-	-	-	89.3	88.4	78.4
	200.8	-	-	-	88.2	88.5	79.2
	200.9	-	-	-	88.3	90.2	79.2
	200.1	-	-	-	89.9	89.4	79.6
Condición 1	200.1	49.2	-82.0	49.4	88.2	89.7	80.0
	200.2	49.5	-82.0	49.6	88.7	89.9	80.1
	200.0	49.8	-82.0	49.0	88.7	88.7	80.0
	199.8	50.4	-81.0	50.1	88.7	88.8	79.8
	199.2	51.2	-81.0	50.9	89.7	88.8	79.7
	199.2	50.6	-82.0	50.2	90.0	88.8	79.7
	200.1	49.7	-82.0	50.1	89.1	89.2	79.8
	200.2	51.0	-81.0	51.2	88.8	88.5	80.0
Condición 2	200.6	50.2	-100.0	50.0	88.9	88.9	80.0
	199.8	49.9	-100.0	49.8	89.7	89.1	79.8
	200.9	50.1	-100.0	50.2	89.7	90.0	79.7
	199.5	50.8	-100.0	50.4	89.7	90.0	79.7
	199.9	51.3	-100.0	51.2	88.3	89.9	79.7
	199.9	50.2	-100.0	50.0	88.6	88.5	80.0
	200.1	49.7	-100.0	49.6	88.7	88.8	80.1
	199.9	50.4	-100.0	50.6	88.8	90.3	79.9
	200.4	49.9	-100.0	49.7	89.9	88.9	79.7
Condición 3	199.6	59.2	-82.0	54.2	88.6	88.8	77.4
	199.7	48.2	-82.0	53.2	88.9	89.2	77.4
	199.9	46.1	-82.0	55.1	88.5	89.2	77.3
	199.9	62.0	-82.0	53.6	89.4	88.8	77.2
	200.0	55.6	-82.0	52.8	89.7	89.6	77.1
	200.6	59.4	-82.0	52.1	89.7	89.9	77.1
	199.9	56.0	-82.0	54.1	88.2	87.9	77.1
	200.6	56.2	-82.0	53.9	88.9	88.4	77.1
	200.3	53.6	-82.0	53.6	90.1	89.1	77.0
	200.0	54.8	-82.0	51.9	88.4	90.3	77.0

Anexos

	200.2	55.4	-82.0	53.2	88.4	88.4	77.0
	200.0	56.5	-82.0	55.4	88.4	88.6	77.1
Condición 4	200.6	52.9	-100.0	54.2	88.2	88.4	77.0
	199.9	52.6	-100.0	51.0	89.9	90.1	76.9
	200.6	54.8	-100.0	51.5	88.6	88.8	76.9
	200.1	57.8	-100.0	53.6	90.0	90.3	76.9
	199.9	51.8	-100.0	52.7	88.2	88.4	77.0
	199.7	53.5	-100.0	51.0	88.3	88.6	77.1
	200.2	55.4	-100.0	56.1	90.4	89.6	76.8
	200.7	55.3	-100.0	51.2	90.1	90.4	76.6
	Condición 5	198.6	61.3	-82.0	58.3	89.1	89.3
199.9		64.4	-82.0	54.7	88.7	88.9	79.1
200.5		63.3	-82.0	58.6	90	90.2	79.4
199.6		61.1	-82.0	58.3	88.3	88.4	79.6
200.4		58.5	-82.0	57.9	88.4	88.6	79.9
200.1		58.5	-82.0	56.5	88.6	88.8	79.5
200		63.9	-82.0	55.7	89.8	90	79.6
200		63.5	-82.0	56.4	89.7	89.8	79.7
Condición 6	200.3	60.2	-100.0	51.5	88.2	88.5	79.9
	199.5	59.5	-100.0	51.6	88.7	88.9	79.8
	199.8	59.1	-100.0	51.6	89.8	90.1	79.6
	200	57.1	-100.0	51.7	89.9	90.1	79.6
	200.4	58.5	-100.0	51.8	88.8	89	79.8
	199.4	60.9	-100.0	52	88.4	88.6	80
	200.2	60.3	-100.0	51.8	88.7	88.9	80
	199.7	60.3	-100.0	51.8	88.7	88.9	79.7

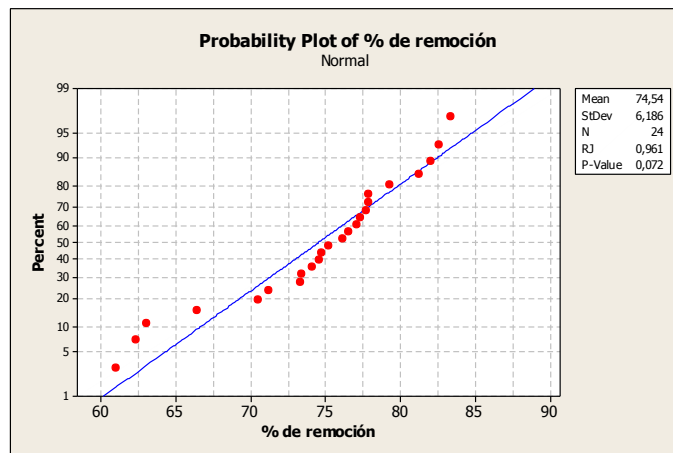
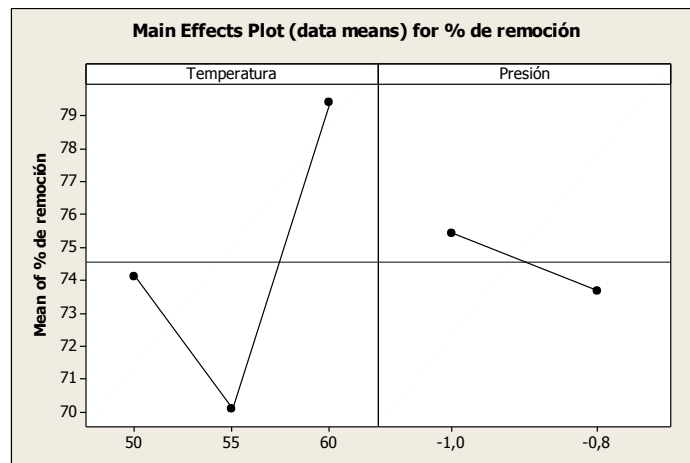
**Anexo F.** Análisis de varianza generado por MatLab para la determinación de diferencias significativas entre porcentajes de remoción de oxígeno disuelto en las corridas de jugo de naranja desaireado a distintas condiciones (C1 a C6) envasado en caliente, tomando en cuenta las variables temperatura y presión.

**General Linear Model: % de remoción versus Temperatura; Presión**

Factor	Type	Levels	Values
Temperatura	fixed	3	50; 55; 60
Presión	fixed	2	-1,0; -0,8

Analysis of Variance for % de remoción, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temperatura	2	347,58	347,58	173,79	7,49	0,004
Presión	1	18,24	18,24	18,24	0,79	0,387
Temperatura*Presión	2	96,64	96,64	48,32	2,08	0,154
Error	18	417,61	417,61	23,20		
Total	23	880,07				



**Anexo G.** Análisis estadístico generado por Excel utilizando la t de Student con un  $\alpha = 0,05$  para la determinación de diferencia significativa entre los porcentajes de remoción de oxígeno disuelto en las corridas de jugo de naranja envasado en caliente, desaireado y no desaireado. C/D: desaireado a a -1,0 bar y 60 °C; S/D: sin desairear; E/C: envasado a 80°C.

<b>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</b>		
	<b>S/D E/C</b>	<b>C/D E/C</b>
Media	77.77	82.50
Varianza	3.062	3.237
Observaciones	15	15
Varianza agrupada	3.149	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	28	
Estadístico t	-7.297691201	
P(T<=t) una cola	3.02056E-08	
Valor crítico de t (una cola)	1.701130934	
P(T<=t) dos colas	6.04112E-08	
Valor crítico de t (dos colas)	2.048407142	
<b>Prueba F para varianzas de dos muestras</b>		
	<b>S/D E/C</b>	<b>C/D E/C</b>
Media	77.77	82.45
Varianza	3.0623246	3.2365814
Observaciones	15	15
Grados de libertad	14	14
F	0.94616023	
P(F<=f) una cola	0.45949716	
Valor crítico para F (una cola)	0.402620943	

**Anexo H.** Análisis estadístico generado por Excel utilizando la t de Student con un  $\alpha = 0,05$  para la determinación de diferencia significativa entre los porcentajes de remoción de oxígeno disuelto en las corridas de jugo de naranja desaireado, envasado en frío y caliente. C/D: desaireado a a -1,0 bar y 60 °C; S/D: sin desairear; E/C: envasado a 80°C.

<b>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</b>		
	<b>C/D E/C</b>	<b>C/D E/F</b>
Media	82.50	82.16
Varianza	0.822	0.524
Observaciones	5	4
Varianza agrupada	0.694	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	7	
Estadístico t	0.606459311	
P(T<=t) una cola	0.281676259	
Valor crítico de t (una cola)	1.894578605	
P(T<=t) dos colas	0.563352517	
Valor crítico de t (dos colas)	2.364624252	
<b>Prueba F para varianzas de dos muestras</b>		
	<b>C/D E/C</b>	<b>C/D E/F</b>
Media	82.5	82.16101695
Varianza	0.822	0.524
Observaciones	5	4
Grados de libertad	4	3
F	1.567497748	
P(F<=f) una cola	0.370888774	
Valor crítico para F (una cola)	9.117182253	