

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



**“EFECTO DEL SECADO EN BANDEJA, LIOFILIZACIÓN Y
SECADO SOLAR EN LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA
HARINA DE BRÁCTEAS DE ALCACHOFA (*Cynara scolymus*)
VAR. GREEN GLOBE Y VAR. IMPERIAL STAR”**

PRESENTADO POR:

Bach. ALZA PAREDES ANTONELLA GUINY

Bach. AURORA VIGO YAQUELIN YULIANA

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

NUEVO CHIMBOTE - PERU

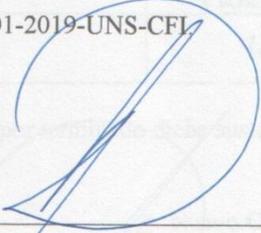
2019

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



HOJA DE AVAL DEL JURADO EVALUADOR

El presente trabajo de tesis titulado **“EFECTO DEL SECADO EN BANDEJA, LIOFILIZACIÓN Y SECADO SOLAR EN LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA HARINA DE BRÁCTEAS DE ALCACHOFA (*Cynara scolymus*) VAR. GREEN GLOBE Y VAR. IMPERIAL STAR”** para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, presentado por los bachilleres **ALZA PAREDES ANTONELLA GUINY** y **AURORA VIGO YAQUELIN YULIANA**, teniendo como asesor a la docente Dr. Elza Aguirre Vargas y como Co-Asesor al docente Dr. Gilbert Nilo Rodríguez Paucar, designado por resolución decanal N°327-2019-UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado el día 12 de Agosto del 2019 por el siguiente jurado evaluador, designado mediante resolución N°301-2019-UNS-CFI.



Presidente
Dr. Víctor Augusto Castro Zavaleta



Secretaría
Dra. Elza Berta Aguirre Vargas



Integrante
Dr. César Moreno Rojo



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



FACULTAD DE INGENIERÍA
E. P. DE INGENIERÍA DE AGROINDUSTRIAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 12:00 m. del 12 de agosto del dos mil diecinueve se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial, el Jurado Evaluador, designado mediante resolución N° 301-2019-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Víctor Castro Zavaleta** (Presidente)
- **Dra. Elza Aguirre Vargas** (Secretario)
- **Dr. Cesar Moreno Rojo** (Integrante); para inicio a la Sustentación y Evaluación de Tesis, titulada:

“EFECTO DEL SECADO EN BANDEJA, LIOFILIZACIÓN Y SECADO SOLAR EN LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA HARINA DE BRÁCTEAS DE ALCACHOFA (*Cynara scolymus*) VAR. GREEN GLOBE Y VAR. IMPERIAL STAR”, elaborada por el (os) bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **Bach. Yaquelin Yuliana Aurora Vigo**
- **Bach. Antonella Guiny Alza Paredes**

Asimismo, tienen como Asesor a la docente Dra. Elza Aguirre Vargas y como Co-Asesor al docente Dr. Gilbert Nilo Rodríguez Paucar.

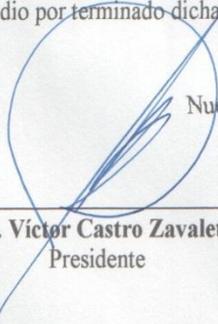
Finalizada la sustentación, la Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y el Público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Artículo 39° y 40° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

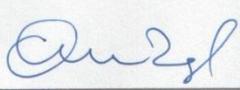
BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
Antonella Guiny Alza Paredes	18	MUY BUENO

Siendo las 11:00 an. del mismo día, se dio por terminado dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el presente jurado.

Nuevo Chimbote, 12 de Agosto del 2019


Dr. Víctor Castro Zavaleta
Presidente


Dra. Elza Aguirre Vargas


Dr. Cesar Moreno Rojo



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



FACULTAD DE INGENIERÍA
E. P. DE INGENIERÍA DE AGROINDUSTRIAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 12:00 m. del 12 de agosto del dos mil diecinueve se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial, el Jurado Evaluador, designado mediante resolución N° 301-2019-UNS-CFI integrado por los docentes:

- **Dr. Víctor Castro Zavaleta** (Presidente)
- **Dra. Elza Aguirre Vargas** (Secretario)
- **Dr. Cesar Moreno Rojo** (Integrante); para inicio a la Sustentación y Evaluación de Tesis, titulada:

“EFECTO DEL SECADO EN BANDEJA, LIOFILIZACIÓN Y SECADO SOLAR EN LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA HARINA DE BRÁCTEAS DE ALCACHOFA (*Cynara scolymus*) VAR. GREEN GLOBE Y VAR. IMPERIAL STAR”, elaborada por el (os) bachilleres en Ingeniería Agroindustrial.

- **Bach. Yaquelin Yuliana Aurora Vigo**
- **Bach. Antonella Guiny Alza Paredes**

Asimismo, tienen como Asesor a la docente Dra. Elza Aguirre Vargas y como Co-Asesor al docente Dr. Gilbert Nilo Rodríguez Paucar.

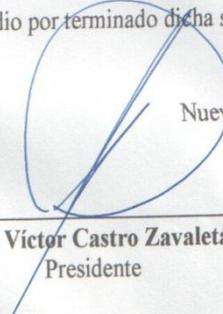
Finalizada la sustentación, la Tesista respondió las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y el Público presente.

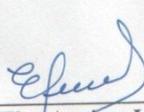
El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes y en concordancia con el Artículo 39° y 40° del Reglamento de Grados y títulos de la Universidad Nacional del Santa, declaran:

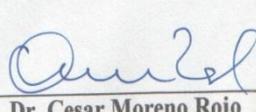
BACHILLER	PROMEDIO VIGESIMAL	PONDERACIÓN
Yaquelin Yuliana Aurora Vigo	18	MUY BUENO

Siendo las 11:00 an. del mismo día, se dio por terminado dicha sustentación, firmando en señal de conformidad el presente jurado.

Nuevo Chimbote, 12 de Agosto del 2019


Dr. Víctor Castro Zavaleta
Presidente


Dra. Elza Aguirre Vargas


Dr. Cesar Moreno Rojo

DEDICATORIA

A Dios por darme vida, paciencia y sabiduría para sobrellevar cada adversidad; y sobre todo por permitirme llegar a este momento con salud y poder alcanzar este gran sueño.

A mis padres, Marleni Vigo y Américo Aurora quienes han sabido formarme y guiarme con buenos hábitos y valores; y me han acompañado incondicionalmente en todo mi camino profesional.

A mis hermanos, Edward y Piero, quienes con su confianza, aliento y apoyo incondicional, forman parte de mis logros. Por compartir conmigo mis alegrías y tristezas.

Aurora Vigo Yaquelin Yuliana

DEDICATORIA

A Dios por permitirme vencer los obstáculos
y lograr mis objetivos sin perder la fe.

su apoyo económico y emocional; a mi madre
Gloria por su amor y paciencia infinita, y a
ambos por inculcarme valores sólidos, por
cada día confiar y creer en mí.

A mi padre
Alejandro por

A mis hermanas por estar siempre a mi lado
brindándome su apoyo, a mis hermanos por
motivarme a seguir mis metas, y a ambos por
confiar en mí.

Alza Paredes Antonella Guiny

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Santa y a todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por todos sus conocimientos brindados, de manera especial a la Dra. Elza Aguirre Vargas por su asesoría, brindándonos su apoyo y orientación para llevar a cabo la ejecución exitosa de nuestra tesis.

A nuestro Co-asesor Dr. Gilbert Rodríguez Paucar, por habernos brindado parte de sus conocimientos científicos, además de su orientación y apoyo para la culminación de nuestra tesis.

Al Ingeniero Lenin Palacios por siempre guiarnos y ayudarnos en todo este camino, le estaremos siempre agradecidos.

A la srta. Silvia Huacacolqui Minaya; responsable de la biblioteca especializada de agroindustria, por brindarnos el material bibliográfico para el desarrollo de nuestra tesis.

A nuestros padres por su amor y abnegado apoyo económico y moral, lo cual nos ha permitido alcanzar este gran logro el cual también es suyo. Hacemos extenso nuestro más sincero agradecimiento.

Los autores

ÍNDICE GENERAL

I.	Introducción.....	16
II.	Revisión bibliográfica.....	18
2.1.	Alcachofa (<i>cynara scolymus</i>)	18
2.1.1.	Origen y descripción botánica	18
2.1.2.	Taxonomía.....	20
2.1.3.	Composición química	20
2.1.4.	Industria de la alcachofa.....	21
2.1.5.	Variedades.....	23
2.2.	Polifenoles	25
2.2.1.	Estructura	25
2.3.	Antioxidantes.....	26
2.3.1.	Radicales libres.....	27
2.3.2.	Estrés oxidativo	27
2.3.3.	Capacidad antioxidante	28
2.3.3.1.	Métodos de evaluación	29
2.3.4.	Mecanismos de acción de la capacidad antioxidante.....	32
2.4.	Secado	33
2.4.1.	Definición.....	33
2.4.1.1.	Secado de alimentos	33
2.4.2.	Velocidad de secado	34
2.4.3.	Cinética de secado	35
2.4.4.	Tipos de secado	36
2.4.4.1.	Secado en bandeja	36
2.4.4.2.	Liofilización	36
2.4.4.3.	Secado solar.....	37
2.5.	Harina de brácteas de alcachofa	37
2.5.1.	Composición química	38
III.	Materiales y métodos.....	39
3.2.	Lugar de ejecución.....	39
3.3.	Materiales	39
3.3.1.	Materia prima	39
3.3.2.	Materiales de laboratorio.....	39
3.3.3.	Reactivos.....	40
3.3.4.	Equipos.....	41
3.3.5.	Otros materiales	42
3.4.	Métodos.....	42

3.4.1.	Diagrama de flujo para la obtención de harina de brácteas de alcachofa .	43
3.4.2.	Descripción del proceso para la obtención de harina de brácteas de alcachofa.....	44
3.4.3.	Características fisicoquímicas:	49
3.4.3.2.	Determinación de cenizas	49
3.4.3.3.	Determinación de proteínas totales.....	50
3.4.3.4.	Determinación de fibra cruda	51
3.4.3.5.	Determinación de índice de solubilidad en agua (ISA)	51
3.4.3.6.	Determinación de capacidad de retención de agua (CRA)	52
3.4.3.7.	Medición de color – colorimetría	52
3.4.4.	Descripción de proceso de extracción y preparación de muestras	53
3.4.5.	Determinación del contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante	54
2.1.6.	Diseño experimental	64
IV.	Resultados y discusiones.....	68
4.2.	Caracterización y cinética de secado de la materia prima.....	68
4.2.1.	Análisis químico proximal	68
4.2.2.	Análisis físico	70
4.2.2.1.	Colorimetría	70
4.2.3.	Cinética de secado	72
4.3.	Caracterización de la harina de brácteas de alcachofa.....	81
4.3.1.	Análisis químico proximal	81
4.3.2.	Análisis físico	86
4.3.2.1.	Colorimetría	86
4.3.3.	Índice de solubilidad en agua (ISA)	87
4.3.4.	Capacidad de retención de agua (CRA).....	91
4.3.5.	Determinación de polifenoles totales.....	95
4.3.6.	Determinación de capacidad antioxidante	109
4.3.6.1.	Método DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)	109
4.3.6.2.	Método FRAP	128
V.	Conclusiones.....	138
VI.	Recomendaciones	139
VII.	Referencias bibliográficas	140
VIII.	Anexos	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción botánica de la planta de alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>)	19
Tabla 2. Taxonomía de la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>)	20
Tabla 3. Calibre de alcachofa según categoría	22
Tabla 4. Calibre de materia prima para corazones de alcachofa	23
Tabla 5. Calibre de materia prima para fondos de alcachofa	23
Tabla 6. Análisis químico -bromatológico de las brácteas de <i>Cynara scolymus</i> “Alcachofa”	38
Tabla 7. Factores y/o variables independientes del diseño experimental	65
Tabla 8. Variables Dependientes o variables respuestas.....	65
Tabla 9. Diseño Estadístico para el estudio de la Harina de Brácteas de Alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>)	66
Tabla 10. Análisis químico proximal de las brácteas de alcachofa	68
Tabla 11. Valores de colorimetría de las brácteas de alcachofa	70
Tabla 12. Análisis químico proximal de la harina de brácteas de alcachofa	81
Tabla 13. Valores de colorimetría de la harina de brácteas de alcachofa	86
Tabla 14. Índice de solubilidad (ISA) de la harina de brácteas de alcachofa.....	88
Tabla 15. Capacidad de retención de agua (CRA) en harina de brácteas de alcachofa ..	91
Tabla 16. Contenido de Polifenoles Totales en harina de brácteas de alcachofa (<i>Cynara</i> <i>scolymus</i>) variedad Green Globe e Imperial Star; obtenidas por secado en bandeja, liofilización y secado solar	95
Tabla 17. Análisis de Varianza para la cuantificación de Polifenoles Totales.....	99
Tabla 18. Pruebas de múltiple rangos para el contenido de polifenoles. Variedades de Alcachofa.....	100
Tabla 19. Pruebas de múltiple rangos para el contenido de polifenoles. Tipo de secado	102
Tabla 20. Determinación de Capacidad antioxidante por el método DPPH en harina de brácteas de alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) variedad Green Globe e Imperial Star; obtenidas por secado en bandeja, liofilización y secado solar	110
Tabla 21. Análisis de Varianza para capacidad antioxidante por el método DPPH.....	114
Tabla 22. Pruebas de múltiple rangos para capacidad antioxidante (Método DPPH) Variedades de Alcachofa.....	115

Tabla 23. Pruebas de múltiple rangos para capacidad antioxidante (Método DPPH) Tipo de secado	117
Tabla 24. Determinación de Capacidad antioxidante por el método DPPH en harina de brácteas de alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) variedad Green Globe e Imperial Star; obtenidas por secado en bandeja, liofilización y secado solar	120
Tabla 25. Análisis de Varianza para capacidad antioxidante por el método DPPH- Metodología propuesta por Plank <i>et al</i> (2012).....	122
Tabla 26. Pruebas de múltiple rangos para capacidad antioxidante (Método DPPH) Variedades de Alcachofa.....	123
Tabla 27. Pruebas de múltiple rangos para capacidad antioxidante (Método DPPH) ..	125
Tabla 28. Determinación de capacidad antioxidante por método FRAP en harina de brácteas de alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) variedad Green Globe e Imperial Star; obtenidas por secado en bandeja, liofilización y secado solar	129
Tabla 29. Análisis de Varianza para capacidad antioxidante por el método FRAP	132
Tabla 30. Pruebas de múltiple rangos para capacidad antioxidante (Método FRAP) Variedades de Alcachofa.....	133
Tabla 31. Pruebas de múltiple rangos para capacidad antioxidante (Método FRAP) ..	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de Alcachofa Fuente: Flores y Cruz, 2010).	18
Figura 2. Descripción física de la alcachofa.....	18
Figura 3. Alcachofa Var. Imperial Star	24
Figura 4. Alcachofa Var. Green Globe	25
Figura 5. Estructura del DPPH antes y después de la reacción con el antioxidante.....	30
Figura 6. Reacción química que describe la producción de Fe ⁺² (forma ferrosa) a partir de la reducción de Fe ⁺³ (forma férrica) presente en el complejo TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina)	31
Figura 7. Velocidad de secado.....	35
Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de brácteas de alcachofa	43
Figura 9. Esquema experimental del presente estudio	67

INDICE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curva de secado – Secado en bandeja	73
Gráfica 2. Curva de secado – Secado Solar.....	74
Gráfica 3 Curva de velocidad de secado – Secado en bandeja.....	76
Gráfica 4. Curva de velocidad de secado – Secado en bandeja.....	77
Gráfica 5. Rendimiento de la harina obtenida por diferentes tipos de secado	83
Gráfica 6. Composición químico proximal de la harina obtenida por diferentes tipos de secado	85
Gráfica 7. Medias y 95% de Tukey HSD para el factor variedad	101
Gráfica 8. Medias y 95% de Tukey HSD para el factor TIPO DE SECADO.....	103
Gráfica 9. Interacción entre los factores, variedad y tipo de secado, frente al contenido polifenólico.....	104
Gráfica 10. Medias y 95% de Tukey HSD para el factor VARIEDAD.....	116
Gráfica 11. Medias y 95% de Tukey HSD para el factor TIPO DE SECADO.....	118
Gráfica 12. . Interacción entre los factores (variedad y tipo de secado) frente a la capacidad antioxidante – Ensayo DPPH	118
Gráfica 13. Medias y 95% de Tukey HSD para el factor VARIEDAD.....	124
Gráfica 14. Medias y 95% de Tukey HSD para el factor TIPO DE SECADO.....	125
Gráfica 15. Interacción entre los factores, variedad y tipo de secado, frente a la capacidad antioxidante – Ensayo DPPH	126
Gráfica 16. Medias y 95% de Tukey HSD para el factor VARIEDAD.....	134
Gráfica 17. Medias y 95% de Tukey HSD para el factor TIPO DE SECADO.....	135
Gráfica 18. Interacción entre los factores, variedad y tipo de secado, frente a la capacidad antioxidante – Ensayo FRAP	136

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Proceso de obtención de harina de brácteas de alcachofa	156
Anexo 2. Balance de masa para el acondicionamiento de la alcachofa	159
Anexo 3. Rendimiento en el proceso de secado	159
Anexo 4. Análisis fisicoquímico de la materia prima y harina de brácteas de alcachofa var. Green globe y var. Imperial star	160
Anexo 5. Descripción del proceso de extracción.....	165
Anexo 6. Cuantificación de polifenoles totales	167
Anexo 7. Cuantificación de capacidad antioxidante - método DPPH	170
Anexo 8. Cuantificación de capacidad antioxidante - método FRAP	176
Anexo 9. Cinética de secado	178
. Anexo 10. Análisis de varianza del índice de solubilidad en agua.....	193
Anexo 11. Análisis de varianza de capacidad de retención de agua.....	195
Anexo 12. Resultados de polifenoles totales	197
Anexo 13. Resultados de capacidad antioxidante - método DPPH (M. Conv)	198
Anexo 14. Resultados de capacidad antioxidante - Método DPPH (M. Plank)	199
Anexo 15. Resultados de capacidad antioxidante - método FRAP	200
Anexo 16. Resultados de análisis de fibra cruda- laboratorio COLECBI.....	201

RESUMEN

Los subproductos de la alcachofa representan más del 70% del fruto y hoy en día no son aprovechados en la industria alimentaria. En la presente investigación se obtuvo harina a partir de las brácteas de *Cynara scolymus* “alcachofa” y se determinó sus características físico-químicas y su poder antioxidante, con la finalidad de que se le dé un valor agregado pudiendo ser empleado como ingrediente o materia prima para el desarrollo de nuevos productos.

Para el análisis, se obtuvo alcachofa recién cosechada y procedente del distrito de Santa, provincia Del Santa y región Ancash, se realizó un acondicionamiento de la materia prima para obtener los subproductos (brácteas) y posteriormente la harina. Para los ensayos se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) categórico con arreglo factorial 3x2, con una réplica; donde el primer factor (2 niveles) correspondió a la variedad de materia prima (Green Globe e Imperial Star) y el segundo factor (3 niveles) correspondió al tipo de secado (Secado en bandeja, liofilización y secado solar). Cabe indicar que la densidad de carga en los tres tipos de secado evaluados fue la misma (1.6 Kg/m²).

La determinación y cuantificación de la capacidad antioxidante se realizó por dos métodos: DPPH y FRAP ($\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$), mientras que la determinación de compuestos polifenólicos totales (PT) se realizó por el método Folin-Ciocalteu ($\text{mgEqAG}/\text{gmuestra}$). El análisis realizado arrojó que el tipo de secado y las variedades de alcachofa presentan un efecto significativo sobre el contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante de la harina de brácteas de alcachofa. Se obtuvo que las harinas obtenidas por liofilización presentaron un mayor poder antioxidante, la harina de la var. Imperial Star presentó un mayor valor de contenido polifenólico y capacidad antioxidante por el método FRAP, siendo de $22.497\text{mgEqAG}/\text{gmuestra}$ y $19897.663\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$, respectivamente; mientras que la var. Green Globe presentó un mayor valor de capacidad antioxidante por el método DPPH (M. Conv) y DPPH (M. propuesto por Plank, 2012), siendo de 79792.058 y $96555.789\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$, respectivamente.

Los resultados obtenidos demuestran que las brácteas de alcachofa son una rica fuente de antioxidantes por ello se sugiere su aprovechamiento en la formulación de nuevos productos agroindustriales.

Palabras claves: Alcachofa (*Cynara scolymus*), brácteas, capacidad antioxidante, compuestos polifenólicos, DPPH, FRAP.

ABSTRACT

The byproducts of the artichoke represent more than 70% of the fruit and today are not used in the food industry. In the present investigation flour was obtained from the bracts of *Cynara scolymus* "artichoke" and its physical-chemical characteristics and its antioxidant power were determined, with the purpose of giving it an added value, being able to be used as an ingredient or raw material for the development of new products.

For the analysis, a freshly harvested artichoke was obtained and from the Santa district, Del Santa province and Ancash region, a conditioning of the raw material was performed to obtain the by-products (bracts) and later the flour. For the trials, a completely randomized design (DCA) with a 3x2 factorial arrangement was used, with a replica; where the first factor (2 levels) corresponded to the variety of raw material (Green Globe and Imperial Star) and the second factor (3 levels) corresponded to the type of drying (tray drying, lyophilization and solar drying). It should be noted that the density of load in the three types of dried evaluated was the same (1.6 Kg / m²).

The determination and quantification of antioxidant capacity was performed by two methods: DPPH and FRAP (umolEqTrolox/100g sample), while the determination of total polyphenolic compounds (PT) was performed by the Folin-Ciocalteu method (mgEqAG/gsample). The analysis carried out showed that the type of drying and artichoke varieties have a significant effect on the total polyphenol content and the antioxidant capacity of the artichoke bracts flour. It was obtained that the flours obtained by lyophilization showed a greater antioxidant power, the flour of the var. Imperial Star presented a higher value of polyphenolic content and antioxidant capacity by the FRAP method, being 22,497mgEqAG/gsample and 19897.663umolEqTrolox/100g sample, respectively; while the var. Green Globe presented a higher value of antioxidant capacity by the method DPPH (M. Conv) and DPPH (M. Plank), being 79792.058 and 96555.789umolEqTrolox/100gsample, respectively.

The results obtained show that artichoke bracts are a rich source of antioxidants, which is why their use in the formulation of new agro-industrial products is suggested.

Keywords: Artichoke, bracts (*Cynara scolymus*), antioxidant capacity, polyphenolic compounds, DPPH, FRAP.

I. INTRODUCCIÓN

La alcachofa (*Cynara scolymus*) es considerada como uno de los cultivos de producción y de agroexportación más importantes en el Perú, debido a la gran demanda existente en el mercado exterior, especialmente en Estados Unidos, España, Francia y Alemania. (AgroDataPerú, 2018).

La parte comestible de esta planta se limita a las brácteas internas y al receptáculo; mientras que las brácteas externas, tallo y hojas son descartados por la industria, y representan aproximadamente entre el 80 y 85% de la biomasa total del vegetal, suponen además una fuente importante de compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes (Pandino *et al.*, 2013).

Diversos estudios afirman que los subproductos de alcachofa son ricos en compuestos bioactivos tales como fibra dietética, inulina y compuestos fenólicos (Ruiz-Cano *et al.*, 2014). Los ácidos fenólicos y flavonoides, los cuales son potentes antioxidantes, actúan protegiendo al organismo de la acción de los radicales libres causantes de los procesos de envejecimiento y otras enfermedades (Gutiérrez Zavaleta *et al.*, 2007).

Recientes investigaciones han demostrado que las brácteas de alcachofa pueden ser aprovechadas en forma adecuada elaborándose harina a partir de estos subproductos; sin embargo, los diferentes métodos de secado utilizados podrían generar diversos efectos sobre su capacidad antioxidante.

Aunque se puede asumir que el secado por liofilización mantendrá en mayor medida la capacidad antioxidante de las brácteas de alcachofa, no existe un registro de cuanta es la proporción de variación en relación a otros tipos de secado. Por lo tanto, el objetivo general del presente estudio fue evaluar el efecto del secado en bandeja, liofilización y

secado solar en la capacidad antioxidante de la harina de brácteas de alcachofa (*Cynara scolymus*) var. Green Globe y var Imperial Star.

Entre los objetivos específicos fijados tenemos: caracterizar fisicoquímicamente la alcachofa (*Cynara scolymus*) var. Green Globe y var Imperial Star; determinar la capacidad antioxidante en las brácteas de alcachofa; evaluar la cinética de secado en bandejas y la cinética de secado solar; obtener harina de brácteas de alcachofa (*Cynara scolymus*) var. Green Globe y var. Imperial Star por los métodos de secado en bandeja, liofilización y secado solar; evaluar la capacidad antioxidante de la harina de brácteas de alcachofa obtenidas; identificar y cuantificar el método de secado más adecuado para obtener harina de brácteas de alcachofa en función a su capacidad antioxidante; y finalmente evaluar fisicoquímicamente la harina de brácteas de alcachofa (*Cynara scolymus*) var. Green Globe y var. Imperial Star.

Es importante destacar que esta información resulta útil al abrirse nuevos mercados destinados a la transformación de brácteas de alcachofa en harina, brindando valor agregado a los subproductos generados durante la elaboración de conservas de alcachofa y mejorando a la vez, los beneficios económicos de las empresas.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. ALCACHOFA (*Cynara scolymus*)

2.1.1. Origen y descripción botánica

La alcachofa (*Cynara Scolymus*) es de origen Mediterráneo y noroeste de África, Egipto. Seguidamente fue introducido y cultivado en numerosos países templados en todo el mundo (Castro *et al.*, 2013).

Fueron árabes quienes desde Marruecos la llevaron e introdujeron a España, donde recibió el nombre de alcachofa debido a una derivación fonética del árabe Al Kharshuf. Por su parte, llegó al continente Americano por emigrantes franceses quienes la llevaron a Lousiana, Estados Unidos, mientras que los migrantes italianos, luego de la primera guerra mundial, la introdujeron en Argentina desde allí se distribuyó hacia algunos países de Sur América como Perú y Chile.

Las plantas de alcachofa en todo el mundo, pueden alcanzar hasta 1m de altura; y pueden ser anuales o perennes. (Flores y Cruz, 2010).



Figura 1. Planta de Alcachofa

Fuente: Flores y Cruz, 2010.

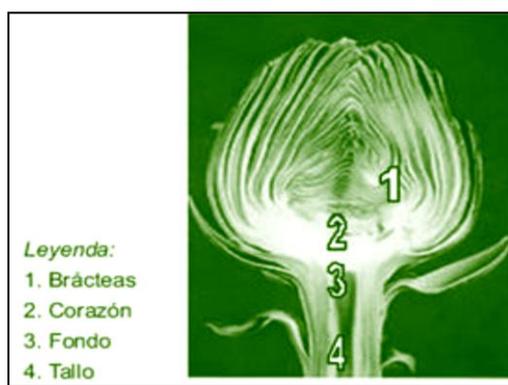


Figura 2. Descripción física de la alcachofa.

Fuente: Ministerio de Agricultura y riego, 2019.

Están compuestas por hojas, de hasta 1 m de longitud, plegadas entre si alrededor de un tallo de cerca de 50cm de longitud. Su color característico es el verde, aunque por variedades podemos encontrar algunos con florescencias moradas en las puntas. (Laza y Laza, 2002). Posee flores tubulares, azules o purpuras, agrupadas en una cabeza terminal, recubiertas de numerosas brácteas coriáceas, imbricadas. Fruto aquenio con vilano piloso (Fonnegra y Jiménez, 2007).

Tabla 1:

Descripción botánica de la planta de alcachofa (*Cynara scolymus*)

Órgano	Característica
Raíz	Adaptable a distintos tipos de suelo, es vigorosa y puede alcanzar hasta un metro de profundidad.
Tallo	Grueso y corto. En sus ramificaciones, se crean cabezas secundarias, terciarias y cuaternarias ello depende del cultivador.
Hojas	De forma lobular, grandes, panitipaetidas y pubescentes en el envés.
Flores	Estas dispuestas en un receptáculo carnosos con carnosas brácteas imbricadas formando una inflorescencia y hermafroditas, de color azul-violeta y forma de tubos.
Fruto	Aquenio con “papusplumoso”, que es conocido como la semillas

Fuente: Flores y Cruz, 2010.

2.1.2. Taxonomía

La alcachofa es una planta herbácea, perteneciente al género *Cynara* de la familia Compositae, cuyo nombre científico *Cynara* proviene del latín que significa ceniza, y es asignado por el color ceniciento de sus brácteas; el epíteto *scolymus* es un término griego y que designa a las plantas espinosas. En la tabla 2, se muestra la taxonomía de *Cynara Scolymus*.

Tabla 2.

Taxonomía de la alcachofa (*Cynara scolymus*)

<i>Taxonomía</i>	
<i>Nombre científico</i>	<i>Cynara scolymus</i>
<i>Reino</i>	<i>Plantae</i>
<i>División</i>	<i>Magnoliophyta</i>
<i>Clase</i>	<i>Magnoliopsida</i>
<i>Subclase</i>	<i>Asteridae</i>
<i>Orden</i>	<i>Asterales</i>
<i>Familia</i>	<i>Compositae</i>
<i>Género</i>	<i>Cynara</i>
<i>Especie</i>	<i>Cynara scolymus L</i>

Fuente: Flores y Cruz, 2010.

2.1.3. Composición Química

Diversos estudios afirman que las brácteas, hojas y corazones de alcachofa son ricos en polifenoles y muestran una alta actividad antioxidante. Estudios realizados por Coniu, *et al.* (2006) y Fratianni, Tucci, De Palma, Nazzaro (2007), demuestran que las brácteas de alcachofa de ciertas variedades poseen concentraciones importantes de compuestos fenólicos con actividad antioxidante, al igual que las hojas, aunque con ciertas

diferencias cuantitativas de concentración. Coinu *et al.* (2006), sostiene que los compuestos fenólicos presentes en las brácteas de alcachofa poseen propiedades beneficiosas para el organismo, por ende pueden ser utilizadas como un recursos alternativo en las aplicaciones farmacéuticas tradicionales, las cuales suelen utilizar extractos de las hojas de alcachofa. Entre los principales compuestos fenólicos encontrados en las brácteas de alcachofa fueron 1.5-Odicafeilquínico (cinarina), seguido del ácido clorogénico y la 7-O-glucuronida.

Según Mabeau *et al.* (2005), los compuestos fenólicos más representativos en la alcachofa (*Cynara scolymus L.*) son cinarina, narirutina y ácido clorogénico (ácido 3-Cafeilquinico). El ácido hidroxicinámico también se ha encontrado en grandes cantidades en un extracto de las partes comestibles de alcachofa según Alamanni y Cossu (2003).

Otros compuestos presentes en las partes comestibles de la alcachofa son isorhoifolina, narirutina, ácido clorogénico, ácido cafeico y cinarósido (Alamanni y Cossu, 2003; Wang *et al.*, 2003; Schutz *et al.*, 2004). Las diferencias en los perfiles polifenólicos de diversos estudios se debe a las diferencias en el proceso de extracción (Mabeau *et al.*, 2005).

2.1.4. Industria de la alcachofa

La alcachofa (*Cynara scolymus*) es considerada como uno de los cultivos de producción y de agroexportación importantes en el Perú, debido a la gran demanda existente en el mercado exterior, especialmente en Estados Unidos, España, Francia y Alemania.

El Perú se ha consolidado como el mayor exportador de conservas de alcachofa a Estados Unidos, actualmente las exportaciones a este país representan el 75% del total del valor FOB, seguido de España con el 14%, Francia y Alemania con 3%. La empresa que lidera las exportaciones de alcachofa en el Perú es Sociedad Agrícola Virú S.A., esta empresa es una de las pioneras en la exportación de alcachofa en conserva. En el año 2017 presentó US\$ 36 831 en exportación de alcachofa en conserva, seguido de la empresa Danper Trujillo con US\$ 24 671, Danper Arequipa S. A. C. con US\$ 16 379 y Alsur Perú S. A. C. con 10 380 US\$ (AgrodataPerú, 2018).

La alcachofa es exportada como producto fresco, congelado y en conserva. Son utilizados como producto final los corazones y fondos de alcachofas, las cuales son procesadas y envasadas en salmuera y/o marinadas, tomando en cuenta las especificaciones del cliente. Las presentaciones de alcachofa en conserva que prefieren los clientes son los frascos de vidrio de 460 ml de capacidad (1 lb.) y tarros de hojalata aluminizada de 1 Kg. y 3 Kg., mientras que en el caso de alcachofa fresca se maneja como empaque final cajas de 20-23lb con calibres de 12, 15, 18, 24 cabezuelas, el tamaño está en función del diámetro ecuatorial de la cabeza floral (SIICEX, 2018).

Tabla 3.

Calibre de alcachofa según categoría

Tamaño	Diámetro (cm)
Categoría I	5 - 7
Categoría II	7 - 9
Categoría III	9 - 11

Fuente: SIICEX, 2018.

Tabla 4.

Calibre de materia prima para corazones de alcachofa

Categoría	Diámetro ecuatorial (cm)
Extra	3.5 a 5
Categoría I	5.1 a 8

Fuente: SIICEX, 2018.

Tabla 5.

Calibre de materia prima para fondos de alcachofa

Categoría	Diámetro ecuatorial (cm)
Extra	7 a 9
Categoría I	9.1 - 11
Categoría II	9.1 - 11

Fuente: SIICEX, 2018.

Durante el proceso productivo para la obtención de conservas de alcachofa, se obtienen como subproducto las brácteas de la alcachofa que constituyen el 60% del total del fruto, siendo consideradas estas como residuo no aprovechable más que para el consumo animal. Sin embargo estudios recientes demuestran la presencia importantes compuestos fenólicos con actividad antioxidante en las brácteas de alcachofa, pudiendo ser utilizados como un recurso alternativo en las aplicaciones farmacéuticas tradicionales (Coinu *et al.*, 2006).

2.1.5. Variedades

Anteriormente las variedades de alcachofa tenían una denominación geográfica, es decir, eran denominadas según su lugar de origen, así pues tenemos a las variedades: Blanca de Tudela, madrileña, Violeta de Provenza, Camus de Bretaña, Romanesco, Espinoso Sardo, Californiana

etc. (Casanoves, 1997). Sin embargo Robles (2001) realizó una clasificación de las variedades de alcachofa desde un punto de vista económico productivo con fines de exportación, clasificando a las variedades en: variedades semiperennes (Romanesco en Italia, Violetto di toscana en Italia, Macedu en Italia, Blanca de Tudela en España o Petit Verd en Francia, Criolla en Perú, etc), variedades anuales (Imperial Star en Estados Unidos, Emerald en Estados Unidos, Greem Globe Improved en Estados Unidos, Desert Globe en Estados Unidos, etc.), variedades multiplicadas por semillas (Opal, híbrido F1, Concertó, híbrido F1, Tempo, híbrido F1, Madrigal, híbrido F1, etc.) y variedades de importancia económica.

2.1.5.1. Imperial Star:

Esta variedad de alcachofa posee un porte alto y baja capacidad de rebrotación el primer año e intensa el segundo año. Posee hojas de color verde, de dimensiones medias; brácteas exteriores de color verde claro, algunas inferiores pigmentadas de violeta en su base, y brácteas internas de color blanco verdoso. Posee pedúnculo de un grosor y longitud medios, y una producción media de 8 a 15 capítulos por planta. (Departamento de Agricultura, Aragón; 1999).



Figura 3. Alcachofa Var. Imperial Star.

Fuente: Cárdenas, 2016.

2.1.5.2. Green Globe

Esta variedad de alcachofa es una de las más cultivadas en el Perú; posee un tamaño grande, forma globosa, color verde y sin espinas, además de poseer también un alto grado de reproducción (MINAG, 2008). Crece en torno a 2 metros de altura y su fruto dulce y de textura blanda, se cultiva principalmente en Estados Unidos (García, 2014).



Figura 4. Alcachofa Var. Green Globe

Fuente: Cárdenas, 2016.

2.2. POLIFENOLES

Los polifenoles se caracterizan por ser antioxidantes activos y abundantes, especialmente, en tejidos vegetales. Estos antioxidantes pertenecen a un grupo heterogéneo de moléculas que tienen la misma característica de poseer en su estructura varios grupos bencénicos, sustituidos por funciones hidroxílicas (Ortiz, 2011, citado por Rodríguez, 2017).

2.2.1. Estructura

Los compuestos polifenólicos forman y constituyen un grupo muy numeroso de sustancias que incluyen familias de compuestos con estructuras diversas, desde algunas relativamente simples como los

derivados de ácidos fenólicos, hasta moléculas poliméricas de relativamente elevada masa molecular como los taninos hidrolizables y condensados (Tomas, 2003).

Los compuestos fenólicos químicamente son grupos variados, pudiendo ser moléculas sencillas tales como los ácidos fenólicos y polímeros complejos tales como lignina y los taninos condensados. (Martín, 2018). Son un grupo de compuestos químicos que en su estructura presentan anillos aromáticos con uno o más sustituyentes hidroxilos, generalmente como glucósidos. Limitadamente polares, con tendencia a ser solubles en agua, pudiendo ser divisados por el color verde, purpura, azul o negro que producen cuando se le añade una solución acuosa de cloruro férrico al 1%. Dada la naturaleza aromática de estos compuestos fenólicos, muestra intensa absorción en la región UV del espectro, siendo este método espectral el especial para su identificación y análisis cuantitativo. (Martínez, 2002).

2.3. ANTIOXIDANTE

Los antioxidantes son nutrientes capaces de neutralizar la acción oxidante de los radicales libres, sin perder su estabilidad electroquímica. Según su modo de acción los antioxidantes se clasifican como bloqueadores de radicales libres, quelantes de iones metálicos y como eliminadores de oxígeno (Barja, 2014).

Los compuestos antioxidantes tienen la capacidad de inhibir o interrumpir las reacciones de transformación que causan daños a las biomoléculas. En los últimos años los antioxidantes naturales provenientes de plantas tales como, α -tocoferol (vitamina E), ácido ascórbico (vitamina C), carotenoides, glutatión, y

flavonoides los cuales son generalmente empleados en la industria de alimentos, farmacéutica y en medicina (Karre, López y Getty, 2013).

2.3.1. Radicales Libres

Es una entidad química de átomo o molécula que presenta un electrón desapareado en el orbital externo y puede tener carga eléctrica positiva, negativa o neutra. Una molécula se convierte en radical libre al perder o ganar un electrón. Son átomos por lo general de oxígeno, altamente reactivos e inestables; se les denomina más propiamente “especies reactivas de oxígeno” (ERO), para diferenciarlos de las “especies reactivas de nitrógeno” (ERN), que comprende al óxido nítrico y al dióxido nítrico (Rodríguez, 2014).

Los radicales libres al poseer un electrón libre presentan alta reactividad, por consiguiente buscan captar electrones de las moléculas estables para alcanzar estabilidad electroquímica; esta reacción causa daños a nivel molecular. (Caisahuana, 2012).

2.3.2. Estrés oxidativo

El estrés oxidativo/nitrosativo es un proceso en el cual se producen especies reactivas de oxígeno y especies reactivas de nitrógeno. Es un proceso degenerativo que puede ser importante mediador del daño a estructuras celulares, incluyendo lípidos y membranas, proteínas y ADN. (Giurfa y Oblitas, 2017).

Núñez (2015), mencionan que el daño o estrés oxidativo es la exposición de la materia viva a diversas fuentes que producen una ruptura del equilibrio de las sustancias o factores prooxidantes y los

mecanismos antioxidantes encargados de eliminar dichas especies químicas, ya sea por un déficit de estas defensas o por un incremento exagerado de la producción de especies reactivas del oxígeno.

2.3.3. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante es la cuantificación de un compuesto antioxidante, que determina la capacidad de este para impedir que su sustrato se oxide. (Caisahuana, 2012).

Las técnicas usadas para medir la capacidad antioxidante total de las muestras biológicas valoran la habilidad de los compuestos antioxidantes presentes en la muestra para reducir las especies oxidantes introducidas (iniciador) en el sistema de ensayo (Quintanar y Calderón, 2009).

“La medición de la capacidad antioxidante en los alimentos provee información acerca de la resistencia a la oxidación, la contribución de sustancias antioxidantes, o la actividad antioxidante que pueden presentar dentro del organismo cuando se ingiere” (Huang, Ou, y Prior, 2005; Serrano, Goñi y Saura-Calixto, 2007).

La naturaleza y la concentración de los compuestos naturales presentes en los alimentos determinaran su capacidad antioxidante. Es decir que, el contenido de compuestos antioxidantes difiere entre un alimento y otro, generando ello diferencia en su capacidad para prevenir enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) asociadas al estrés oxidativo. (Morillas y Delgado, 2012).

2.3.3.1. Métodos de evaluación

Dependiendo del mecanismo de reacción, los métodos para medir la capacidad antioxidante se clasifican en dos grupos: métodos con reacción HAT, basados en la transferencia de átomos de hidrógeno y métodos con reacción SET basados en la transferencia de electrones (ET) (Huang *et al.*, 2005).

En los ensayos basados en mecanismos de reacción HAT, antioxidante y sustrato compiten por radicales peroxilo que son generados térmicamente a través de la descomposición de compuestos azoicos. En comparación, los ensayos basados en mecanismos de reacción SET miden la capacidad de un antioxidante en la reducción de un oxidante que cambia de color cuando se reduce; la intensidad en el cambio de color durante la reacción se correlaciona con las concentraciones de antioxidante de la muestra a evaluar (Zuleta, Esteve y Frígola, 2009).

a. Método DPPH (1.1-difenil-2-picril-hidrazilo)

El método determina la actividad antioxidante de los alimentos y bebidas por reacción con el radical estable DPPH (Plank *et al.*, 2012). El método fue desarrollado por Brand-Williams *et al.* (1995), y se fundamenta en la reducción de la absorbancia del radical DPPH por antioxidantes, medido a 515nm.

El procedimiento original ha sido adaptado y modificado por muchos laboratorios, así pues el método desarrollado

por Plank *et al.* (2012) maximiza la eficiencia de extracción de antioxidantes al agregar la solución estándar de DPPH directamente a la muestra, de este modo los compuestos antioxidantes conforme son extraídos reaccionan inmediatamente con la solución DPPH. Esta reacción genera la viración del DPPH de color púrpura a amarillo, los cambios de absorbancia se miden a la longitud de onda de 517nm. Es importante destacar que dicha viración se da cuando la absorptividad molar del radical DPPH a 517 nm disminuye de 9660 a 1640 $\mu\text{M}^{-1} \text{cm}^{-1}$, cuando el electrón impar del radical DPPH se aparea con el electrón donador de un antioxidante y un átomo de hidrógeno (equivalente de hidruro), formándose el reducido DPPH-H. (Plank *et al.*, 2012).

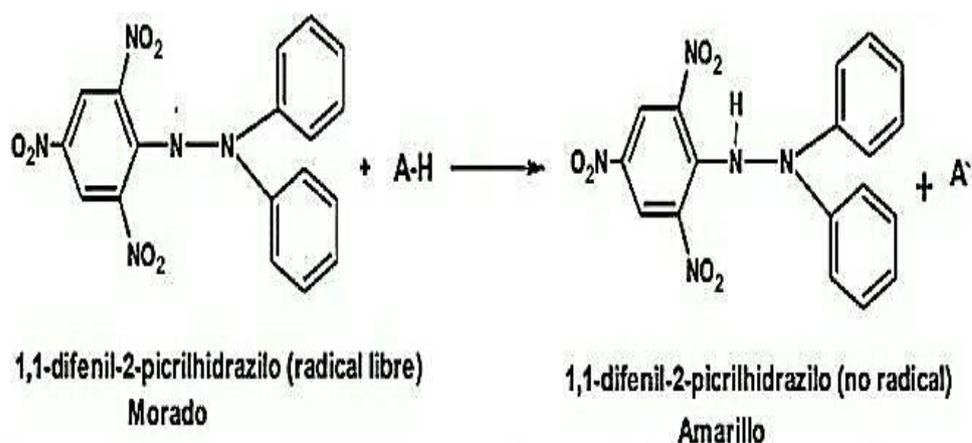


Figura 5. Estructura del DPPH antes y después de la reacción con el antioxidante

Fuente: Alan, Bristi y Rfiqzzaman, 2012.

b. Método FRAP (Ferric in reducing antioxidant power)

El análisis de FRAP fue desarrollado por Benzie y Strain (1996) para medir la actividad antioxidante total y se basa en la reducción del hierro férrico (Fe^{3+}) presente en el complejo 2, 4,6-tripiridil-s-triazina (TPTZ) hasta la forma ferrosa (Fe^{2+}) por acción de compuestos antioxidantes presentes en la muestra (Benzie y Strain, 1996; Pulido-Bravo y Saura-Calixto, 2000).

Cuando se produce la reducción se genera un cambio en la tonalidad de la mezcla de reacción, virando de púrpura claro a morado intenso, cuya intensidad es proporcional a la capacidad reductora de la muestra, y la absorbancia se puede medir en la longitud de onda de 595 nm (Benzie y Strain, 1999; Antolovich *et al.*, 2002).

Es importante destacar que el método FRAP no evalúa la capacidad neutralizadora de radicales libres de la muestra, sino su capacidad reductora por transferencia de electrones (Mercado *et al.*, 2013).

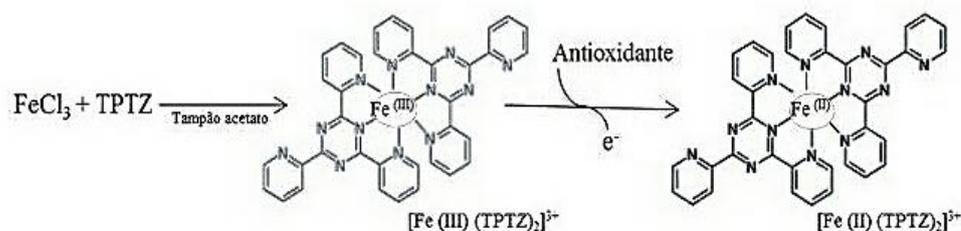


Figura 6. Reacción química que describe la producción de Fe^{+2} (forma ferrosa) a partir de la reducción de Fe^{+3} (forma férrica) presente en el complejo TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina)

Fuente: Urrea-Victoria *et al.*, 2016.

2.3.4. Mecanismos de acción de la capacidad antioxidante

En general los antioxidantes pueden actuar previniendo la formación de ROS (Especies reactivas del oxígeno), interceptando el ataque de ROS, secuestrando los metales reactivos, convirtiéndolos en menos reactivos; facilitando la reacción del daño causado por ROS y manteniendo un ambiente favorable para la actuación de otros antioxidantes (Agudo, 2012).

Según Quintanar y Calderón (2009) para hacer frente al daño oxidativo el organismo posee mecanismos homeostáticos específicos, afines, numerosos y diversos. Estos se pueden clasificar de diversas formas, así pues según las líneas de defensa en el organismo tenemos a) Macromoléculas que acomplejan especies reactivas evitando su acción (transferrina, ceruloplasmina, etc.), b) Enzimas antioxidantes con gran afinidad para catalizar la reacción de reducción parcial de una especie reactiva (superóxido dismutasa, SOD; glutatión peroxidasa, GPx; glutatión sulfhidril transferasa, GST; y la catalasa, CAT, que reduce el H_2O_2 a H_2O), c) Cosustratos antioxidantes empleados por las enzimas para reducir parcialmente los radicales libres y especies reactivas (Glutatión y NADPH), d) Enzimas generadores de sustratos o cosustratos antioxidantes (enzimas que regeneran al glutatión reducido, vitamina E y el NADPH), e) Antioxidantes endógenos (glutatión NADPH, albúmina de ácido úrico, coenzima Q, bilirrubina y la melatonina), f) Antioxidantes endógenos, provenientes de la dieta (Vitamina E, vitamina C, b-caroteno, cobre, selenio, zinc, manganeso, polifenoles, licopenos, ácidos egálicos, flavonoides, quercitina, hesperidina, catequina y taninos) y g) Sistemas de

reparación, los cuales tratan de recuperar la función de las macromoléculas dañadas, repara el daño o destruye la macromolécula que pudiera causar daño a la economía celular (enzima metionina sulfóxido reductasa, enzima tiorreductasa, etc.).

2.4. SECADO

2.4.1. Definición

Es una operación unitaria, donde el transporte de calor y masa se realiza de forma simultánea. (Dueñas y Vidal, 2016)

El proceso es definido como la remoción térmica de las sustancias volátiles (humedad) contenidas en un producto, hasta alcanzar un producto seco. (Mujumdar, 2006, citado por Dueñas y Vidal, 2016).

La remoción del agua en el producto, en forma de vapor, depende de condiciones externas tales como temperatura, flujo y humedad del aire, además del área de la superficie del material expuesta y presión; por su parte el movimiento del agua a través del sólido depende también de la temperatura y de su composición física y porcentaje de humedad (Mujumdar, 2006).

2.4.1.1. Secado de alimentos

El secado en los alimentos, es una técnica de conservación cuyo principal objetivo es la de disminuir la actividad de agua de los mismos para reducir o detener su deterioro, que es la razón principal para el empleo de técnicas de preservación o

conservación. Es uno de los procesos más rentables para conservar productos alimenticios, el cual se basa en la remoción de agua mediante la aplicación de calor (Jangam y Mujumdar, 2010).

El proceso de secado incluye varios cambios físicos, químicos y sensoriales en el alimento, los cuales dependen de su composición así como de la severidad del método de secado. Los cambios frecuentes se presentan en su forma; encogimiento, cristalización, despolimerización, así también en sus características sensoriales, variación de color, sabor, textura, viscosidad, cambios en su valor nutritivo y estabilidad en el almacenamiento. (Dueñas y Vidal, 2016).

En el sector alimenticio es necesario conservar la calidad del producto durante el secado además de reducir el costo del proceso. Debido a esto es necesario desarrollar técnicas de secado innovadoras y rentables en este rubro (Jangam y Mujumdar, 2010).

2.4.2. Velocidad de secado

Se define como el parámetro que relaciona la cantidad de agua que se elimina durante un tiempo determinado en un área de secado definida. (Calle y Aparicio, 2011).

Con el fin de obtener el tiempo de equilibrio en que se elimina el contenido de humedad de una muestra y las iteraciones de los factores que afectan la rapidez con la que se ejecuta el proceso es necesario conocer las

características que gobiernan en la velocidad de secado, para ello a raíz de la experimentación de un secado ya sea continuo o por lote son identificados por medio de las curvas de secado los siguientes aspectos. El contenido de humedad se mide en unidades de masa de humedad sobre masa de sólido seco expresado por la letra X graficándose este contra el tiempo t en el que equilibra el contenido de humedad como se muestra en la figura 7. (Fábregas, 2015).

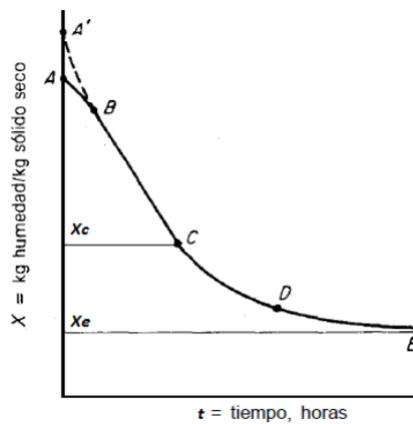


Figura 7. Velocidad de secado.

Fuente. Treybal, E. Roberto (2010).

En la figura se muestra la curva característica de secado hasta humedad de equilibrio X_e de una muestra en la cual se destacan cuatro zonas AB, BC, CD, DE.

2.4.3. Cinética de secado

La cinética de secado es la relación entre la variación del contenido de agua de un material y de la intensidad de evaporación con el transcurso del tiempo. La humedad del aire de secado, el contenido de agua del producto a secar, las dimensiones y diseño del equipo de secado, son los principales factores que influyen en la cinética de secado del producto. (Velásquez, 2007).

Al modelar un proceso de secado se considera las sgts. condiciones:

- Al inicio del proceso, el sólido presenta una homogeneidad en la distribución de agua en la matriz, es decir que tiene el mismo contenido de agua inicial en cualquier punto.
- La forma y el tamaño de la superficie activa de intercambio se consideran constantes.
- Los coeficientes de transferencia de calor y masa se mantienen constantes durante el proceso de secado.
- En la interfase el sólido y el aire están en equilibrio.

2.4.4. Tipos de secado

2.4.4.1. Secado en bandeja

Está formada por una cámara metálica rectangular que contiene soporte móviles donde se ubican los bastidores, los cuales llevan cierto número de bandejas separadas entre si. Entre estas circula aire caliente por acción de un ventilador acoplado al motor, a la vez que se evacua el aire húmedo continuamente y penetra aire fresco a través de una abertura de entrada (Maupoey, Andrés, Barat y Albors, 2001).

2.4.4.2. Liofilización

Es un proceso de secado que inicia con la congelación del alimento a bajas temperaturas, seguido de la evaporación al vacío, eliminando el agua del alimento por sublimación. Al final del proceso de liofilización se obtiene un polvo o sustancia porosa y muy higroscópica (Orrego, 2008). La liofilización evita que los alimentos sufran modificaciones

importantes en sus propiedades originales, y es recomendable su utilización en la deshidratación de alimentos que contienen componente funcionales sensibles al calor, como: tocoferoles, ácido ascórbico, carotenoides y fenoles (Shofian *et al.*, 2011).

2.4.4.3. Secado solar

Este tipo de secado aprovecha la radiación solar como fuente de energía para llevar a cabo la deshidratación de los productos (Vidal *et al.*, 2012). El proceso se lleva a cabo por acción del aire cálido y seco que pasa a través del producto a secar, generando que la humedad contenida en el alimento se evapore y pase al aire en forma de vapor; por ello es importante que el aire pasa a través de los productos este en constante movimiento y renovación (Almada, Cáceres, Machaín-Singer y Pulfer, 2005).

2.5. HARINA DE BRÁCTEAS DE ALCACHOFA

La harina de brácteas de alcachofa puede ser obtenida a partir de los su productos procedentes del procesamiento industrial durante la elaboración de conserva de alcachofa, los cuales constituyen aproximadamente el 60% de la materia prima recepcionada. Esta harina es requerida en la industria farmoquímica para la elaboración de cremas de belleza, usadas en la piel y cabello. Así mismo es requerida por la industria de medicina natural para la elaboración de desayunos instantáneos y en la elaboración de cápsulas, para las cuales se requiere alcachofa pulverizada; la industria panificadora requiere esta harina para la elaboración de bocaditos, panes, entre otros (García, 2008).

2.5.1. Composición química

Cárdenas (2016) en su investigación químico-bromatológico, compuestos bioactivos y evaluación de la capacidad antioxidante de alcachofa procedente de Huaral determina el porcentaje de cenizas, grasas, proteínas totales, fibra cruda, azúcares reductores directos y azúcares reductores totales presentes en harina de brácteas de alcachofa, obtenida después de un proceso de secado en estufa a $40 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 48 horas, los datos registrados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6.

Análisis químico -bromatológico de las brácteas de Alcachofa

Descripción	Muestra seca
Cenizas (g%)	4.82
Proteínas Totales (g%)	13.75
Grasas (g%)	1.57
Fibra cruda (g%)	34.06
Azúcares reductores directos (g/% Glucosa)	12.15
Azúcares Reductores Totales (g/% Glucosa)	13.25

Fuente: Cárdenas, 2016.

Es importante mencionar que un estudio realizado por Márquez, Siche, Pretell y Miranda (2008) referente a las características sensoriales de pan elaborado con una sustitución parcial de harina especial por harina de cáscaras de esparrago, salvado de trigo y brácteas de alcachofa, señala que esta última presenta un contenido de fenoles totales de 60.94 mg catecol/g muestra y una actividad antioxidante de 27.22 $\mu\text{M TE/g}$ muestra. Según Coinu *et al.* (2006) las brácteas de alcachofa presentan un importante contenido fenólico como el ácido 1,5-odicafeilquinico (cinarina), ácido clorogénico y 7-O-glucuronida.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en los siguientes ambientes de la Universidad Nacional del Santa:

- Instituto de Investigación Tecnológico Agroindustrial de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial.
- Laboratorio de Investigación y Desarrollo de productos Agroindustriales de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial.
Laboratorio de Análisis y Composición de productos Agroindustriales de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial.
- Corporación de laboratorios de ensayos clínicos, biológicos e industriales “COLECBI S.A.C”. - Nuevo Chimbote.

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materia prima

Alcachofa (*Cynara scolymus*), de las variedades Green Globe e Imperial Star, procedentes de los campos del Valle de Santa, fundo “San Bartolo” y Fundo “La Huaca”, respectivamente; pertenecientes a la sociedad agrícola Virú S.A.C.

3.2.2. Materiales de laboratorio

- Probeta 25mL, 50mL
- Matraces Erlenmeyer 125mL, 250mL
- Fiolas 10mL, 50mL, 5000 mL

- Pipetas volumétricas 5mL, 10mL
- Micropipetas 100 μ L, 1000 μ L
- Vasos de precipitados 10mL, 50mL
- Placas Petri
- Crisoles de porcelana
- Tubos de centrifugación
- Espátula
- Pinzas de metal y de madera
- Termómetro
- Papel filtro Whatman N°.40
- Succionador de pipetas con embolo
- Embudos plásticos de laboratorio tallo corto
- Gradilla de laboratorio

3.2.3. Reactivos

- DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo)
- TPTZ (2,4,6-Tripiridil-s-triazina)
- TROLOX (Acido-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico)
- Folin Ciocalteau o Folin-Denis
- Acido Gálico (C₇H₆O₅)
- Carbonato de Sodio (Na₂CO₃)
- Cloruro Férrico hexahidratado (FeCl₃.6H₂O)
- Acetato de Sodio trihidratado (CH₃COONa.3H₂O)
- Metanol grado HPLC
- Ácido Acético (C₂H₄O₂)

- Ácido Cítrico
- Ácido clorhídrico 40mM
- Ácido clorhídrico 0.1N, 37% (v/v), para proteínas, Kjendhal.
- Ácido Bórico 4%
- Ácido sulfúrico concentrado 0.1N
- Hidróxido de sodio 40% (w/v)
- Agua destilada

3.2.4. Equipos

- Liofilizador marca LABCONCO, modelo FREEZONE 6
- Secador de bandeja controlado por PC, SE 1402
- Secador solar tipo armario
- Espectrofotómetro marca JASCO, modelo V-670
- Molino universal marca IKA, modelo M20
- Molino ultracentrífugo marca RETSCH, modelo ZM200
- Tamizador magnético marca RETSCH, modelo AS200
- Ultrasonido marca COL-PALMER, modelo 08892-26
- Centrifuga marca SIGMA, modelo 2-16
- Centrifuga refrigerada marca SIGMA, modelo 4-16KS
- Equipo Kjeldahl marca FOSS, modelo KJELTEC 8100
- Estufa marca BLUE-M, modelo SW-17TC-1.
- Mufla marca thermolyne Sybron, modelo FB1310 M-26.
- Colorímetro digital, marca Konica Minolta, modelo CR-400T
- Balanza analítica Marca PRECISA Modelo: LX220
- Potenciómetro THERMO SCIENTIFIC, modelo: ORION S.A21.

- Sensores de temperatura marca DATA TRACE, modelo M4T1
- Sensores de temperatura marca DATA TRACE, modelo PM3
- Campana desecadora
- Agitador vórtex
- Selladora manual
- Cocina eléctrica
- Refrigeradora, Marca Friolux

3.2.5. Otros materiales

- Papel aluminio
- Papel toalla
- Bolsas de polipropileno de alta densidad
- Bolsas de polietileno de alta densidad con cierre hermético
- Cocina a gas
- Licuadora
- Colador
- Olla de acero inoxidable

3.3. MÉTODOS

La alcachofa (*Cynara scolymus*) variedad Green Globe y variedad Imperial Star recepcionadas y seleccionadas, fueron sometidas a un proceso de lavado, blanqueado, enfriado y desbracteado antes de iniciarse los procesos de secado (secado en bandeja, liofilización y secado solar), con el objetivo de simular el proceso industrial, mediante el cual se obtiene las brácteas de alcachofa como subproducto del procesamiento de conservas de alcachofa.

3.3.1. Diagrama de flujo para la obtención de harina de brácteas de alcachofa

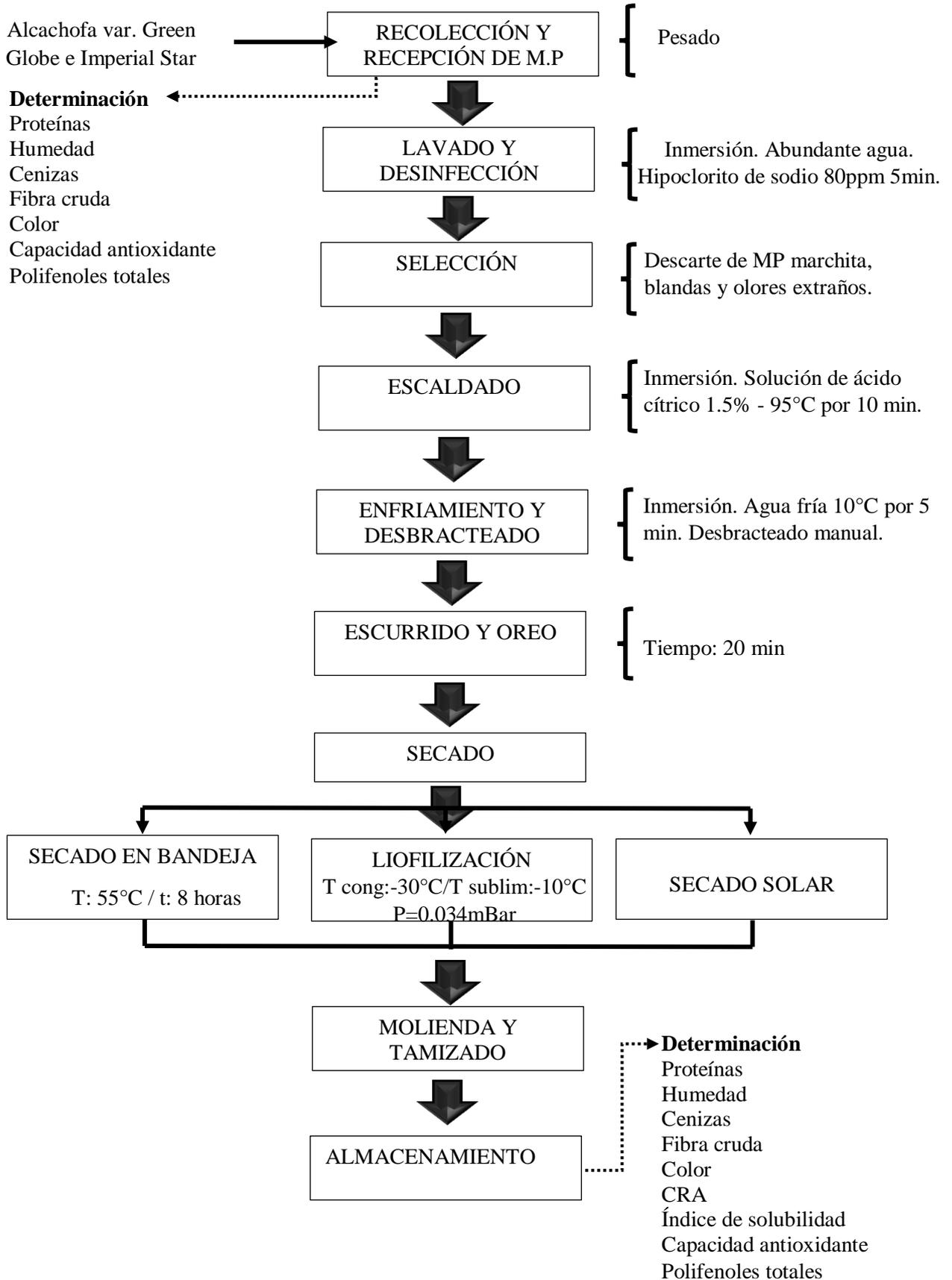


Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de brácteas de alcachofa

3.3.2. Descripción del proceso para la obtención de harina de brácteas de alcachofa

A continuación se detalla cada etapa del proceso que se realizó para la obtención de harina de brácteas de alcachofa.

3.3.2.1. Recolección y recepción de materia prima

La alcachofa (*Cynara scolymus*) de las variedades Green Globe e Imperial Star, fueron recolectadas en la etapa de comercialización habitual, de los fundos San Bartolo y La Huaca, respectivamente; ubicados en el distrito de Santa, provincia del Santa, departamento de Áncash; cultivadas por la sociedad agrícola Virú S.A.C. Durante su recolección se consideró descartar las que presentaban ataque de insectos, hongos, enfermedades y manchas extrañas visibles.

Las alcachofas fueron recepcionadas en jabas de plástico, para su posterior transporte. Se recepcionaron 5Kg, con un peso promedio de 382g y 3cm de pedúnculo. Se tuvieron que almacenar por un periodo de 14 horas a 4°C.

3.3.2.2. Lavado y desinfección

La materia prima fue lavada con abundante agua potable, con el fin de eliminar residuos de suciedad y posibles materias extrañas. Seguidamente fue desinfectada en una solución de hipoclorito de sodio a 80ppm, por un periodo de 5 minutos. El proceso se realizó por inmersión y se llevó a cabo con el fin de eliminar la carga microbiana.

3.3.2.3. Selección

Durante el proceso de selección, se descartaron las alcachofas con señales de marchitamiento, blandas y olores extraños. Posteriormente se volvió a pesar la materia prima para poder determinar su rendimiento.

3.3.2.4. Escaldado

Las alcachofas fueron sumergidas en una solución de ácido cítrico al 1.5% a una temperatura de 95°C por un periodo de 10 minutos, con el fin de inactivar las enzimas causantes de su pardeamiento, además de eliminar su sabor amargo característico y ablandarlas para facilitar su desbracteado.

Zuorro, Maffei y Lavecchia (2015) mencionan que el escaldado a temperaturas altas (superior a 85°C) se realiza para inactivar la polifenol oxidasa, enzima responsable de la oxidación de los polifenoles.

3.3.2.5. Enfriamiento y desbracteado

El enfriamiento se realizó inmediatamente después del escaldado, las alcachofas fueron sumergidas en agua fría a 10°C por un periodo de 5 minutos. Seguidamente se realizó el desbracteado de forma manual, separando las brácteas del corazón.

3.3.2.6. Ecurrido y oreo

Las brácteas fueron colocadas en una jaba de plástico por un periodo de 20 minutos para eliminar el agua superficial retenida.

3.3.2.7. Secado

Se realizaron tres tipos de secado, secado en bandeja, liofilización y secado solar, los cuales se iniciaron en simultánea. Se consideró las mismas condiciones y parámetros para cada variedad de brácteas de alcachofa (Green Globe e Imperial Star). Luego del secado, las brácteas fueron almacenadas en bolsas de polietileno de alta densidad con cierre hermético, para su inmediata molienda.

a. Secado en Bandeja

Se realizó en un secador de bandeja controlado por PC. La materia prima fue colocada en tres bandejas de acero inoxidable de $0.1363 \text{ m}^2 \text{ c/u}$, con una densidad de carga de 1.6 kg/m^2 . El proceso de secado se realizó en un periodo de 8 horas a una temperatura de 55°C , alcanzando una humedad menor al 10%. Se colocaron en total 650 g de brácteas de alcachofa aproximadamente.

b. Secado por liofilización

Se realizó en un liofilizador marca LABCONCO de escala de laboratorio. La materia prima fue colocada en tres bandejas de acero inoxidable de $0.077 \text{ m}^2 \text{ c/u}$, con una densidad de carga de 1.6 kg/m^2 . El proceso de liofilización se realizó según el método tradicional, considerando una temperatura de -30°C y presión atmosférica para la etapa de congelación, mientras que

la etapa de sublimación se realizó a -10°C y a una presión de 0.034 mBar. El proceso se realizó por 18 horas y se llevó un registró de la variación de la temperatura a través del tiempo empleando sensores de temperatura DATA TRACE, modelo M4T1, que fueron colocados en contacto directo con la materia prima.

c. Secado solar

Se realizó en un secador solar, la materia prima fue colocada en una bandeja de 0.643 m^2 , con una densidad de carga de 1.6 kg/m^2 . El tiempo de secado fue hasta alcanzar una humedad del 10% y ello dependió de las condiciones climatológicas, por consiguiente la variedad Green Globe tuvo un tiempo de secado de cinco días, mientras que la variedad Imperial Star solo de cuatro días Se colocaron tres sensores de temperatura modelo DATATRACE PM3, uno de ellos en contacto directo con la materia prima, otro en la salida de aire del colector y el ultimo en la cámara de secado.

3.3.2.8. Molienda

Previamente el proceso se realizó en un molino universal marca IKA, para reducir el tamaño de partícula de la materia prima; posteriormente se realizó una segunda molienda en un molino ultracentrífugo RETSCH-ZM200, con el fin de obtener una mayor y completa pulverización, esto se logró gracias al sistema de molienda en dos etapas con rotor-tamiz anular de doce dientes con el que cuenta el molino; donde además las muestras preservan sus propiedades debido a que permanecen en la cámara de molienda por periodos cortos y no se calienta. La velocidad del rotor fue de 9000 rpm.

3.3.2.9. Tamizado

Se realizó en un tamizador magnético marca RETSCH, modelo AS200, con la finalidad de obtener partículas homogéneas se emplearon tamices de malla 45,60 y 80. El periodo de operación por batch fue de 10 minutos aproximadamente.

3.3.2.10. Envasado

Se envasó 5 y 10 gramos de harina de brácteas de alcachofa en bolsas de polipropileno de alta densidad, inmediatamente se sellaron empleando una selladora manual, y finalmente se cubrieron con papel aluminio plastificado para conservar y mantener constante la humedad de la harina además de su calidad. El envasado se realizó en pequeñas cantidades dado que para cada análisis se tomó una muestra de 5 gramos.

3.3.3. Características fisicoquímicas:

3.3.3.1. Determinación de Humedad

En las brácteas de alcachofa var. Green Globe y var. Imperial Star, así como en las harinas obtenidas después del proceso de secado (secado en bandeja, liofilización y secado solar), se determinó el porcentaje de humedad empleando el método AOAC 19th edition 2012, 925.10.

$$\%Humedad = \frac{W_{cm} - W_{cms}}{W_m} \times 100$$

Donde:

W_{cm} : Peso de crisol más muestra

W_{cms} : Peso de crisol más muestra seca

W_m : Peso de muestra

3.3.3.2. Determinación de Cenizas

Se determinó el porcentaje de cenizas presente en las brácteas de alcachofa var. Green Globe y var. Imperial Star, así como en las harinas obtenidas después del proceso de secado (secado en bandeja, liofilización y secado solar), empleando el método de incineración en mufla, método AOAC 19th edition 2012, 923.03.

$$\%Cenizas = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100$$

Donde:

m_1 : masa de la cápsula con la muestra, en gramos

m2: masa de la cápsula con las cenizas, en gramos

m0: masa de la cápsula vacía, en gramos

3.3.3.3. Determinación de Proteínas Totales

El contenido de proteínas totales presente en las brácteas de alcachofa var. Green Globe y var. Imperial Star, así como en las harinas obtenidas después del proceso de secado (secado en bandeja, liofilización y secado solar), se determinó a través del método Kjeldahl, método AOAC 19th edition 2012, 920.87.

$$\%N \text{ total} = \frac{(Vm - Vbk) \times N \times 14.007}{Wm} \times 100$$

$$\%Proteínas \text{ Total} = \%N \text{ total} \times F$$

Donde:

Vbk: volumen en ml de solución estándar de HCl necesario para titular el ensayo en blanco

Vm: volumen en ml de solución estándar de HCl necesario para la titulación de la muestra

N: normalidad del HCl usado para la titulación

Wm: peso de la muestra, en miligramos

F: factor de conversión de proteínas = 6,25

14.007: peso atómico del Nitrógeno

3.3.3.4. **Determinación de Fibra Cruda**

El porcentaje de fibra presente en las brácteas de alcachofa var, Green Globe y var. Imperial Star, así como en las harinas obtenidas después del proceso de secado (secado en bandeja, liofilización y secado solar), fue determinado mediante el método NMX-F-090,1978.

$$\%Fibra Cruda = \frac{(Ps - Pp) - (Pc - Pcp)}{M} \times 100$$

Donde:

Ps: masa en gramos del residuo seco a 130°C

Pp: masa en gramos del papel filtro

Pcp: masa en gramos de las cenizas del papel

Pc: masa en gramos de las cenizas

M: masa de la muestra en gramos

3.3.3.5. **Determinación de Índice de Solubilidad en Agua (ISA)**

La determinación del Índice de Solubilidad en Agua (ISA) se realizó según la metodología propuesta por Anderson y col. (1969), con algunas modificaciones. Este análisis fue realizado en las diferentes harinas de brácteas de alcachofa obtenidas después del proceso de secado (secado en bandeja, liofilización y secado solar).

$$\%ISA = \frac{\text{peso soluble (g)}}{\text{peso de muestra (g)}} \times 100$$

3.3.3.6. Determinación de Capacidad de Retención de Agua (CRA)

Mediante este análisis se evalúa la capacidad del alimento de retener moléculas de agua en su matriz (Rivera, 2014). La capacidad de retención de agua presente en las harinas de brácteas de alcachofa var. Green Globe y var. Imperial Star, fueron determinadas empleando el procedimiento descrito por Mayorga (2913).

$$CRA = \frac{Wf - Wi}{WI}$$

Donde:

Wf: masa final del residuo sólido

Wi: masa inicial de la muestra

3.3.3.7. Medición de Color – Colorimetría

La determinación de color en las harinas de brácteas de alcachofa var. Green Globe y var. Imperial Star se realizó utilizando el modelo de color CIELAB, desarrollado por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE) en 1976.

Las coordenadas de color L* a* b* de las harinas de brácteas de alcachofa se obtuvieron usando un colorímetro marca KONICA MINOLTA; con los valores obtenidos se determinó la cromacidad y el ángulo de tonalidad de cada muestra.

$$Cromacidad = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$\text{Ángulo de Tonalidad } (h) = \arctan \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

3.3.4. Descripción de proceso de extracción y preparación de muestras

3.3.4.1. Preparación del extracto

a. Brácteas de alcachofa

Se pesó 10g de brácteas de alcachofa y se adicionó 50 ml de etanol acuoso en una relación 50% (v/v) cuando se analizó Polifenoles Totales; mientras que al analizar capacidad antioxidante (DPPH convencional y FRAP) se utilizó metanol grado HPLC, y se pesó 7 y 10 g de la materia prima, respectivamente. Se licuó y transfirió el contenido a tubos Falcom de 15 ml de capacidad. Posteriormente los tubos fueron colocados dentro del equipo de ultrasonido marca COL-PALMER, durante 30 minutos a 60°C.

b. Harina de brácteas de alcachofa

Las seis diferentes harinas de brácteas de alcachofa (var. Green Globe y var. Imperial Star) obtenidas después del proceso de secado (secado en bandeja, liofilización y secado solar) fueron sometidas a un proceso de extracción. Se pesó 1g de harina y se adicionó 10 ml de etanol acuoso (50% v/v) al analizar el contenido Polifenoles Totales, y 10 ml de metanol grado HPLC al analizar su capacidad antioxidante (DPPH convencional y FRAP). Se utilizaron tubos Falcom de 15 ml de capacidad. Se agitaron y

colocaron los tubos en el equipo de ultrasonido Marca COL-PALMER, durante 30 minutos a 60°C.

Cada una de las muestras obtenidas fue retirada del equipo de ultrasonido una vez cumplido el tiempo establecido, e inmediatamente después fueron sometidas a centrifugación durante 10 min a 3500 rpm, empleando una centrifuga marca SIGMA, modelo 2-16.

El sobrenadante fue colocado en viales de vidrio color ámbar correctamente rotulados, y se conservó en refrigeración a 4°C hasta su posterior análisis de capacidad antioxidante y polifenoles totales.

Cada extracción (materia prima y harina) se realizó por duplicado y a su vez cada análisis de las muestras por triplicado, es decir se realizaron 36 experimentos en cada análisis.

3.3.5. Determinación del contenido de Polifenoles Totales y Capacidad Antioxidante

3.3.5.1. Determinación de Polifenoles Totales

Se utilizó el método de Folin-Ciocalteu para determinar el contenido de polifenoles totales en las muestras analizadas. El principio del método se basa en la propiedad de los polifenoles de reaccionar frente a los agentes oxidantes. El reactivo Folin-Ciocalteu está formado por una mezcla de ácido fosfotúngstico ($H_3PW_{12}O_{40}$) y ácido fosfomolibdico ($H_3PMO_{12}O_{40}$), la cual al

reaccionar es reducida a óxidos de tungsteno (W_8O_{23}) y molibdeno (Mo_8O_{23}), cromógenos de color azul que son proporcionales a la cantidad de compuestos fenólicos presentes en la muestra (Galili y Hovav, 2014).

Los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo Folin-Ciocalteu bajo condiciones alcalinas (ajustados por la solución de carbonato de sodio a $\text{pH} > 10$) (Huang *et al.*, 2005).

a. Preparación de Reactivos

- Reactivos Folin-Ciocalteu

El reactivo Folin-Ciocalteu se preparó en una fiola de 10 ml cubierta con papel aluminio para protegerlo de la luz. Se colocó 1.25 ml del reactivo Folin-Ciocalteu y se aforo con agua destilada.

- Carbonato de sodio, 7.5%. (w/v)

Se pesó 0.750 g de carbonato de sodio (NaCO_3) en papel aluminio y se transfirió luego a una fiola de 10 ml, se agregó 5 ml de agua destilada y se agitó en un vortex hasta diluir completamente. Finalmente se aforo con agua destilada.

- Estándar de ácido gálico (50mg/L)

Se pesó 25 mg de ácido gálico en un papel aluminio y se transfirió luego a una fiola de 100 ml, obteniéndose una concentración de 250 ppm. Posteriormente se extrajo 2 ml

de dicha solución en una fiola de 10 ml y se aforo con agua destilada, obteniéndose una concentración final de 50 ppm, utilizada en la construcción de la curva de calibrado de Ácido Gálico.

b. Preparación de la muestra

Se tomó 100 uL del extracto anteriormente obtenido y se adicionó 4000 uL de agua destilada, obteniéndose una dilución 1:40 (v/v) necesaria para determinar el contenido de polifenoles totales en los extractos de las harinas obtenidas.

Se utilizó una dilución 1:50 (v/v) para los extractos de las brácteas de alcachofa frescas.

c. Curva de calibración de Ácido Gálico

En siete viales de vidrio cubiertos con papel aluminio se colocó volúmenes de 150 uL, 300 uL, 600uL, 900uL, 1200uL y 1500uL uL de la solución estándar de ácido gálico (50 ppm), se agregó en cada uno de los viales agua destilada hasta completar un volumen de 3300 uL. Posteriormente se adicionó 150 uL de carbonato de sodio al 7.5% y 300 uL de reactivo Folin-Ciocalteu. La mezcla se agitó y se dejó reposar, a temperatura ambiente y en oscuridad, durante 15 minutos. Finalmente se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 726 nm, en un espectrofotómetro Marca JASCO.

Es importante destacar que el orden de los reactivos agregados en los viales de vidrio, es el empleado por Gómez (2014) en su

investigación sobre la medición de fenoles totales y capacidad antioxidante y antirradicalaria en hongos comestibles.

d. Determinación de Polifenoles Totales

Se tomó 900uL de cada muestra preparada, se adicionó 2400 uL de agua destilada y se agitó. Posteriormente se adicionó 150 uL de carbonato de sodio al 7.5% y 300 uL de reactivo Folin-Ciocalteu. La mezcla se agitó y se dejó reposar, a temperatura ambiente y en oscuridad, durante 15 minutos. Finalmente se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 726 nm, en un espectrofotómetro Marca JASCO.

Las muestras fueron analizadas por triplicado frente a un blanco que no tenía muestra. Los resultados se interpolaron en la curva de calibrado del Ácido Gálico, y las concentraciones obtenidas se multiplicaron por el factor de dilución correspondiente. Los resultados se expresaron como mg Equivalente Ácido Gálico (mg EqAG/g muestra).

3.3.5.2. Capacidad antioxidante

3.3.5.2.1. Método DPPH

La determinación de capacidad antioxidante se llevó a cabo utilizando el método colorimétrico DPPH, utilizándose dos metodologías distintas: metodología convencional del ensayo DPPH y la metodología descrito por Quispe (2015), quien adaptó la metodología original de Plank *et al* (2012).

El método se fundamenta en que el electrón desapareado del radical DPPH se aparea con el electrón donador de un antioxidante presente en la muestra; entonces el DPPH se reduce, resultando una viración del DPPH de color purpura a amarillo (Plank *et al.*, 2012).

a. Preparación de reactivo

- Solución de DPPH (40mg/L)

Se pesó 20 mg de DPPH y se transfirió a una fiola de 500 mL, la cual estaba cubierta con papel aluminio. Se añadió 250 mL de metanol HPLC y se agito en un vortex durante 20 minutos.

Posteriormente se agregó 250 ml de agua destilada y nuevamente se agito en un vortex durante 20 minutos. Se aforó con metanol HPLC y se agitó una tercera vez durante 10 minutos. Se realizó la preparación de esta solución antes de cada análisis, pues es una solución no almacenable.

- Estándar de Trolox (50mg/100mL)

Se pesó 5mg Trolox en papel aluminio y se transfirió a una fiola 10 ml, la cual estaba cubierta con papel aluminio; se adicionó 5ml de metanol HPLC y se agito durante 5 minutos en un vortex. Transcurrido el tiempo se agregó agua destilada y nuevamente se agito en un

vortex durante 5 minutos. Finalmente se aforó con metanol HPLC.

b. Curva de calibración de Trolox

En cuatro viales de vidrio cubiertos con papel aluminio se agregaron volúmenes de 50, 100, 150 y 200 uL del estándar de Trolox (50mg//100mL). Se adicionó 12.50 ml de solución de DPPH en cada vial.

Los viales fueron colocados a incubación en baño María a 35°C por 2 horas. Posteriormente se realizó la lectura de las absorbancia a una longitud de onda de 517 nm utilizando como blanco agua destilada.

c. Determinación de capacidad antioxidante

Se realizó la determinación de capacidad antioxidante de las muestras empleando dos metodologías distintas: metodología convencional del ensayo DPPH y metodología propuesta por Plank *et al.* (2012).

- Metodología propuesta por Plank *et al.* (2012):

De cada harina obtenida después de los procesos de secado (secado en bandeja, liofilización y secado solar) se pesaron tres cantidades diferentes de muestra (10 mg, 20 mg y 50 mg) , las cuales fueron colocadas en tubos Falcón de 15 ml de capacidad y se adicionó almidón en proporción 1:30 (w/w) (300 mg, 600 mg y 1500 mg, respectivamente).

Se añadió 12.50 mL de solución de DPPH en cada tubo Falcón. Los tubos fueron agitados y puestos a incubación en baño María a 35°C durante 2 horas.

Transcurrido el tiempo establecido los tubos fueron centrifugados a 3500 rpm durante 15 minutos. Se realizó la lectura de la absorbancia a una longitud de onda de 517 nm en un espectrofotómetro Marca COL-PALMER, utilizando como blanco agua destilada.

Las muestras fueron lecturadas dentro de los 30 minutos de salida la incubación. Los cálculos realizados para determinar la capacidad antioxidante de las muestras analizadas se muestran en el Anexo 7.1 El ensayo se realizó por triplicado y los resultados se expresaron en $\mu\text{mol Equivalente Trolox (}\mu\text{mol EqTrolox) /100 g}$ muestra.

- **Metodología convencional:**

Se realizó la preparación de las muestras partiendo de los extractos anteriormente obtenidos. En viales de vidrio se tomó 100 μL del extracto, se añadió 4000 μL de agua destilada y se agitó, obteniéndose una dilución 1:40 (v/v) necesaria para los extractos de harina de brácteas de alcachofa, y se utilizó una dilución 1:50 (v/v) para los extractos de las brácteas de alcachofa frescas.

Se tomó 100 μL de la muestra a analizar y se adicionó 12.50 ml de solución DPPH. Los tubos fueron agitados

y puestos a incubación en baño María a 35°C durante 2 horas. Posteriormente los tubos fueron centrifugados a 3500 rpm durante 15 minutos.

Se realizó la lectura de la absorbancia a una longitud de onda de 517nm en un espectrofotómetro Marca COLPALMER, utilizando como blanco agua destilada.

Los resultados se interpolaron en la curva de calibración de Trolox, se multiplicaron por el factor de dilución correspondiente y se expresaron como μmol Equivalente Trolox ($\mu\text{mol EqTrolox}$) /100 g muestra. Las muestras fueron analizadas por triplicado.

3.3.5.2.2. Método FRAP

La evaluación de la capacidad antioxidante mediante el método FRAP, se realizó según el procedimiento propuesto por Benzie y Strain (1996). El método se basa en la reducción del complejo TPTZ- Fe^{3+} a TPTZ- Fe^{2+} por acción de compuestos antioxidantes presentes en la muestra, generándose una viración de color a un tono azul que se absorbe a 593nm (Carvajal de Pabón, 2011).

a. Preparación de reactivos

- Tampón acetato 0.3M (pH 3.6)

Para un volumen de 500ml, se pesó 1.55 g de $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, se agregó 8 mL de ácido acético (CH_3COOH), se adicionó agua destilada y se ajustó el

pH a 3.6 con HCl 40mM. La mezcla se aforo con agua destilada.

- **Solución TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina), 10mM**

Se pesó 0.0312g del reactivo TPTZ en matraz y se agregó 10ml de HCl 40mM. Esta solución es preparada el mismo día del análisis.

- **Solución FeCl₃.6H₂O (20mM)**

Se pesó 0.054g de FeCl₃.6H₂O y se transfirió el contenido en una fiola de 10mL color ámbar. Se aforó con agua destilada y posteriormente almacenado a 4°C. Se realizó la preparación de esta solución el mismo día del análisis, pues es una solución no almacenable

- **Reactivo FRAP**

Se mezcló 50ml de solución tampón pH 3.6, 5ml de TPTZ (10mM) y 5 ml de FeCl₃.6H₂O (20mM). La mezcla se preparó inmediatamente antes del análisis y se cubrió con papel aluminio protegiéndola de la luz. Durante su preparación se mantuvo en baño a 37°C.

- **Estándar Trolox (25mM)**

Se pesó 0.0626 g. de TROLOX, luego se transfirió a una fiola color ámbar y se agregó a 5 ml de metanol al 80%.

Se agito en un vortex por 5 minutos, se aforo y se agito nuevamente en el vortex.

b. Preparación de la muestra

Se tomó 100 uL del extracto anteriormente obtenido y se adicionó 3000 uL de agua destilada, obteniéndose una dilución 1:30 (v/v) necesaria para determinar la capacidad antioxidante en los extractos de las harinas obtenidas.

Se utilizó una dilución 1:50 (v/v) para los extractos de las brácteas de alcachofa frescas.

c. Curva de calibración de Trolox

En ocho viales de vidrio cubiertos con papel aluminio se agregaron volúmenes de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 uL del estándar de Trolox (25mM), posteriormente se adiciono metanol al 80% hasta completar un volumen total de 5 ml en cada vial.

Se tomó 100uL del estándar Trolox de cada vial, se adiciono 3 ml de reactivo FRAP y se agito. Se realizó la lectura de las absorbancia a una longitud de onda de 593 nm, después de dejar reaccionar la muestra durante 30 min a 37°C.

d. Determinación de capacidad antioxidante

En viales de vidrio, cubiertos con papel aluminio, se tomaron 100 uL de las muestras anteriormente preparadas y se adicionó 3 ml de reactivo FRAP.

Los tubos fueron agitados y puestos a baño María a 37°C durante 30 minutos. Se realizó la lectura de la absorbancia a una longitud de onda de 593nm en un espectrofotómetro Marca COL-PALMER.

Las muestras fueron analizadas por triplicado frente a un blanco que contenía el reactivo FRAP y agua destilada. Los resultados fueron interpolados en la curva de calibración de Trolox, se multiplicó por el factor de dilución correspondiente y los resultados se expresados como μmol Equivalente Trolox ($\mu\text{mol EqTrolox}$) /100 g muestra.

3.3.6. Diseño experimental

Los experimentos se realizaron aplicando un diseño completamente o compuesto al azar (DCA), multifactorial categórico con dos factores o variables independientes: i) variedad de alcachofa y ii) tipo de secado; teniendo 2 y 3 niveles respectivamente. Los factores se muestran en la Tabla 7.

Por consiguiente, el diseño multifactorial categórico contempló un arreglo de 2x3 con 1 replica para la extracción de la muestra, es decir 12 tratamientos con 3 repeticiones (36 experimentos). El diseño experimental de 12 tratamientos se muestra en la Tabla 9.

Tabla 7.

Factores y/o variables independientes del diseño experimental

VARIABLES INDEPENDIENTES	Factor i). VARIEDAD DE ALCACHOFA	2 niveles	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel a₀: Variedad Green Globe (V₁) • Nivel a₁: Variedad Imperial Star (V₂)
	Factor ii). TIPO DE SECADO	3 niveles	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel b₀: Secado en bandeja (S₁) • Nivel b₁: Liofilización (S₂) • Nivel b₂: Secado solar (S₃)

❖ Diseño Base:

- ✓ Número de factores experimentales: 2
- ✓ Número de respuestas: 4
- ✓ Número de corridas: 12
- ✓ Grados de libertad para el error: 6

Tabla 8.

Variables Dependientes o variables respuestas

<i>Respuestas</i>	<i>Unidades</i>
C.A. Método DPPH convencional	
C.A. Método DPPH M. Plank, 2012	umol Eq Trolox/100 g muestra
C.A. Método FRAP	
Contenido de P.T.	mg Eq AG/ g muestra

C.A = Capacidad Antioxidante

P.T. = Polifenoles Totales

Tabla 9.Diseño Estadístico para el estudio de la Harina de Brácteas de Alcachofa (*Cynara scolymus*)

VARIEDAD DE ALCACHOFA	TIPO DE SECADO	C.A. Mét. DPPH	C.A. Mét. DPPH	C.A. Mét. FRAP	P.T
		(M. Conv)	(M. Plank)		
		umol Eq Trolox/100 g muestra		(mg Eq AG/g muestra)	
V ₂	S ₂				
V ₂	S ₁				
V ₁	S ₁				
V ₂	S ₃				
V ₂	S ₁				
V ₁	S ₂				
V ₁	S ₃				
V ₂	S ₃				
V ₁	S ₃				
V ₁	S ₂				
V ₂	S ₂				
V ₁	S ₁				

3.3.6.1. Esquema del diseño experimental

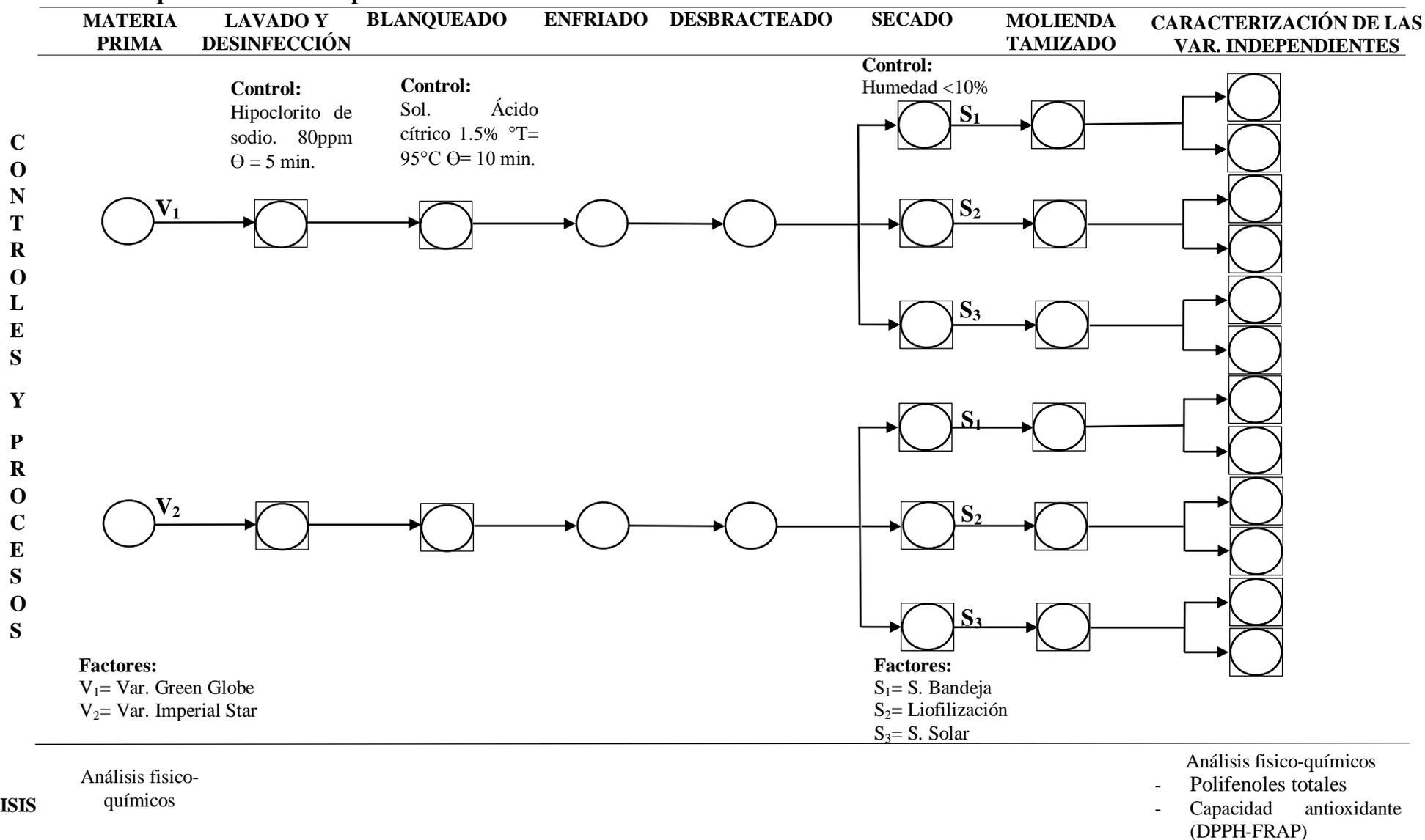


Figura 9. Esquema experimental del presente estudio

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. CARACTERIZACIÓN Y CINÉTICA DE SECADO DE LA MATERIA PRIMA

4.1.1. Análisis químico proximal

En la tabla 10 se presenta los valores del análisis químico proximal de brácteas de alcachofa:

Tabla 10.

Análisis químico proximal de las brácteas de alcachofa

Componente (%)	Variedades de alcachofa	
	Var. Green Globe	Var. Imperial Star
Humedad	76.532 ± 0.003	77.451 ± 0.003
Cenizas	1.196 ± 0.025	1.235 ± 0.089
Proteínas	2.919 ± 0.079	3.223 ± 0.230
Fibra Bruta	9.44	9.58

El contenido de humedad en las brácteas de alcachofa fue de 76.532% y 77.451% para las variedades Green Gobe e Imperial Star respectivamente, siendo inferiores a los valores reportados por Silva y Martínez (2017), quienes señalan que el contenido de humedad en brácteas de alcachofa es de 84.38%. Esta diferencia es debido a la deshidratación y pérdida de turgencia que sufrieron las alcachofas como consecuencia del tiempo de almacenamiento previo al análisis; por ello Ortiz (2013) señala que lo ideal es procesar inmediatamente las alcachofas, evitando de esta manera que se tornen fibrosas y pierdan

calidad; de ser necesario el almacenamiento, es imprescindible mantener la temperatura a 0°C y la humedad relativa en 95% para evitar la deshidratación.

Es importante mencionar investigaciones de Condor (2013) y Delao (2016) que reportan valores de humedad en alcachofa fresca de 82.5% y 80.0% respectivamente.

El contenido de cenizas en las brácteas de alcachofa fue de 1.196% y 1.235% para las variedades Green Globe e Imperial Star respectivamente, semejante al valor reportado por Cárdenas (2016) el cual es de 1.36%; por otro lado Araujo (2014), reporta que el contenido de cenizas de la alcachofa es de 1.53%.

Cárdenas (2016) reporta también que el contenido de proteínas y fibras en brácteas de alcachofa es de 3.87% y 9.59% respectivamente; siendo estos valores cercanos a los determinados en la presente investigación.

Cabe indicar que, reportes del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP, 2012) indican que el contenido de fibra en la alcachofa (brácteas y corazón) es de 5.4%, menor a lo obtenido en la investigación. Esta variación se puede justificar debido al grado de madurez de que presenta la alcachofa, pues a mayor grado de madurez, mayor contenido de fibra. (Torres, 2013).

4.1.2. Análisis físico

4.1.2.1. Colorimetría

Los valores de los parámetros de color L, a*, b*, C* y h° de la materia prima se muestran en la tabla 11.

Tabla 11.

Valores de colorimetría de las brácteas de alcachofa

Variedad	Luminosidad (L*)	a*	b*	Cromacidad (C*)	Ángulo de Tonalidad (h)
Green Globe	54.135 ± 0.036	-7.402 ± 0.273	24.169 ± 1.114	25.277	107.031
Imperial Star	43.099 ± 0.092	7.024 ± 0.407	12.426 ± 0.288	14.278	60.518

La variedad Green Globe presentó una mayor luminosidad o claridad con respecto a la variedad Imperial Star (43.099 ± 0.092); debido a que, no presentó pigmentación violácea en sus brácteas, dando un valor de luminosidad superior a 50 (54.135 ± 0.036). El valor a* fue de -7.402 ± 0.273 para la variedad Green Globe, este valor ligeramente negativo muestra una tendencia a los tonos verdes claros y uniformes, mientras que el valor b* muestra una tendencia a los tonos amarillos lo que se justifica en la ausencia de tonos violáceos. La cromacidad (C*) o grado de pigmentación se encuentra en función de a* y b*, el valor reportado es de 25.277 el cual representa una ligera tendencia a la tonalidad verde- amarillo. El ángulo de tonalidad (h) presenta un valor de 107.031 que

pertenece al primer cuadrante de los ejes de color entre verde y amarillo.

Galletti, Berger y Luna (2005), en su investigación con alcachofa de la variedad Green Globe, reportaron valores de 60.621, -15.973 y 59.624 para las coordenadas de color L^* , a^* y b^* respectivamente. , el valor de luminosidad es semejante a lo reportado en la presente investigación el cual es superior a 50 con tendencia a los tonos blancos. Sin embargo los valores de a^* y b^* muestran una clara diferencia, ello se puede justificar por el color de las brácteas internas y externas dado que presentan diferentes grados de intensidad y tonalidad, dependiendo de la posición de estas en la cabeza de la alcachofa.

Costa y col (2013), citado por García (2014), manifiesta que durante la postcosecha de la alcachofa pueden generarse cambios de color por la degradación de la clorofila en la etapa de senescencia de los tejidos vegetales, explica que los cloroplastos son desensamblados para trasportar el nitrógeno que contienen a otras zonas del vegetal para reutilizarlo. Al degradar las proteínas tilacoidales que contienen clorofila, esta última también se degrada.

Así mismo es importante mencionar que, las brácteas pueden tomar coloraciones violetas más pronunciadas cuando se retrasa la cosecha y están expuestas a altas temperaturas. (Cabezas, 2013).

Por su parte, la variedad Imperial Star, se caracteriza por poseer brácteas verdes con tonos violáceos. Los valores de luminosidad (L), a^* y b^* fueron tomados de las partes que presentaron pigmentaciones violáceas, dando un valor a^* de 7.024 ± 0.407 , valor con tendencia a los tonos rojos.

García (2014), manifiesta que los valores elevados indican la pigmentación violácea en la alcachofa. El valor b^* fue de 12.426 ± 0.288 que indica una ligera tendencia a los tonos amarillos. En cuanto a su cromacidad, el valor calculado fue de 14.278 y el valor de ángulo de tono (h) fue de 60.518, el cual pertenece al primer cuadrante. No se encontraron referencias en colorimetría para esta variedad.

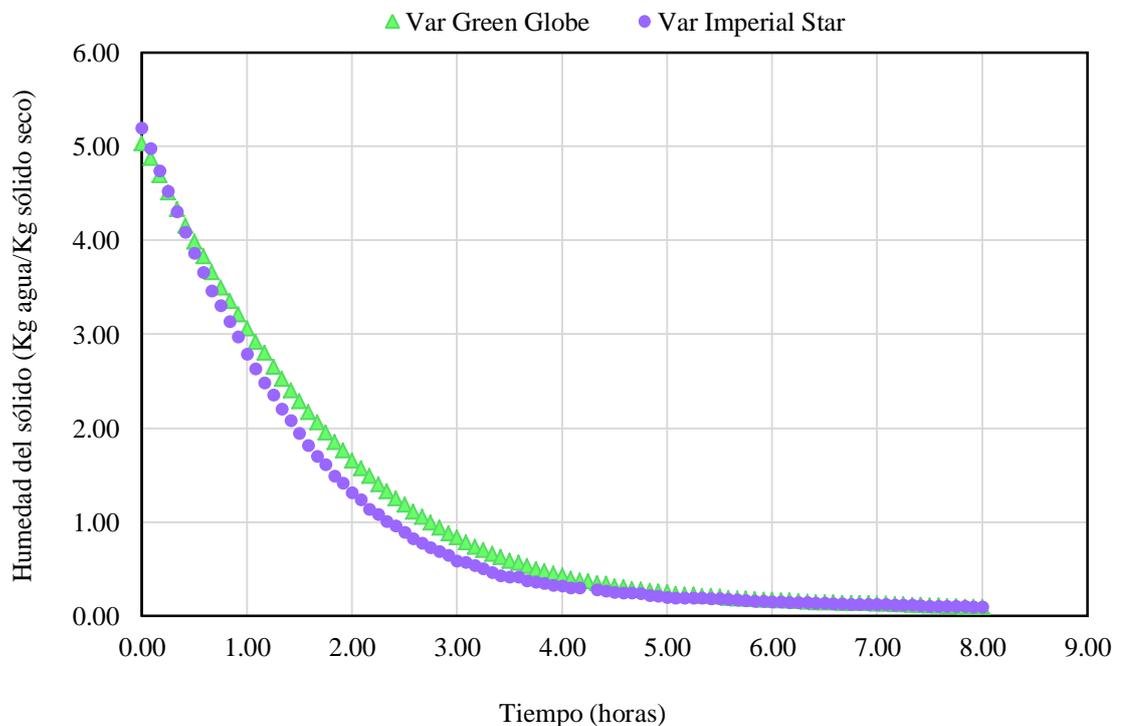
4.1.3. Cinética de secado

En las gráficas 1 y 2 se muestran las curvas de cinética de secado en bandeja y secado solar respectivamente, cuyos parámetros y condiciones de secado fueron anteriormente mencionados. Las curvas nos muestran y representan el contenido de agua (humedad) de las brácteas de alcachofa a través del tiempo, donde se grafica la evolución de la pérdida de humedad de las brácteas de alcachofa en función del tiempo hasta que alcance el equilibrio de secado. Cabe mencionar que durante la evaporación del agua a través del tiempo, además de ello, hay migración de los constituyentes solubles, lo que significa la disminución de compuestos volátiles siendo principalmente el aroma y sabor. (Martínez, 2013).

Las gráficas muestran un comportamiento exponencial, donde se observa dos etapas de secado, la primera muestra una pérdida de peso significativa a través del tiempo, mientras que en la segunda etapa se observa que las muestras alcanzan el equilibrio de secado dado que el contenido de humedad tiende a ser constante. Las brácteas de ambas variedades de alcachofa sometidas a secado solar alcanzaron su equilibrio en un mayor periodo de tiempo (20 horas), mientras que las que fueron secas en un secador por aire caliente, solo alcanzaron su equilibrio en 5 horas. (Ver gráfica 1), debido a que la temperatura de secado fue constante (55°C), mientras que en el secador solar las temperaturas alcanzadas oscilaron dependiendo de las condiciones climatológicas.

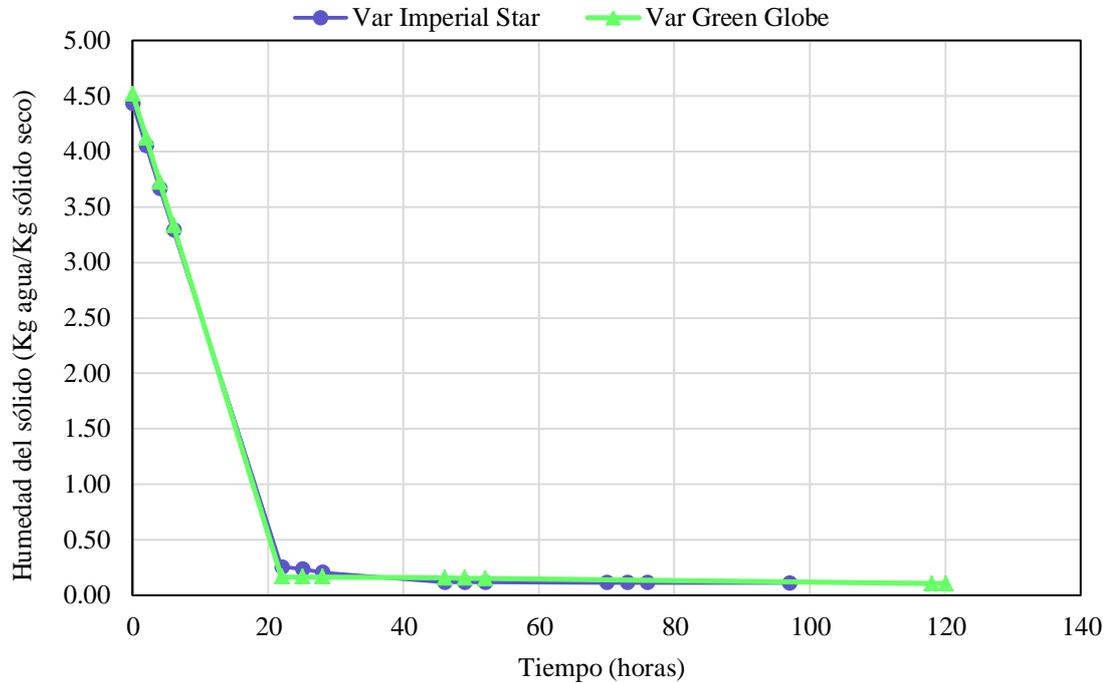
Gráfica 1.

Curva de secado – Secado en bandeja



Gráfica 2.

Curva de secado – Secado Solar



La comparación de las gráficas de los diferentes tipos de secado realizado, muestran las diferencias entre curvas de secado, donde la mayor eliminación de agua de las brácteas de alcachofa se observa en las muestras secas a una mayor temperatura, es decir que al aumentar la temperatura se incrementa la pendiente de la curva de secado. Ello se debe a la combinación de dos factores, un aumento en la temperatura del producto y en el coeficiente de difusión del agua (Geankoplis, 1998, citado por Monares, 2015), conllevando que la velocidad de secado sea apreciablemente menor.

Como se esperaba, las muestras secas por aire caliente (secado en bandeja, 55°C) presentaron una curva con una mayor pendiente que las

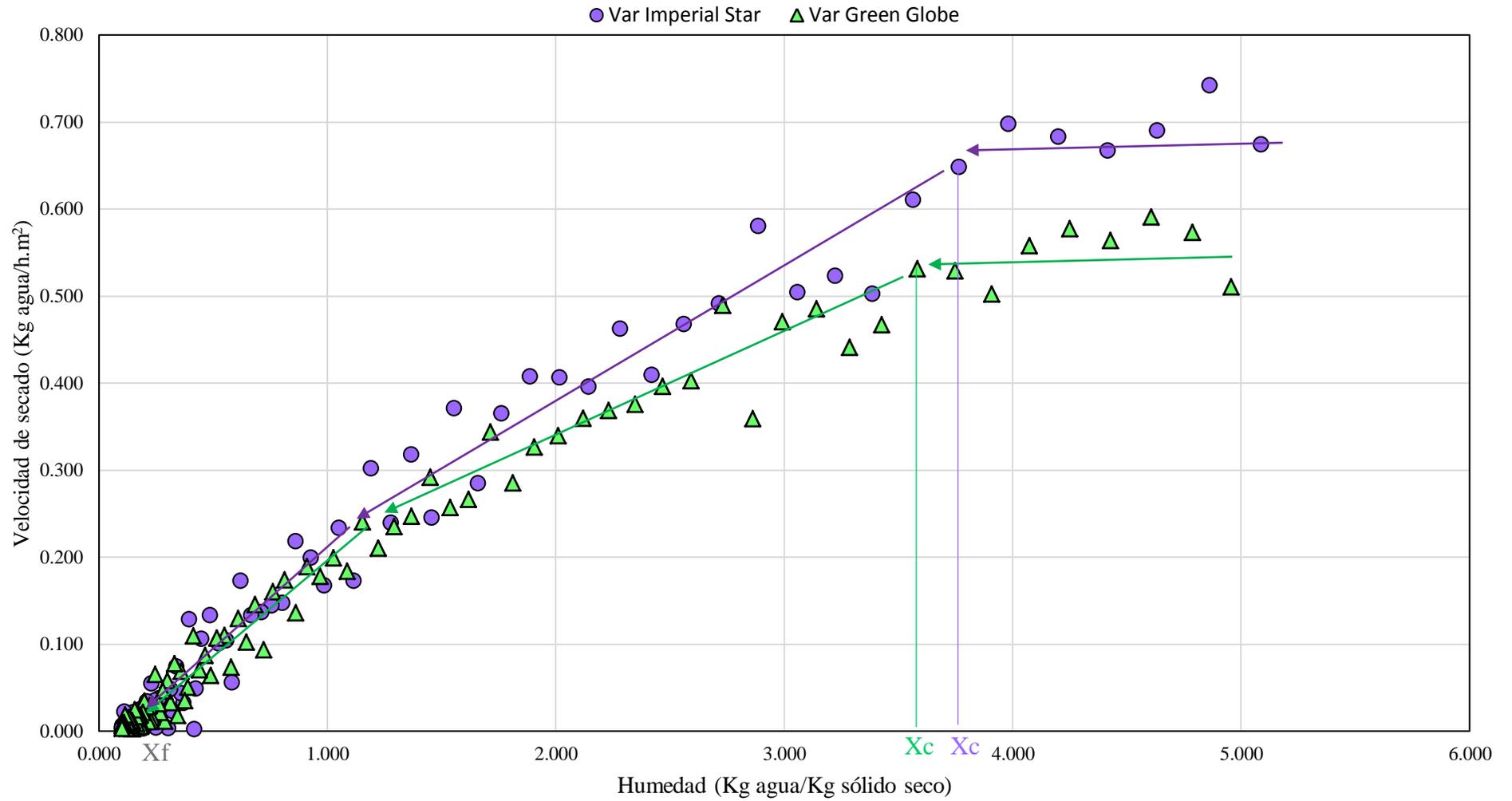
muestras secas en el secador solar, donde la temperatura máxima promedio alcanzada no superó los 40°C, como se observa en el anexo 9; ello se debe al factor temperatura del proceso de secado, el cual aumenta la velocidad de secado. (Velásquez, 2007). Resultados similares obtuvieron (Taípe, 2015) para el secado de punamuña y (García, 2014) para el secado de las hojas de stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) y hierbabuena (*Mentha spicata*) donde secaron sus muestras a diferentes temperaturas (40, 50 y 60°C) obteniendo que las muestras que fueron secas a una mayor temperatura presentaron mayor pendiente.

Por otro lado, en las gráficas 3 y 4 se muestran las curvas de velocidad de secado para las brácteas de alcachofa obtenidas sometidas a secado en bandeja (55°C durante 8 horas) y secado solar (4 y 5 días para las var. Imperial Star y Green Globe, respectivamente). La velocidad de secado es definida como la pérdida de humedad del sólido húmedo por unidad de tiempo y puntualmente por el cociente diferencial ($-dX/d\theta$) (Anexo 9) (Ocon y Tojo, 1978).

En las gráficas se distinguen dos etapas de secado: periodo de velocidad constante y periodo de velocidad decreciente. El primer periodo está asociado a la eliminación del agua no ligada, en esta etapa el agua se comporta como si el sólido no estuviera presente; y el periodo continuara mientras el agua desde el interior del sólido siga llegando a la superficie y compense al agua evaporada (Geankoplis, 1998).

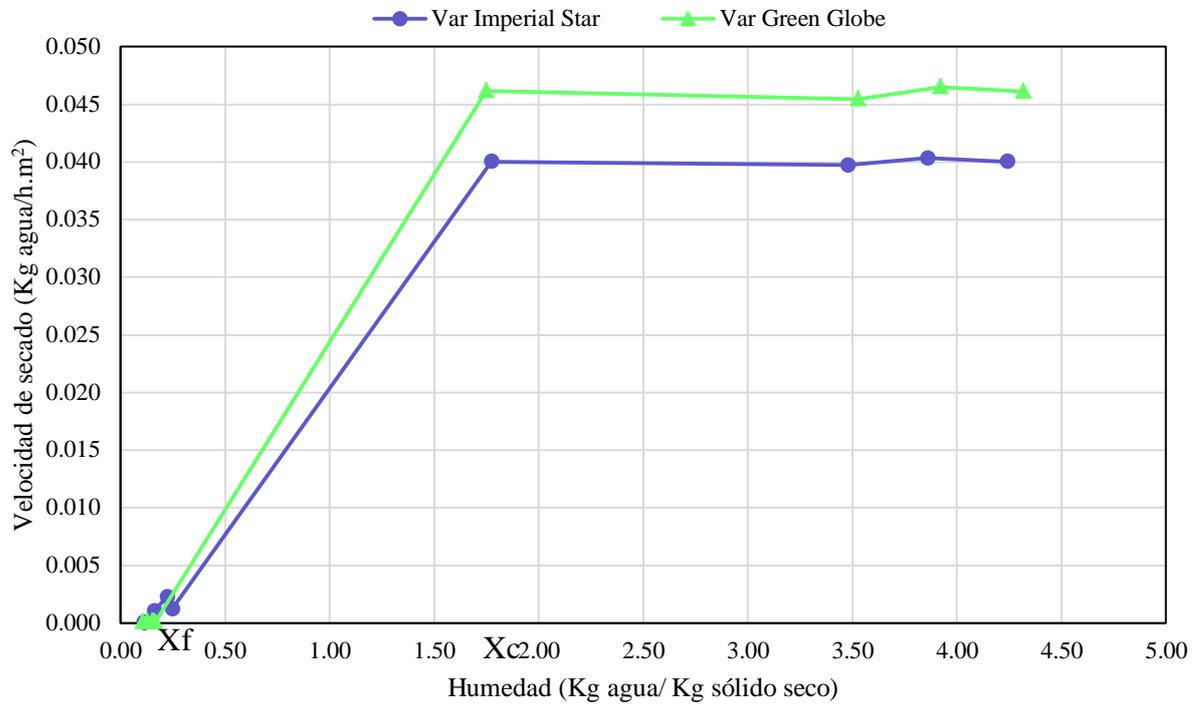
Gráfica 3.

Curva de velocidad de secado – Secado en bandeja



Gráfica 4.

Curva de velocidad de secado – Secado solar



El tramo del periodo de velocidad constante de secado está comprendido entre el contenido inicial y el contenido crítico de humedad del sólido (X_c). En la gráfica 3, las brácteas de alcachofa sometidas al proceso de secado en bandeja presentan un valor inicial de humedad de 5.036 y 5.196 Kg agua/Kg sólido seco reduciéndose hasta un valor crítico (X_c) de 3.499 y 3.662 Kg agua/Kg sólido seco en las var.Green Globe e Imperial Star, respectivamente. Durante este periodo, las velocidades de secado promedio son de 0.551 y 0.676 Kg/h.m² en un tiempo de 0.750 y 0.593 horas, en las variedades anteriormente mencionadas.

En comparación, la humedad de las brácteas de alcachofa sometidas al proceso de secado solar van desde 4.516 y 4.431 Kg agua/Kg sólido seco hasta un valor crítico (X_c) de 0.167 y 0.256 Kg agua/Kg sólido seco, presentando en promedio una velocidad de secado constante de 0.046 y 0.040 Kg/h.m² en un tiempo de 22 horas, para las variedades Green Globe e Imperial Star, respectivamente (Ver gráfica 4).

Durante este periodo se retira la mayor cantidad de humedad presente en las brácteas de alcachofa. Sin embargo, el periodo de velocidad constante es mayor en este tipo de secado (secado solar) debido a las condiciones climatológicas a las que estuvo expuesto el material durante el proceso, a diferencia del secado en bandeja cuyas condiciones constantes (55°C y 0.6 m/s) permitieron un secado uniforme de las muestras en 8 horas.

Las condiciones climatológicas también influyeron en la menor velocidad de secado de las brácteas de alcachofa sometidas a secado solar, al respecto Morales-Cruz, Juárez-Canales, Figueroa-González y Mancillas Medina (2017) afirman que las variantes condiciones de temperatura, velocidad de aire y humedad relativa del ambiente influyen significativamente en la velocidad de secado en un deshidratador solar.

Por su parte, Suárez-Hernández, Barrera-Zapata y Forero-Sandoval (2016) sostienen que cuando el material se expone a altas temperaturas, la difusión del agua dentro del material y la transferencia desde la superficie hacia el aire aumentan, incrementando la velocidad de secado del proceso; es decir, a mayor temperatura mayor velocidad de secado. Por ende, las brácteas de alcachofa sometidas a secado en bandeja

presentan una mayor velocidad de secado, pues la temperatura de secado establecida (55°C) fue mayor a las temperaturas alcanzadas en el interior de la cámara de secador solar.

Las gráficas 4 y 5 del Anexo 9 muestran el registro de la variación de temperatura en el interior del secador solar en ambas variedades de brácteas de alcachofa en estudio. Las brácteas de alcachofa de la var Green Globe registraron temperaturas promedio de 19.47°C durante la noche y 32.17°C durante el día; el aire del colector solar y el interior de la cámara de secado alcanzaron en promedio temperaturas de 19.92 y 19.64°C durante la noche, 38.64 y 35.79°C durante el día, respectivamente, logrando un secado uniforme a los 5 días.

En comparación, las temperaturas promedio alcanzadas en las muestras de la variedad Imperial Star (18.11°C y 36.15°C , durante el día y la noche respectivamente) y en el interior de la cámara de secado (18.16°C y 39.51°C , durante el día y la noche respectivamente) mostraron ligeras modificaciones debido a las diferentes condiciones climáticas, obteniéndose un secado uniforme a los 4 días. Es importante mencionar que las temperaturas del aire del colector solar no lograron ser registrada completamente debido a fallas en el sensor utilizado.

En el periodo de velocidad decreciente, la velocidad de secado es variante y empieza a disminuir, en ella se pueden distinguir dos etapas. En la primera la superficie húmeda del sólido empieza a disminuir hasta que seca completamente, en la segunda etapa el plano de evaporación se

desplaza lentamente por debajo de la superficie del sólido (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2005)

En la gráfica 3, correspondiente al secado en bandeja, se observa claramente ambas etapas anteriormente referidas. La primera se inicia desde la humedad crítica (X_c) hasta una humedad de 1.116 y 1.014 Kg agua/Kg sólido seco, mientras que la segunda etapa del periodo de velocidad decreciente se inicia en este último punto hasta la humedad final (X_f) del sólido, de 0.100 y 0.101 Kg agua/Kg sólido seco, en las brácteas de alcachofa de la var. Green Globe e Imperial Star, respectivamente.

La cantidad de humedad eliminada durante este periodo es pequeña y el tiempo empleado es mayor en comparación al tiempo requerido durante el periodo de secado a velocidad constante, en la cual se elimina una mayor cantidad de humedad. Al respecto Ibarz y Barbosa-Cánovas (2005) señala que ello es debido a la baja velocidad de secado durante el segundo periodo.

Es importante mencionar que, gráficamente el secado solar no presenta dos fases durante el periodo de velocidad decreciente, debido a los escasos datos reportados por el limitado acceso al secador solar. Sin embargo, se puede apreciar el inicio de este periodo desde la humedad crítica (X_c) hasta la humedad final (X_f) del sólido, cuyos valores son 0.105 y 0.110 Kg agua/Kg sólido seco, en un tiempo de 120 y 97 horas, en la var Green Globe e Imperial Star, respectivamente.

En general, en los procesos de secado en bandeja y secado solar, los fenómenos de transferencia de calor por conducción y convección natural tienen mayor influencia (Suárez-Hernández *et al.*, 2016). Así mismo, es importante mencionar que, en el secado en bandeja las condiciones de secado tales como la temperatura del proceso y la velocidad del aire pueden ser controladas, mientras que en el secado solar estos parámetros se ven fuertemente influenciados por las condiciones climáticas, impidiendo un control directo del proceso. A pesar de ello, el secado en bandeja implica mayores costos de equipo, en comparación el secador solar se presenta como un método económico a pesar de conllevar un largo tiempo de secado.

4.2. CARACTERIZACIÓN DE LA HARINA DE BRÁCTEAS DE ALCACHOFA

4.2.1. Análisis químico proximal

En la tabla 12 se presenta los valores del análisis químico proximal de la harina de brácteas de alcachofa:

Tabla 12.

Análisis químico proximal de la harina de brácteas de alcachofa

Variedad	Componente (%)	Tipo de secado		
		S. Bandeja	Liofilización	S. Solar
Green Globe	HUMEDAD	10.009 ± 0.212	9.076 ± 0.124	10.482 ± 0.592
	CENIZAS	3.512 ± 0.076	4.289 ± 0.021	3.275 ± 0.022
	PROTEINAS	12.107 ± 0.316	13.112 ± 0.129	12.434 ± 0.100
	FIBRA	64.50	54.87	41.66
Imperial Star	HUMEDAD	10.114 ± 0.187	8.984 ± 0.097	10.961 ± 1.074
	CENIZAS	3.159 ± 0.039	4.043 ± 0.087	3.574 ± 0.038
	PROTEINAS	12.399 ± 0.022	13.930 ± 0.053	12.936 ± 0.092
	FIBRA	47.15	60.07	39.02

El contenido de humedad de las harinas de brácteas de alcachofa, obtenidas a partir de los diferentes tipos de secado estuvo comprendida entre 8.984% y 10.961%, encontrándose dentro de las especificaciones de la NTP, que refiere que el porcentaje de humedad de las harinas no debe exceder el 15%, pues ello garantiza una buena conservación de la calidad, impidiendo reacciones enzimáticas, químicas y proliferación de microorganismos. (Velásquez y Obando, 2017).

En la harina obtenida por secado en bandeja se obtuvo un porcentaje de humedad de 10.009% y 10.114% para la variedad Green Globe e Imperial Star, respectivamente, valores semejantes al 10.231%, reportado por Ricce *et al.* (2013) quienes también trabajan con brácteas de alcachofa, pero con diferentes parámetros de secado (mayor temperatura y menor tiempo) a lo realizado en esta investigación.

Para la harina obtenida por secado solar se obtuvo un porcentaje de humedad de 10.482% y 10.961% para la variedad Green Globe e Imperial Star, respectivamente, valores que se aproximan a lo reportado por Rafael (1995), quien obtiene un porcentaje de humedad de 12.5%, la variación se puede justificar por el método de secado (secado solar), que está directamente relacionado con las condiciones climatológicas.

Existe una diferencia en el contenido de humedad de la harina obtenida a partir de los tres tipos de secado; pues resulta inaplicable trabajar bajo las mismas condiciones, dado que cada uno de estos tiene sus propios parámetros y condiciones. La humedad está directamente relacionada

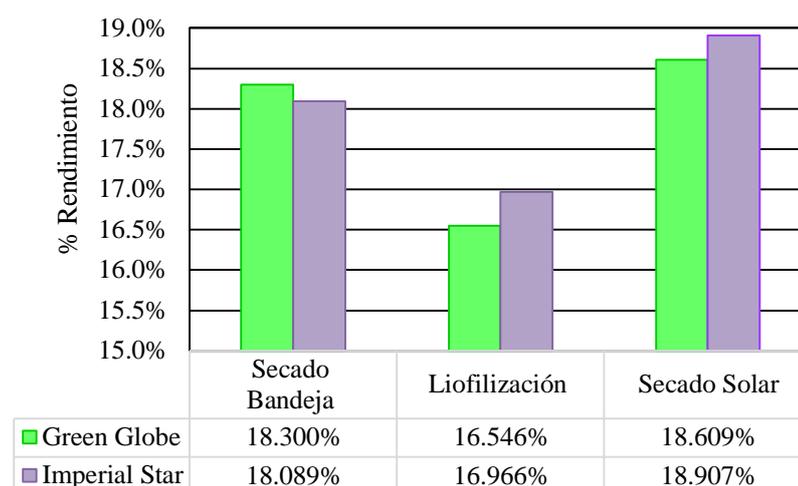
con el rendimiento, esto se pudo comprobar en la presente investigación, donde el menor rendimiento se obtuvo por liofilización, el cual presentó menor porcentaje de humedad; la misma relación se tuvo en el secado en bandeja y secado solar.

El rendimiento de la harina obtenido a partir de los diferentes tipos de secado en estudio es bajo, sin embargo no muestran alta variación entre sí.

El mejor rendimiento se obtuvo en el secado solar.

Gráfica 5.

Rendimiento de la harina obtenida por diferentes tipos de secado



Por otro lado, los resultados del análisis de cenizas a las harinas de brácteas de alcachofa obtenidas a partir de los diferentes tipos de secado, se encuentran dentro del rango de 3.159% y 4.289%, valores semejantes a los reportados por Cárdenas (2016) y Velásquez y Obando (2017), los cuales son de 4.82% y 4.47% respectivamente.

El contenido de proteínas de las harinas de brácteas de alcachofa oscilo entre el 12.107% y 13.930%, similares a lo reportado por Ruiz-

Cano *et al.* (2015) quienes obtuvieron valores entre 12.9 y 15.2%, señalando además que estas cantidades de proteína fueron considerablemente más altas que el contenido de proteínas de las fibras comerciales cuyos valores que oscilan entre el 5% y el 7%, y mayores que la harina de semilla de uva obtenida de subproductos de vino (11.5%).

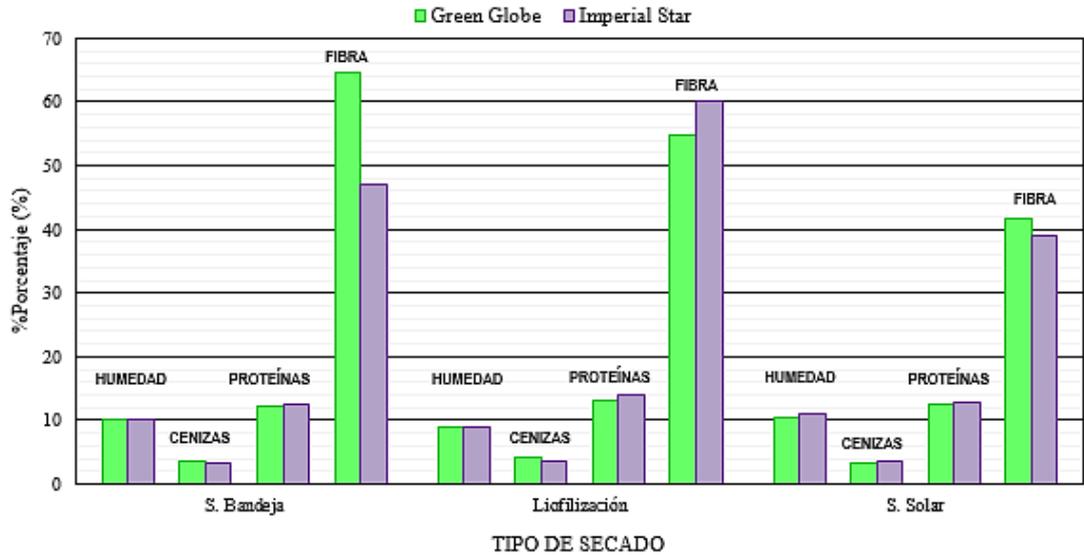
El contenido de fibra, estuvo comprendida entre 39.02% y 64.50%. Ruiz *et al* (2014), reporta valores dentro del rango de 53.60% y 67.0%; sosteniendo que, valores bajos son consecuencia de la posición de las brácteas en la cabeza de la alcachofa, es decir que las brácteas externas presentan mayor contenido de fibra que las internas.

En la gráfica 6, se observa la variación del contenido de fibra de las variables estudiadas. Cabe indicar que los alimentos con un contenido de fibra mayor al 50% podrían ser calificados como una fuente rica de fibra. Así mismo es importante resaltar que se ha demostrado por análisis térmicos que la fibra de alcachofa no varía a temperaturas cercanas a 230°C (Fiore, *et al.*, 2011).

La siguiente gráfica muestra los resultados de los análisis químicos proximales en función de la variedad y tipo de secado de las brácteas de alcachofa.

Gráfica 6.

Composición químico proximal de la harina obtenida por diferentes tipos de secado



En la gráfica 6, se puede observar que no existe una variación significativa en el contenido de cenizas y proteínas entre las variedades Green Globe e Imperial Star; así mismo, tampoco existe una diferencia de estos componentes entre las harinas obtenidas por los diferentes tipos de secado, ello se puede justificar debido a que estos componentes no se ven afectados por las diferentes temperaturas a la que fueron expuestos, dado que las temperaturas empleadas para los procesos de secado no superaron los 55°C. Caso contrario ocurre con el contenido de fibra, donde si existe una variación respecto a las variedades y tipo de secado. Ruiz *et al.* (2015), manifiesta que el contenido de fibra de la alcachofa se ve influenciado por el tamaño de la partícula presentes después del proceso de molienda, dado que las partes más fibrosas de las cabezas de alcachofa son más resistentes al proceso de molienda resultando fracciones con un mayor tamaño de partícula, ello justificaría la variación entre los distintos secados en estudio.

La diferencia del contenido de fibra entre las variedades Green Globe e Imperial Star puede justificarse por la edad o maduración de las alcachofas, dado que las brácteas maduras presentan mayor lignificación que las brácteas jóvenes. (Ruiz, 2015).

4.2.2. Análisis físico

4.2.2.1. Colorimetría

Los valores de los parámetros de color L, a*, b*, C* y h° de la harina de brácteas de alcachofa se muestran en la tabla 13.

Tabla 13.

Valores de colorimetría de la harina de brácteas de alcachofa

Variedad	Tipos de Secado	Luminosidad (L*)	a*	b*	Cromacidad (C*)	Angulo de Tonalidad (h)
<i>Green Globe</i>	S. Bandeja	78.818 ± 0.368	-2.649 ± 0.133	26.405 ± 1.386	26.537	95.729
	Liofilización	85.669 ± 0.321	-1.765 ± 0.847	29.690 ± 0.572	29.750	93.401
	S. Solar	78.183 ± 0.336	-1.383 ± 0.198	25.422 ± 1.598	25.460	93.119
<i>Imperial Star</i>	S. Bandeja	77.445 ± 0.043	-0.374 ± 0.198	24.357 ± 0.626	24.361	90.880
	Liofilización	85.656 ± 0.348	-0.720 ± 0.301	17.772 ± 0.413	17.789	92.333
	S. Solar	75.651 ± 0.382	-2.242 ± 0.076	28.035 ± 0.817	28.125	94.575

Los resultados de la tabla 13, describen harinas de tonalidad amarilla claro con ligeras tonalidades verdes. Los valores de luminosidad superiores a 75, indican cercanía al tono blanco.

Los valores de a^* , por encontrarse por debajo del valor 0, muestran una tendencia a los tonos verdes, mientras que el valor b^* indica, al tener valor positivo, que existe tendencia a las tonalidades amarillas.

Los parámetros cromáticos ($*C$) señalan baja saturación. Los valores del ángulo de tonalidad (h) comprendidos entre 90.880 y 95.729 se encuentran ubicados en el segundo cuadrante, con tendencia a la tonalidad amarilla.

Estos resultados son consistentes con los de Osuna-Aguirre, Rodríguez-Jiménez y Amaya-Guerra (2019), quienes informan que en la determinación del color de las harinas de alcachofa se deduce que estas poseen colores con tendencia al verde y amarillo, con una luminosidad media acercándose al límite alto.

4.2.3. Índice de solubilidad en agua (ISA)

Los resultados del índice de solubilidad en agua (ISA) de la harina de brácteas de alcachofa de las variedades Green Globe e Imperial Star se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14.

Índice de solubilidad (ISA) de la harina de brácteas de alcachofa

Variedad de alcachofa	Tipos de Secado	Índice de Solubilidad (%)
Var. Green Globe	S. Bandeja	10.899 ± 0.020
	Liofilización	12.088 ± 0.035
	S. Solar	9.127 ± 0.008
Var. Imperial Star	S. Bandeja	10.885 ± 0.019
	Liofilización	12.056 ± 0.054
	S. Solar	9.123 ± 0.006

En la tabla 14 se observa que el porcentaje del índice de solubilidad de las harinas en estudio varía entre 12.088 y 9.123% para las harinas obtenidas por liofilización y secado solar, respectivamente. El ISA de la harina obtenida por liofilización es mayor en comparación de las harinas obtenidas por secado en bandeja y secado solar, siendo este último el que presenta menor solubilidad. Ello puede justificarse por la conservación de la estructura de los alimentos en el secado por liofilización.

Diversos estudios (Martínez, Salinas, Flores y Ríos, 2002) reportan que la relación entre el índice de solubilidad en agua y la temperatura es directa, es decir que el ISA en harinas aumenta al incrementar la temperatura de secado. Lo referido justifica los valores de solubilidad obtenidos en la presente investigación, dado que la harina obtenida por secado en bandeja, expuesta a una mayor temperatura de secado (55°C) presentó un mayor ISA en

comparación con la harina obtenida por secado solar, donde se alcanzaron temperaturas promedio inferiores a 40°C. La variación en los valores obtenidos sobre solubilidad en las muestras de harina nos permitió realizar un análisis ANOVA.

A partir de análisis de varianza a un nivel de confianza del 95%, mostrado en el Anexo 10, de los resultados obtenidos en la tabla 14, se obtuvo diferencia estadísticamente significativa entre los valores de ISA de las harinas obtenidas por los diferentes tipos de secado en estudio, lo que indica que el tipo de secado (factor B) afecta e influye en el porcentaje de solubilidad de la harina de alcachofa. Así mismo se obtuvo que los valores de ISA para el factor variedad no presentan diferencia significativa, al igual que la interacción (AB) entre ambos factores (A: variedad y B: tipos de secado).

En el Anexo 10, se muestra también la prueba de rangos múltiples, que muestra la significancia entre medias. La significancia entre el par de medias, está representado por el asterisco presente en la tabla.

Las medias del secado en bandeja, liofilización y secado solar son de 10.892, 12.072 y 9.125% respectivamente. La diferencia entre los secados que presentaron un mayor y menor índice de solubilidad es de 2.947, esto representa un 24.412330% menos. La diferencia entre el secado en bandeja y secado solar fue menor (1.767) que representa 16.223%, sin embargo la menor diferencia

se obtuvo entre el secado por liofilización y secado en bandeja (1.180) que representa solo el 9.775%.

No se han reportado estudios de índice de solubilidad de la harina de brácteas de alcachofa, sin embargo es importante mencionar que el incremento del índice de solubilidad podría deberse a factores como, un menor contenido de amilopectina presente en los almidones, debido a que las ramificaciones laterales (amilopectina) de las moléculas de almidón facilitan la entrada de agua a los espacios intermoleculares. Al realizar una comparación entre la CRA y el ISA de las harinas en estudio, se observa que tienen una relación directa, esto podría deberse a que la amilopectina presente en la harina, es la de mayor proporción de disolución, lo cual incurre en el incremento de la solubilidad en agua además de la estabilidad de la viscosidad. (Bermúdez, 2017).

Por otra parte, es preciso indicar que, según Abugoch, (2006) las variaciones de la solubilidad con el pH, están relacionadas con la modificación de la carga neta de las proteínas y por lo tanto con su balance electrostático; en la zona cercana a su punto isoeléctrico (pI) la carga neta de las proteínas tiende a 0 y la variación de la solubilidad es mínima debido al aumento de la atracción entre las moléculas. Del lado alcalino al pI las proteínas tendrán una carga neta negativa y probablemente mayor que la carga neta positiva que presenta en medio ácido, de este modo las fuerzas repulsivas a pHs alcalinos y ácidos extremos serán más

importantes que las fuerzas de atracción aumentando la solubilidad en las proteínas aisladas de los alimentos.

El índice de solubilidad en agua, indica la cantidad de sólidos disueltos por el agua cuando una muestra de harina es sometida a un exceso de este líquido; así mismo, el nivel de cocción que ha tenido el alimento con que se preparó la harina, que en relación con el presente estudio se aplica el proceso de secado de las harinas de brácteas de alcachofa. (Bermúdez, 2017).

4.2.4. Capacidad de retención de agua (CRA)

Los resultados de la capacidad de retención de agua (CRA) de la harina de brácteas de alcachofa de las variedades Green Globe e Imperial Star se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15.

Capacidad de retención de agua (CRA) en harina de brácteas de alcachofa

Variedad de alcachofa	Tipos de Secado	CRA (g de agua retenida/g de muestra)
Var. Green Globe	S. Bandeja	5.361 ± 0.151
	Liofilización	5.901 ± 0.133
	S. Solar	5.347 ± 0.167
Var. Imperial Star	S. Bandeja	5.374 ± 0.235
	Liofilización	6.038 ± 0.056
	S. Solar	5.496 ± 0.110

Los valores promedio de CRA de las harinas evaluadas variaron de 5.347 g agua retenida/g de muestra en la harina de la var

Green Globe obtenida por secado solar, a 6.038 g agua retenida/g muestra en la harina de la var Imperial Star obtenida por liofilización. Los valores obtenidos son mayores al 4.2 g de agua retenida/g de muestra reportado por Márquez, Siche, Pretell y Miranda (2008) para harina de brácteas de alcachofa obtenida en una estufa de convección de aire forzada operado a 70 °C por 10 horas.

La diferencia entre los parámetros de secado puede justificar la variación de CRA entre ambos estudios, pues Garau *et al.*, (2007) sostiene que el secado a altas temperaturas (40-90°C) provoca una reducción de la capacidad de retención de agua. En la presente investigación, en comparación con el estudio realizado por Márquez *et al.* (2008), la mayor temperatura utilizada es de 55°C en el secado en bandeja, mientras que en el secado solar se alcanzó temperaturas promedio por debajo de 40°C, y en el secado por liofilización la temperatura más alta solo fue de 20°C en la etapa de sublimación.

En la tabla 15 se puede observar que, de manera general, el factor variedad no afecta la CRA de las harinas. Esto es comprobado estadísticamente a través del análisis de varianza (ANOVA) (Ver Anexo 11), que demuestra que solo existe diferencia estadísticamente significativa en la CRA del factor B (Tipos de Secado) a un nivel de confianza del 95%, y ni el factor A (Variedad) ni la interacción de ambas (AB) afectan significativamente la CRA de las harinas evaluadas.

En el Anexo 11 se observa la prueba de rangos múltiples, mostrándose 2 grupos homogéneos (S. en Bandeja-S. Solar y Liofilización), según la alineación de las X's en columnas. La significancia entre el par de medias, con un nivel del 95% de confianza está representado por el asterisco presente en la tabla.

Los valores de CRA para harina obtenida por liofilización presentaron una capacidad de ligar agua mayor en comparación a la harina obtenida por secado en bandeja y secado solar. La media del secado en bandeja, liofilización y secado solar es de 5.368, 5.970 y 5.422g de agua retenida/g de muestra, respectivamente. La diferencia entre los secados que presentaron una mayor y menor capacidad de retención de agua es de 0.602, esto representa un 10.084% menos. La diferencia entre el secado por liofilización y el secado solar fue menor (0.548) representando el 9.179%, sin embargo la menor diferencia se obtuvo entre el secado solar y secado en bandeja (0.054) que representa solo el 0.996%.

En general, la mayor CRA se presentó en las harinas obtenidas por liofilización, resultados similares se obtuvieron en un estudio realizado por Serpa, Vásquez, Castrillón e Hincapié (2015) en guayaba-pera, quienes reportaron que el proceso de deshidratación por liofilización presentó valores de CRA mayores a los obtenidos en secado por convección forzada a 30, 40, 50, 60 y 70°C. Khoozani, Bekhit y Birch (2019) también reportan que las muestras de harina de plátano verde liofilizadas

mostraron valores significativos más altos que las muestras sometidas a secado a 50, 80 y 110°C.

El proceso de liofilización ayuda a conservar la estructura del alimento deshidratado y a diferencia del secado por convección forzada no se presentan alteraciones de las paredes celulares por reacciones no deseadas debido a las altas temperaturas o interacciones liquido/gas que generan el colapso de las cavidades entre las estructuras durante el secado (Karelovic, 2012), ello justifica el mayor valor de CRA presentado por la harina obtenida por liofilización en comparación a las harinas obtenidas por secado en bandeja y secado solar.

Los valores de CRA en harina de alcachofa se deben especialmente a su alto contenido de celulosa y hemicelulosa, las cuales presentan una buena CRA (Mateu, 2004), además la capacidad y estabilidad que presenta la estructura física del material a evaluar determinaran en gran medida la CRA de las muestras (Serpa *et al.*, 2015) Ruiz-Cano *et al* (2015) señala que los valores de CRA de la harina de alcachofa sugieren que esta puede ser utilizada en formulaciones de algunos alimentos como la carne, los lácteos y productos de panadería, en estos últimos podría contribuir al aumento de la retención de agua necesaria para una óptima panificación de absorción.

4.2.5. Determinación de Polifenoles totales

La determinación de polifenoles totales se realizó por el método de Folin Ciocalteu (1994), los resultados se expresaron como equivalente de ácido gálico (EqAG) utilizando una curva de calibración (Anexo 6) obtenida con estándares de ácido gálico. La extracción sólido/líquido se realizó con etanol acuoso en una relación de 50% (v/v) como solvente y con sonicación, a una temperatura de 60°C, un tiempo de extracción de 30 minutos y una relación solido/líquido de 1g/10ml. Los resultados del contenido de polifenoles totales extraídos en la harina de brácteas de alcachofa se muestran en la tabla 16.

Tabla 16.

Contenido de Polifenoles Totales en harina de brácteas de alcachofa (*Cynara scolymus*) variedad Green Globe e Imperial Star; obtenidas por secado en bandeja, liofilización y secado solar

Muestra	Variedades	Tipos de Secado	Polifenoles Totales (mg Eq AG /g muestra)			
			R ₁	R ₂	R ₃	Promedio
1	Green Globe	S. Bandeja	14.395	12.010	12.737	13.047 ± 1.222
2	Green Globe	Liofilización	16.509	15.709	16.129	16.116 ± 0.400
3	Green Globe	S. Solar	11.834	11.535	10.840	11.403 ± 0.510
4	Imperial Star	S. Bandeja	18.550	18.297	18.058	18.302 ± 0.246
5	Imperial Star	Liofilización	21.215	23.704	23.654	22.858 ± 1.423
6	Imperial Star	S. Solar	15.935	16.811	16.554	16.433 ± 0.450
7*	Green Globe	S. en Bandeja	13.141	13.658	12.362	13.141 ± 0.686
8*	Green Globe	Liofilización	16.527	15.650	16.215	16.131 ± 0.444
9*	Green Globe	S. Solar	11.721	11.445	10.921	11.362 ± 0.406
10*	Imperial Star	S. Bandeja	18.099	17.859	18.062	18.007 ± 0.129
11*	Imperial Star	Liofilización	22.186	21.992	22.227	22.135 ± 0.126
12*	Imperial Star	S. Solar	16.251	16.152	16.224	16.209 ± 0.051

*: Réplica / R_i: Repeticiones

En la tabla 16, se muestran los resultados del contenido de polifenoles totales de los 6 tratamientos realizadas en esta investigación con una réplica, considerando los 2 factores o variables independientes en estudio: variedad de alcachofa (Green Globe e Imperial Star) y tipo de secado (secado en bandeja, liofilización y secado solar).

El contenido de polifenoles totales de las harinas de brácteas de alcachofa, estuvo comprendida entre 11.362 ± 0.406 y 22.858 ± 1.423 mgEqAG/gmuestra, variando dependiendo del tipo de secado y de la variedad de la materia prima. Los valores obtenidos para harina de brácteas de alcachofa son semejantes a los reportados por Zuorro, Maffei y Lavecchia, (2014), quienes reportan que el contenido de compuestos fenólicos en harina de brácteas de alcachofa, obtenida en un deshidratador de aire forzado operado a 50 °C, varía entre 11.23 y 19.44 mgEqAG/gmuestra, esta variación la justifican por los parámetros de extracción. Los autores establecen que el factor que más predominio tiene en la extracción es el tiempo seguido de la temperatura. El valor más alto (19.44 mgEqAG/gmuestra) fue extraído con parámetros de temperatura de 60°C, tiempo de extracción de 90 minutos, relación líquido/sólido de 30mL/g y el solvente empleado fue el mismo (etanol 50%). Este valor puede ser comparado directamente con el valor obtenido en el secado en bandeja de la var. Imperial Star, dado que la temperatura de secado varía solo en 5°C. Sin embargo, es importante mencionar que el tiempo de extracción fue mayor y no se aplicó sonicación, lo que nos permite inducir que la sonicación resulta

favorable para la extracción de compuestos fenólicos dado que se obtuvo un valor semejante en un menor tiempo (30 minutos).

Según Cerón, Higueta y Cardona (2011) la sonicación, es un factor favorable en la extracción de polifenoles, estos autores explican que esta metodología facilita la transferencia de compuestos desde el interior de la célula al disolvente de extracción, aumentando el rendimiento de los compuestos de interés. Otros autores refirman esta idea, explicando que la eficiencia del ultrasonido se atribuye al efecto cavitacional que facilita la liberación de compuestos extraíbles y mejora el transporte de masa por difusión o rompiendo las paredes celulares de la planta (Chemat *et al.*, 2011).

Sin embargo, Martínez y Usaque (2015), en su estudio del efecto de ultrasonido en el nivel de extracción de polifenoles en bagazo de uva, sostiene que el sobreexponer el tejido a la vibración generada por las ondas de ultrasonido durante tiempos prolongados, causan un efecto negativo, generado por el colapso de la estructura del material, conllevando una mayor resistencia a la transferencia de masa y por lo tanto los niveles de extracción disminuirían.

En otra investigación realizada por Zuorro, Maffei y Lavecchia (2015), reportan que el contenido fenólico en los residuos de alcachofa es más alto (32.2 mgEqAG/gmuestra), ello puede atribuirse a las diferentes condiciones de secado de la materia prima (40°C) pues el solvente empleado es el mismo (etanol 50% (v/v)). En este estudio se evaluaron las variables de extracción tales como temperatura (T),

tiempo (Θ) y relación solido/liquido (R), encontrándose que las condiciones óptimas para una buena extracción con más del 90% de recuperación de la concentración fenólica fueron de T:53,3°C, Θ :110,4min y R: 3.3mL/g.

Es preciso indicar que, el contenido de polifenoles en la alcachofa puede variar y/o verse afectadas por los diferentes tipos de muestras analizadas (brácteas internas, externas o cabeza entera), condiciones ambientales y periodo de desarrollo. Lombardo, Mauromicale y Williamson (2010), cuantificaron los polifenoles en las brácteas interiores y exteriores de la alcachofa, utilizaron 6 variedades cultivadas en diferentes partes; la investigación arrojó que el cambio en la concentración de polifenoles depende de donde se ubiquen las brácteas y de la zona en que se cultiva. Obtuvieron que el perfil fenólico es mejor en las brácteas interiores que en las brácteas exteriores, obteniendo una variación de casi el 70%.

En nuestra investigación, el valor más alto fue de 22.858 mgEqAG/g muestra para la muestra de harina de la variedad Imperial Star obtenida por liofilización; mientras que, el valor más bajo fue de 11.362 mgAG/g muestra para la muestra de harina de la variedad Green Globe obtenida por secado solar; ello puede justificarse por lo anteriormente mencionado; además de las condiciones de secado de la materia prima. Cabe mencionar que la comparación con valores reportados resulta difícil dado que se han aplicado diferentes métodos analíticos, diferentes estándares de calibración y diferente forma de

expresar la concentración fenólica (Lombardo, Mauromicale y Williamson, 2010).

Al comparar el contenido de polifenoles totales de las muestras frescas mostrados en el Anexo 12, con los resultados de los tratamientos (tabla 16), se puede verificar que existe una pérdida mínima en el secado por liofilización, dado que la retención de polifenoles totales es más del 90%, a diferencia del secado en bandeja y secado solar cuyo porcentaje de retención solo supera el 70 y 60% respectivamente. (Anexo 12).

Existe una amplia variación del contenido de polifenoles totales en las muestras de harina, dependiendo del tipo de secado y de la variedad de la materia prima. En la tabla 17 se muestra el análisis de varianza (ANOVA) que evalúa la variabilidad de los factores en estudio (variedad y tipo de secado), sobre el contenido de polifenoles totales de la harina de brácteas de alcachofa. La prueba-F en la tabla ANOVA, permite identificar los factores significativos.

Tabla 17.

Análisis de Varianza para la cuantificación de Polifenoles Totales

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS					
PRINCIPALES					
A:Variedades	89.3202	1	89.3202	1597.13	0.0000
B:Tipos de Secado	62.0012	2	31.0006	554.32	0.0000
INTERACCIONES					
AB	1.26771	2	0.633854	11.33	0.0092
RESIDUOS	0.335553	6	0.0559256		
TOTAL	152.925	11			
(CORREGIDO)					

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Del análisis estadístico mostrado en la tabla 17, se tiene que el valor de F para los factores A (Variedades) y B (Tipos de Secado) son altos, lo que indica que son estadísticamente significativos, a un nivel de confianza del 95%; asimismo, los valores de P menores a 0.05 reafirman que las variables A, B y la combinación de ambas (AB) son significativas.

En la prueba de rangos múltiples, entre las medias de los factores en estudio (variedad y tipo de secado) mostrados en las tablas 18 y 19, se muestran cuáles medias son significativamente diferentes de otras a partir de un procedimiento de comparación múltiple.

Tabla 18.

Pruebas de múltiple rangos para el contenido de polifenoles. Variedades de Alcachofa

Variedades	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Var Green Globe	6	13.5342	0.096545	X
Var Imperial Star	6	18.9907	0.096545	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Var Green Globe - Var Imperial S	*	-5.4565	0.33409

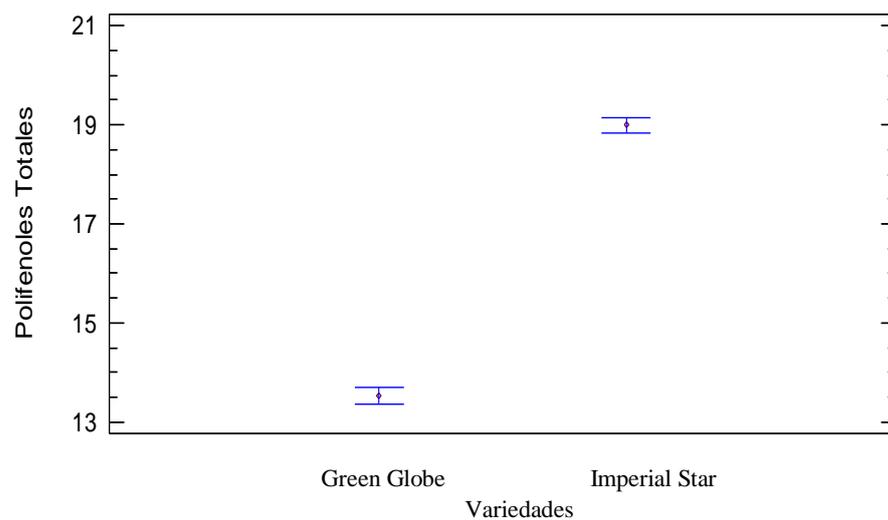
* indica una diferencia significativa

La tabla 18 muestran 2 grupos homogéneos (Var Green Globe y Var Imperial Star), los cuales muestran diferencia estadística significativa entre si, dado que las X's no comparten una misma columna (no están alineadas). La significancia entre el par de medias, con un nivel de

confianza del 95%, está representado por el asterisco presente en la tabla.

En la gráfica 7, se observa la significancia existente entre el factor variedad, así como la comparación de medias de tukey HSD, donde la media de la variedad Green globe es 13.534 mgEqAG/g muestra y la media de la variedad Imperial Star es 18.991 mgEqAG/g muestra, existiendo una diferencia de -5.457 que representa el 28.73% menos que la variedad Imperial Star.

Gráfica 7. Medias y 95% de Tukey HSD para el factor variedad



Factores como la posición de las brácteas y lugar de cultivo de la alcachofa (*Cynara scolimus*) causan la variación del contenido de polifenoles totales, esto fue demostrado en estudios realizados por Lombardo *et al.* (2010).

La tabla 19 muestra 3 grupos homogéneos (Secado bandeja, liofilización y secado solar), los cuales presentan diferencia estadística significativa entre sí, dado que las X's no están alineadas.

La significancia entre los pares de medias (Secado bandeja-liofilización, secado bandeja - secado solar y liofilización – secado solar), con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$), está representado por el asterisco presente en la siguiente tabla.

Tabla 19.

Pruebas de múltiple rangos para el contenido de polifenoles. Tipo de secado

<i>Tipos de Secado</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
S. Solar	4	13.853	0.118243	X
S. en Bandeja	4	15.6243	0.118243	X
Liofilización	4	19.31	0.118243	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

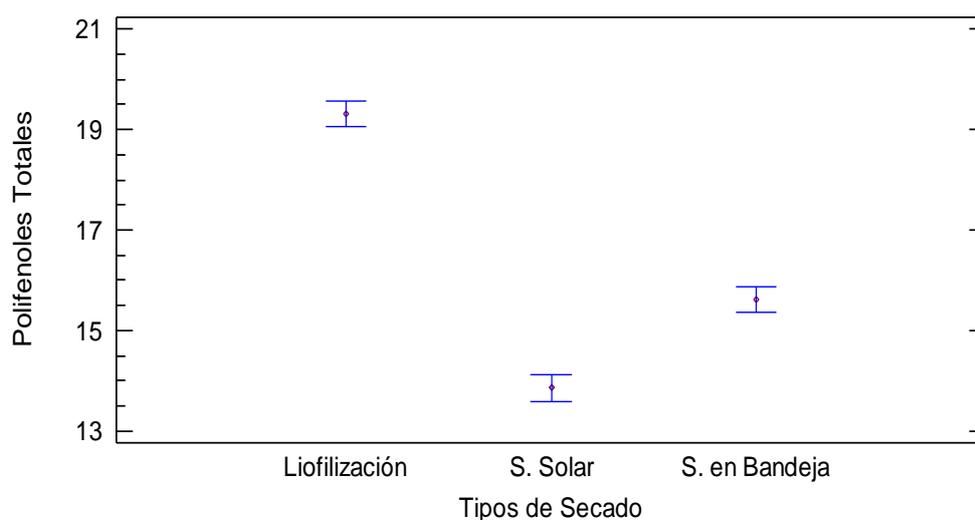
<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Liofilización - S. Solar	*	5.457	0.513083
Liofilización - S. en Bandeja	*	3.68575	0.513083
S. Solar - S. en Bandeja	*	-1.77125	0.513083

* indica una diferencia significativa.

En la gráfica 8, se observa la significancia existente y la comparación de medias (tukey HSD) del factor secado, donde la media del secado en bandeja, liofilización y secado solar es de 15.624, 19.310 y 13.853 mgEqAG/gmuestra respectivamente. La diferencia del contenido de polifenoles totales entre los secados que retuvieron una mayor y menos cantidad polifenólica es de 5.457, esto representa un 28.26% menos. La diferencia entre el secado por liofilización y el secado en bandeja fue menor (3.686) representando el 19.08 %, sin embargo la menos diferencia se obtuvo entre el secado en bandeja y secado solar

(-1.771) que representa solo el 11.33%. La variación del contenido polifenólico, según el tipo de secado, se debe a las condiciones y parámetros que se siguieron en cada proceso de deshidratación del vegetal.

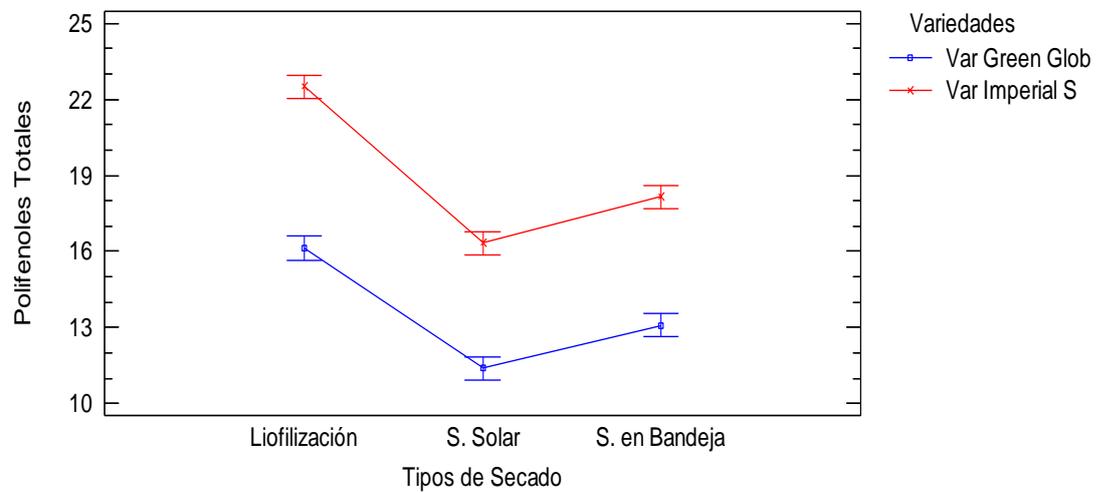
Gráfica 8. Medias y 95% de Tukey HSD para el factor TIPO DE SECADO



M'hiri, Ioannou, Ghoul y Mihoubi (2017) hace mención que el tiempo y velocidad en la deshidratación de los alimentos influyen significativamente en la estabilidad de los compuestos antioxidantes y fenólicos. Estas condiciones de secado tienen un impacto en las características fisicoquímicas y funcionales del producto final. (Silva, Santana, Duarte y Barroso, 2016).

La interacción existente entre la variedad y tipo de secado de las muestras, con respecto al contenido polifenólico, se observa en la siguiente gráfica:

Gráfica 9. Interacción entre los factores, variedad y tipo de secado, frente al contenido polifenólico



Del gráfico se puede observar que la variedad Imperial Star presenta una mayor cantidad de polifenoles totales, en comparación de la variedad Green Globe. Aunque se desconoce la causa exacta del contenido polifenólico inferior en Green Globe respecto a Imperial Star después del secado; esta relación (variedad Imperial Star > variedad Green Globe) es semejante a lo reportado por Wang *et al.* (2003), ya que reportan que el contenido polifenólico de estas variedades difieren en un 10.31%.

Es importante destacar que, diversos estudios han demostrado que el contenido polifenólico en la alcachofa, puede variar según el genotipo y fase de desarrollo; además que, tienen a acumularse en diferentes partes de la planta. (Pandino *et al.* 2013, citado por Zorro, Maffei y Lavecchia, 2014).

Por otro lado, los resultados obtenidos en el presente estudio nos proporcionan información útil sobre los efectos del tipo de secado en

el contenido de polifenoles totales. Se reportó una influencia significativa de las condiciones y/o parámetros de deshidratación de las muestras, frente al contenido polifenólico. Esto puede observarse en la gráfica 9, donde las muestras que fueron obtenidas por secado en bandeja y secado solar, presentaron menor contenido de polifenoles totales, en comparación de las muestras obtenidas por liofilización. Esta última técnica de secado, a diferencia del secado en bandeja, se realiza a bajas temperaturas; por su parte, la temperatura del secado solar depende principalmente de las condiciones climatológicas.

En general, en el proceso de secado pueden activarse enzimas oxidativas e hidrolíticas, que podrían ser la causa de la pérdida del contenido fenólico en los alimentos. (Larrosa *et al.*, 2016); sin embargo, se conoce que el secado por liofilización es el mejor método de deshidratación de los alimentos por su metodología de proceso (congelación, sublimación y desorción), permitiendo la mejor conservación de la composición nutricional y funcional de los alimentos, además de sus características organolépticas.

Shofian *et al.*, (2011), menciona que durante la etapa de congelación en la liofilización, las células de los alimentos pueden romperse ocasionando la descompartización de ciertas enzimas, sustratos y activadores, consecuentemente, el aumento de la actividad de las enzimas al descongelarse podrían causar la degradación de algunos compuestos fenólicos. Estudios han demostrado que existe una pérdida no significativa del contenido de polifenoles totales en alimentos frescos y secados por liofilización, como lo reporta

Huachuillca (2017) en muestras de pulpa de aguaymanto. Destaca que el porcentaje de retención de polifenoles totales en las muestras liofilizadas es del 97.76%, este porcentaje de retención es similar a lo obtenido en nuestra investigación (95.59%), donde tampoco se registra diferencia significativa (Anexo 12) al 95% de confianza.

Aún no se han reportado los efectos de este proceso en el contenido de polifenoles totales de las variedades de alcachofa en estudio, no obstante, nuestros resultados nos permiten comprobar la pérdida mínima del contenido polifenólico de la harina obtenida por liofilización. La alta inversión de equipamiento, altos costos energéticos y elevado tiempo de proceso hacen de este método poco recomendable para la industria alimentaria; por consiguiente, resulta importante realizar investigaciones comparativas con otras técnicas y/o métodos de secado (secado en bandeja y secado solar).

El secado por convención de aire caliente, es uno de los métodos con menos costo de inversión, por ello es comúnmente utilizado en la industria alimentaria; sin embargo, este método de secado causa la degradación de nutrientes importantes y contenido polifenólico en los alimentos, por su largo tiempo y alta temperatura para completar el proceso (Wojdylo *et al.*, 2014).

En la gráfica 9, al comparar el contenido de polifenoles totales en las muestras obtenidas por liofilización y secado en bandeja, podemos notar que el contenido polifenólico de la harina obtenida por secado en bandeja es menos, esto comprueba lo referido por Wojdylo *et al.*,

(2014) ya que en el secado en bandeja se trabajó a una temperatura de 55°C por 8 horas, mientras que en el proceso de liofilización la temperatura más alta solo fue de 20°C en la etapa de sublimación.

En un estudio realizado por Ruiz-Cano *et al.* (2015), con subproductos de alcachofa reporta que el contenido de polifenoles totales es de 10.30mgEqAG/g muestra bajo condiciones de secado de 60°C durante 24 horas. Este valor de polifenoles totales es inferior a lo reportado en el presente estudio (18.155 y 13.094 mgEqAG/g muestra, en promedio para la variedad Green Globe e Imperial Star respectivamente) ello se puede justificar por la menor temperatura y tiempo de secado empleado (55°C por 8 horas). Asimismo, por el tiempo y temperatura de escaldado de las muestras ya que durante este proceso se inactiva la polifenol oxidasa, enzima responsable de la oxidación de los polifenoles. (Zuorro *et al.*, 2014).

Por su parte el secado solar es considerado el de menor costo, por su dependencia exclusiva de la de energía solar. No obstante, sus largos tiempos de secado y la temperatura a la que es expuesto genera la degradación térmica de los compuesto fenólicos. (Li, 2018).

En la gráfica 9, se observa que las muestras de harina obtenidas por dicho secado, presentaron la menor cantidad de polifenoles totales, esto reafirma lo dicho por Li, (2018), pues pese a alcanzar temperaturas promedio por debajo de 40°C (menor que el secado en bandeja), como se reporta en el Anexo 9, el contenido de polifenoles

fue menor, ya que los tiempos de secado fueron de 4 y 5 días para la variedad Imperial Star y Green Globe respectivamente.

Gouveia (2012), reporta un valor de 2.336 mgEqAG/g muestra en brácteas de alcachofa secas a temperatura ambiente, protegidas de la luz solar directa y extraídas con metanol, esta metodología de secado, es la que más se ajusta al secado solar empleado en esta investigación, pues no se han reportado estudios del contenido polifenólico en alimentos con esta técnica de secado. Los valores obtenidos (11.382 y 16.321 mgEqAG/g muestra, en promedio para la variedad Green Globe e Imperial Star, respectivamente) son superiores, esto se justifica por las condiciones de secado (tiempo y temperatura) y extracción (solvente, tiempo y temperatura) de la muestra. El solvente empleado para la extracción de nuestras muestras fue etanol acuoso al 50%, mientras que, Gouveia (2012) en su investigación extrae con metanol.

Pinelo *et al.*, (2006) citado por Melgarejo (2018), indicaron que las condiciones en el proceso de extracción sólido/líquido influyen en el rendimiento de extracción de compuestos antioxidante, por esta razón, la elección del solvente tiene un rol importante. Zuorro, *et al.*, (2014), en su investigación comprueba la antes mencionada, pues evalúa el efecto del tipo de solvente en el contenido polifenólico de residuos de alcachofa, determinando que la eficiencia de la extracción se ve afectada por el tipo de solvente y las condiciones del proceso.

4.2.6. Determinación de Capacidad antioxidante

La determinación de la capacidad antioxidante de la harina de brácteas de alcachofa obtenidas por diferentes tratamientos de secado, se realizó a partir de 2 métodos colorimétricos DPPH y FRAP

4.2.6.1. Método DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

- Metodología convencional

La determinación de la capacidad antioxidante se realizó por el método colorimétrico DPPH, el cual se basa en la reducción del radical libre estable 2,2- difenil-1-picrilhidrazil, este tiene un electrón desapareado azul-violeta, el cual se decolora a amarillo pálido por relación con la sustancia capturadora de radicales libres. La reducción del reactivo se siguió espectrofotométricamente a 517nm, midiendo la disminución de la absorbancia.

Los resultados obtenidos se expresaron como micromol equivalente Trolox/100g de muestra ($\mu\text{moleqTrolox}/100\text{g}$) utilizando una curva de calibración obtenida con estándares de Trolox además de un indicador catión radical DPPH (Anexo 13). La extracción sólido/líquido se realizó con metanol grado HPLC como solvente y con sonicación, a una temperatura de 60°C, un tiempo de extracción de 30 minutos y una relación solido/liquido de 1g/10ml.

Los resultados obtenidos de la capacidad antioxidante de la harina obtenida por secado en bandeja, liofilización y secado solar por el método DPPH, se muestran en la Tabla 20. En ella se detalla los valores obtenidos de los 12 tratamientos realizados en la presente investigación, considerando que se realizó una réplica.

Tabla 20.

Determinación de Capacidad antioxidante por el método DPPH en harina de brácteas de alcachofa (*Cynara scolymus*) variedad Green Globe e Imperial Star; obtenidas por secado en bandeja, liofilización y secado solar

Muestra	Variedades	Tipos de Secado	Capacidad antioxidante –método DPPH ($\mu\text{mol eq Trolox}/100\text{g muestra}$)			
			R ₁	R ₂	R ₃	Promedio
1	Green Globe	S. Bandeja	44055.511	41865.164	40307.393	42076.023±1882.935
2	Green Globe	Liofilización	81091.507	80109.447	78519.725	79906.893±1297.801
3	Green Globe	S. Solar	45925.150	44818.793	48178.380	46307.441±1712.109
4	Imperial Star	S. Bandeja	37928.299	39143.231	38494.405	38521.978±607.935
5	Imperial Star	Liofilización	72162.797	71968.737	72509.752	72213.762±274.085
6	Imperial Star	S. Solar	39088.345	39903.200	41097.158	40029.568±1010.351
7*	Green Globe	S. Bandeja	43200.844	43195.356	42259.360	42885.187±541.989
8*	Green Globe	Liofilización	79311.646	79758.571	79961.452	79677.223±332.453
9*	Green Globe	S. Solar	46280.514	46060.854	45834.255	46058.541±223.138
10*	Imperial Star	S. Bandeja	38525.768	37604.474	38561.247	38230.496±542.441
11*	Imperial Star	Liofilización	70782.816	72207.882	72236.893	71742.530±831.264
12*	Imperial Star	S. Solar	40880.948	41311.408	40640.627	40944.328±339.852

*: Réplica / R_i: Repeticiones

La tabla muestra los valores de capacidad antioxidante obtenidos por el método DPPH, estos se encuentran en el intervalo de 38521.978 ± 607.935 y 79906.893 ± 1297.801 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$, la variación existente dependió de las variables en estudio (variedad de alcachofa y tipo de secado). Así pues la harina de brácteas de alcachofa que presento mayor actividad antioxidante fue la obtenida por liofilización y de la variedad Green Globe, mientras que la que presento menor poder antioxidante fue la obtenida por secado en bandeja y de la variedad Imperial Star. La temperatura elevada en el secador en bandeja (55°C) puede ser causa de la disminución de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos, ya que un aumento de la temperatura produce la degradación de compuestos fenólicos. (Guntero y Longo (2015), citado por Silva y Martínez (2017)). Por su parte, Alcarraz *et al.* (2018), mencionan que las variedades botánicas de los alimentos pueden influir en la calidad funcional de estos, es decir que la capacidad antioxidante además del contenido polifenólico de los alimentos varía entre una variedad y otra, esto pudo corroborarse en nuestra investigación dado que el valor determinado de capacidad antioxidante por el método DPPH para la variedad Green Globe e Imperial Star muestra una significativa diferencia.

Gouveia y Castillo (2012), reportan que el contenido de capacidad antioxidante en la brácteas de alcachofa es de

3770 μ mol eq Trolox/100g muestra, valor menor a los determinados en esta investigación. La significativa variación puede ser consecuencia de las condiciones y parámetros de extracción además de las características fisiológicas del fruto, los tipos de procesamientos y condiciones de almacenamiento (Shofian *et al*, 2011). Estos autores, en su investigación emplean el mismo método colorimétrico (DPPH), sin embargo la forma de extracción empleada difiere en el tipo de solvente empleado (etanol) y en el no aplicar sonicación.

La sonicación o ultrasonido es favorable en la extracción dado que deteriora la pared celular de la muestra, aumentando la absorción del disolvente y el rendimiento de extracción (Toma, Vinatoru, Paniwnyk, y Mason, 2001). Así mismo, Soria y Villamiel, (2010) mencionan que la sonicación mejora simultáneamente la hidratación y la fragmentación de la matriz del alimento, mientras facilita la transferencia de masa de solutos hacia el disolvente de extracción. Los resultados obtenidos en esta investigación en actividad antioxidante por DPPH fueron elevados, esto como consecuencia de la aplicación de ultrasonido para su extracción.

Ruiz, Corona, Martínez y Carranza (2016), estudiaron la diferencia entre una extracción convencional y una extracción con ultrasonido en semillas de chía, la metodología asistida con sonicación mostró mayor capacidad de extracción que la metodología convencional; es decir que el rendimiento de

extracción de compuestos fenólicos en las semillas de chía aumentó. Aunque no se haya trabajado la misma materia prima en esta investigación, el proceso de sonicación demuestra los beneficios de las ondas ultrasónicas para la extracción ya que estas tienen la capacidad de producir cambios en las propiedades químicas, físicas, mecánicas, y/o bioquímicas del alimento. (Rodríguez, Robaina, Jáuregui, Blanco y Rodríguez, 2014), citado por Silva y Martínez (2017)).

Silva y Martínez (2017), reportan valores de 1 010 eq Trolox/100g de peso seco, este valor es también inferior al obtenido en la presente investigación, esto se atribuirse a la diferente forma de extracción dado que estos autores aplican pre tratamientos de maceración, además que el tiempo y solvente empleado son distintos.

Cabe menciona que, existen escasas investigaciones que reporten valores de capacidad antioxidante para brácteas de alcachofa específicamente expresadas en $\mu\text{mol Eq Trolox}/100\text{g}$ muestra, por eso resulta importante comparar los resultados obtenidos, con valores de alcachofa (corazón). Claus *et al.* (2015), reportaron un valor superior ($129\ 000\ \mu\text{mol Eq Trolox}/100\text{g}$ peso seco), mientras que Tiveron *et al.* (2012), reportan un valor de $7\ 010\ \mu\text{mol Eq Trolox}/100\text{g}$ peso seco.

Por otro lado, al comparar los valores obtenidos del poder antioxidante de las brácteas de alcachofa mostradas en el

Anexo 13, con los obtenidos en los distintos tratamientos (tabla 20) se obtuvo que la diferencia es mínima, es decir que la pérdida de la capacidad antioxidante de la harina obtenida por liofilización es mínima, generando un porcentaje de retención mayor al 95%; sin embargo, el porcentaje de retención del secado en bandeja y secado solar solo supera el 50 y 60% respectivamente. (Anexo 13).

La tabla 21 muestra la diferencia significativa que existe entre las variables en estudio, ello a partir de una análisis de varianza ANOVA donde se evalúa la variabilidad entre las variedades de harina de alcachofa y el tipos de secado empleado para su obtención. La razón-F en la siguiente tabla nos permite determinar los factores significativos.

Tabla 21.

Análisis de Varianza para capacidad antioxidante por el método DPPH - Metodología convencional

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Variedad de Alcachofa	1.03421E8	1	1.03421E8	648.66	0.0000
B:Tipo de Secado	3.10018E9	2	1.55009E9	9722.23	0.0000
INTERACCIONES					
AB	6.92651E6	2	3.46325E6	21.72	0.0018
RESIDUOS	956627.	6	159438.		
TOTAL (CORREGIDO)	3.21149E9	11			

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Del análisis estadístico mostrado en la tabla 18, se tiene que el valor de F para los factores A (Variedades) y B (Tipos de Secado) son altos, lo que indica que son estadísticamente significativos, a un nivel de confianza del 95%; asimismo, los valores de P menores a 0.05 (95% confianza) reafirman que las variables A, B y la combinación de ambas (AB) son significativas.

En las tablas 22 y 23 se muestran la prueba de rangos múltiples, entre las medias de los factores en estudio (variedad y tipo de secado, respectivamente), las tablas muestran que medias son significativamente diferentes de otras, a partir de un procedimiento de comparación múltiple.

Tabla 22.

Pruebas de múltiple rangos para capacidad antioxidante (Método DPPH) Variedades de Alcachofa

Variedades	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos homogéneos
Imperial Star	6	50280.4	163.012	X
Green Globe	6	56151.9	163.012	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Green Globe - Imperial Star	*	5871.44	564.098

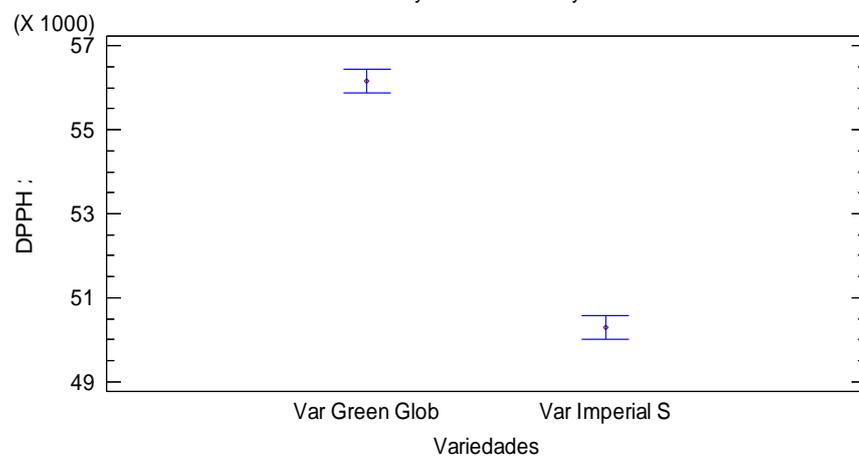
* indica una diferencia significativa.

La tabla 22 se muestran 2 grupos homogéneos (Var Green Globe y Var Imperial Star), los cuales muestran diferencia estadística significativa entre si, dado que las X's no comparten

una misma columna (no están alineadas). La significancia entre el par de medias, con un nivel de confianza del 95%, está representado por el asterisco presente en la tabla.

En la gráfica 10, se observa la significancia existente entre el factor variedad, así como la comparación de medias de tukey HSD, donde la media de la variedad Green Globe es 56151.9 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$ y la media de la variedad Imperial Star es 50280.4 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$; existiendo una diferencia de 5871.44, que representa el 10.46% menos que la variedad Green Globe.

Gráfica 10. Medias y 95% de Tukey HSD para el factor VARIEDAD



La tabla 23 muestra 3 grupos homogéneos (S. bandeja, liofilización y S. solar), los cuales presentan diferencia estadística significativa entre sí, dado que las X's no están alineadas. La significancia entre los pares de medias (Liofilización – S. Solar, Liofilización – S. Bandeja y S. Bandeja–S. Solar), con un nivel de confianza del 95% ($\alpha =$

0.05), está representado por el asterisco presente en la siguiente tabla.

Tabla 23.

Pruebas de múltiple rangos para capacidad antioxidante (Método DPPH) Tipo de secado

Tipo de Secad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
S.Solar	4	43335.0	199.648	X
S. Bandeja	4	40428.4	199.648	X
Liofilización	4	75885.1	199.648	X

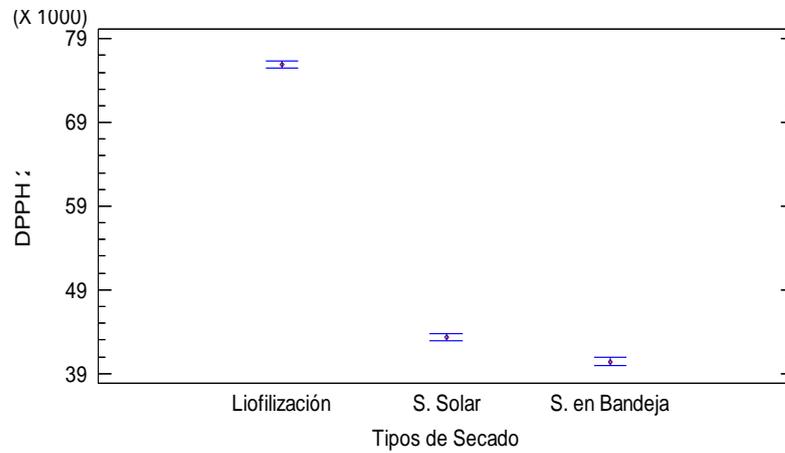
Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Liofilización - S. Bandeja	*	35456.7	866.319
Liofilización - S.Solar	*	32550.1	866.319
S. Bandeja - S.Solar	*	2906.55	866.319

* indica una diferencia significativa

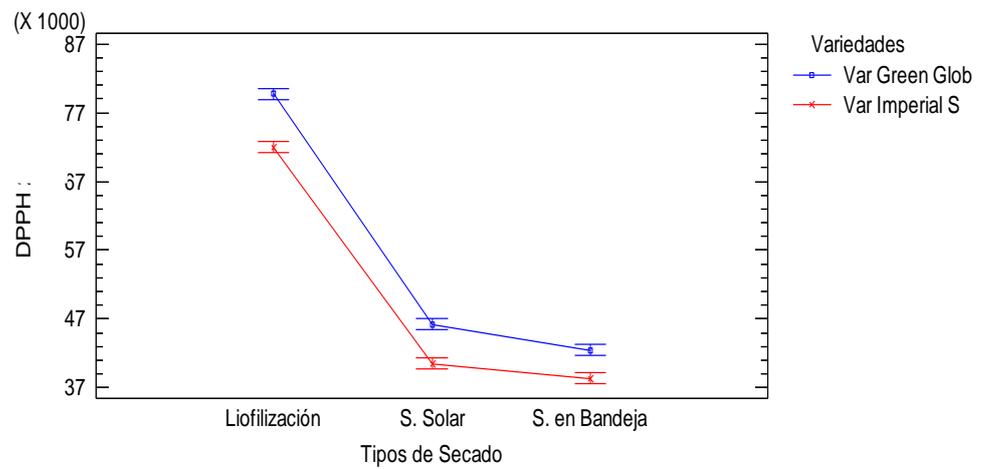
En la gráfica 11, se observa la significancia existente y la comparación de medias (tukey HSD) del factor secado, donde la media del secado en bandeja, liofilización y secado solar es de 40428.4, 75885.1 y 43335.0 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$, respectivamente. La diferencia de los valores DPPH entre los secados que mostraron una mayor y menor capacidad antioxidante total del compuesto es de 35456.7, esto representa un 46.72% menos. La diferencia entre el secado por liofilización y el secado solar fue menor (32550.1) representando el 42.89%, sin embargo la menor diferencia se obtuvo entre el secado solar y secado en bandeja (2906.55) que representa solo 6.71%,

Gráfica 11. Medias y 95% de Tukey HSD para el factor TIPO DE SECADO



La interacción existente entre la variedad y tipo de secado de las muestras, con respecto a la capacidad antioxidante, se observa en la siguiente gráfica.

Gráfica 12. . Interacción entre los factores (variedad y tipo de secado) frente a la capacidad antioxidante – Ensayo DPPH



Del gráfico 12, se puede observar que la variedad Green Globe presenta un valor DPPH mayor, en comparación de la variedad Imperial Star; esto es un indicador de su mayor poder antioxidante. Sin embargo, en la gráfica puede notarse también que diferentes temperaturas de secado también influyeron en la capacidad antioxidante de las muestras evaluadas.

En la gráfica puede notarse que las harinas liofilizadas presentan una mayor capacidad antioxidante en comparación de la obtenidas por secado en bandeja y secado solar, el resultado obtenido coincide con el reportado por Sifuentes y Patricio, (2018), quienes evalúan la capacidad antioxidante de los desechos de espárrago, los cuales son previamente secados por liofilización y aire caliente, obteniendo que el mayor valor de capacidad antioxidante por el método DPPH , lo tienen las muestras obtenidas por liofilización.

❖ **Metodología propuesta por Plank *et al.* (2012)**

A diferencia del método convencional; este método no requiere una etapa de extracción por separado, pues propone maximizar la eficiencia de extracción de los compuestos antioxidantes mediante la adición directa de la solución DPPH sobre la muestra a evaluar. Logrando una continua extracción de los antioxidantes e inmediata reacción de los mismos con el DPPH hasta que se completan la extracción y la reacción (Plank *et al.*, 2012).

Tabla 24.

Determinación de Capacidad antioxidante por el método DPPH en harina de brácteas de alcachofa (*Cynara scolymus*) variedad Green Globe e Imperial Star; obtenidas por secado en bandeja, liofilización y secado solar

Muestra	Variedades	Tipos de Secado	Capacidad antioxidante –metodo DPPH ($\mu\text{mol eq Trolox}/100\text{g muestra}$)			
			R ₁	R ₂	R ₃	Promedio
1	Green Globe	S. Bandeja	84983.981	84688.453	84791.731	84821.389±149.980
2	Green Globe	Liofilización	96224.172	96301.528	97171.901	96565.867±526.264
3	Green Globe	S. Solar	66227.028	66561.887	66688.109	66492.341±238.278
4	Imperial Star	S. Bandeja	83813.453	83360.349	83827.845	83667.216±265.852
5	Imperial Star	Liofilización	87287.778	87705.670	87236.630	87410.026±257.309
6	Imperial Star	S. Solar	55246.625	55517.433	55420.845	55394.968±137.246
7*	Green Globe	S. en Bandeja	84682.281	84093.920	84067.854	84281.352±374.460
8*	Green Globe	Liofilización	96483.018	96879.904	96274.207	96545.710±307.676
9*	Green Globe	S. Solar	66337.605	65987.263	66610.212	66311.693±312.282
10*	Imperial Star	S. Bandeja	83417.638	83545.136	83444.619	83469.131±67.191
11*	Imperial Star	Liofilización	87922.256	87467.420	87722.872	87704.183±227.993
12*	Imperial Star	S. Solar	55889.019	55579.494	55696.733	55721.749±156.272

*: Réplica / R_i: Repeticiones

La tabla 24 muestra los resultados de capacidad antioxidante de la harina de brácteas de alcachofa obtenida por secado en bandeja, liofilización y secado solar. En ella se detalla los valores obtenidos de los 12 tratamientos realizados en la presente investigación, considerando que se realizó una réplica.

Los valores obtenidos oscilan entre 55394.968 ± 137.246 y 96565.867 ± 526.264 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$, siendo relativamente inferior a los valores DPPH en romero ($104\ 567$ $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$) reportados por Plank *et al*, (2012) en su investigación sobre determinación de capacidad antioxidante en alimentos y bebidas. No se encontraron mayores investigaciones que reporten valores DPPH específicos para harina de brácteas de alcachofa empleando esta metodología.

Las diferencias entre los resultados del ensayo convencional DPPH y el procedimiento propuesto por Plank *et al* (2012), demuestran que este método conduce a mejores resultados de capacidad antioxidante que el mismo método DPPH desarrollado con extracción de muestra por separado. Ello debido a que al reaccionar la muestra completa continuamente con el DPPH facilita la extracción y reacción de la mayoría de compuestos antioxidantes presentes en la muestra.

A la vez, Gökmen, Serpen y Flogiano (2009) afirman que los extractos de una muestra no son representativos del potencial antioxidante real de los alimentos a evaluar; pues estos poseen estructuras complejas en la que los compuestos antioxidantes pueden

estar presentes en diversas formas, pudiendo ser completamente solubles en un solvente pero también completamente insolubles; por ende se puede subestimar la capacidad antioxidante total de la muestras sometidas a procesos de extracción e hidrolisis, pues el procedimiento utilizado para extraer los antioxidantes es incompleto.

De acuerdo a los resultados obtenidos (tabla 24) existe una amplia variación de la capacidad antioxidante en las muestras de harina de brácteas de alcachofa dependiendo del tipo de secado y de la variedad de la materia prima. En la tabla 25 se muestra el análisis de varianza (ANOVA) que evalúa la variabilidad de los factores en estudio (variedad y tipo de secado), sobre la capacidad antioxidante de la harina de brácteas de alcachofa. La prueba-F en la tabla ANOVA, permite identificar los factores significativos.

Tabla 25.

Análisis de Varianza para capacidad antioxidante por el método DPPH- Metodología propuesta por Plank *et al* (2012)

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Variedades	1.44568E8	1	1.44568E8	3113.27	0.0000
B:Tipos de Secado	2.08313E9	2	1.04157E9	22430.13	0.0000
INTERACCIONES					
AB	5.49602E7	2	2.74801E7	591.78	0.0000
RESIDUOS	278616.	6	46436.0		
TOTAL (CORREGIDO)	2.28294E9	11			

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Del análisis estadístico mostrado en la tabla 25, los valores-P prueban la significancia estadística de los factores A (Variedades) y B (Tipos de Secado); siendo estos tres valores menores a 0.05 se deduce que estos tienen un efecto estadísticamente significativo sobre DPPH con un nivel de confianza del 95%.

En la prueba de rangos múltiples (tabla 26 y 27), utilizada para las medias de los factores en estudio (variedad y tipo de secado), se muestra cuáles medias son significativamente diferentes de otras a partir de un procedimiento de comparación múltiple.

Tabla 26.

Pruebas de múltiple rangos para capacidad antioxidante (Método DPPH) Variedades de Alcachofa

Variedades	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Var Green Globe	6	82503.1	87.9735	X
Var Imperial Star	6	75561.2	87.9735	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

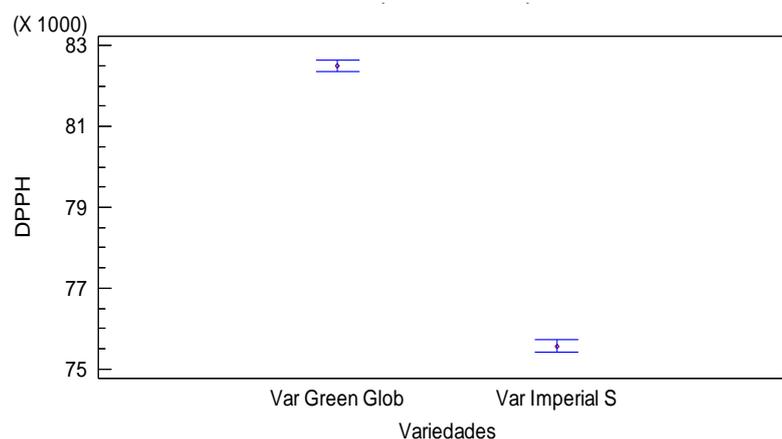
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Var Green G. - Var Imperial S *	*	6941.85	304.429

* indica una diferencia significativa

La tabla 26 muestran 2 grupos homogéneos (Var Green Globe y Var Imperial Star), los cuales muestran diferencia estadística significativa entre si. La significancia entre el par de medias, con un nivel de confianza del 95%, está representado por el asterisco presente en la tabla.

En la gráfica 13, se observa la significancia existente entre el factor variedad, así como la comparación de medias de tukey HSD, donde la media de la variedad Green Globe es 82503.1 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$ y la media de la variedad Imperial Star es 75 561.2 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$, existiendo una diferencia entre ambas de 6 941.85, que representa el 8.414% más que la variedad Imperial Star.

Gráfica 13. Medias y 95% de Tukey HSD para el factor VARIEDAD



La tabla 27 muestra 3 grupos homogéneos (S. bandeja, liofilización y S. solar), los cuales presentan diferencia estadística significativa entre sí. La significancia entre los pares de medias (Liofilización – S. Solar, Liofilización – S. Bandeja y S. Solar – S. Bandeja), con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$), está representado por el asterisco presente en la siguiente tabla.

Tabla 27.

Pruebas de múltiple rangos para capacidad antioxidante (Método DPPH)
Tipo de secado

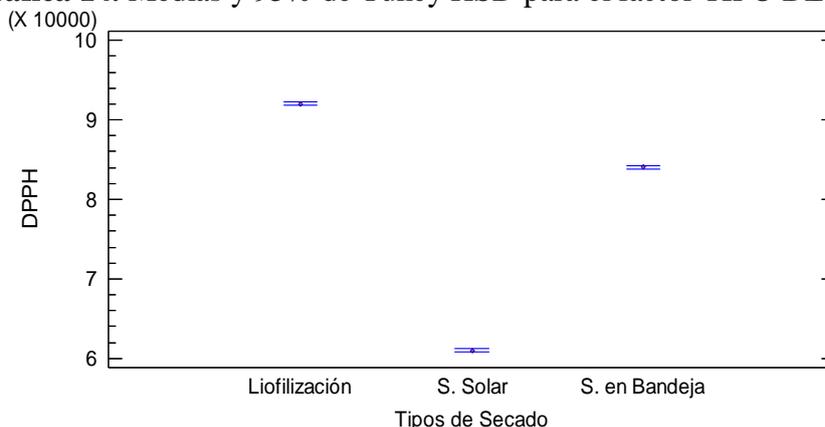
<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Liofilización – S. Solar	*	31076.3	467.53
Liofilización – S. Bandeja	*	7996.67	467.53
S. Solar – S. Bandeja	*	-23079.6	467.53

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Variedades</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
* S. Solar	4	60980.2	107.745	X
S. Bandeja	4	84059.8	107.745	X
Liofilización	4	92056.4	107.745	X

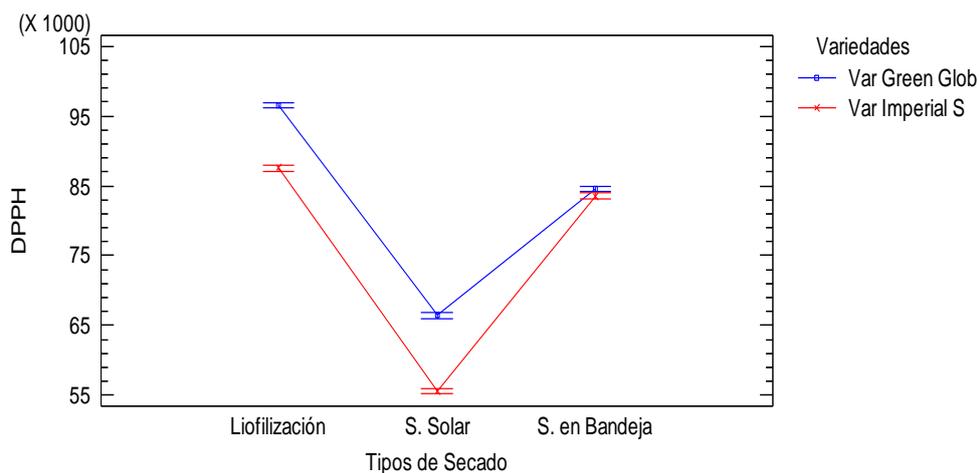
*indica una diferencia significativa

En la gráfica 14, se observa la significancia existente y la comparación de medias (tukey HSD) del factor secado, donde la media del secado en bandeja, liofilización y secado solar es de 84059.8, 92056.4 y 60980.2 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$, respectivamente. La diferencia de los valores DPPH entre los secados que mostraron una mayor y menor capacidad antioxidante total del compuesto es de 31076.3, esto representa un 33.76% menos. La diferencia entre el secado solar y el secado en bandeja fue menor (-23079.6) representando el 27.46%, sin embargo la menor diferencia se obtuvo entre el secado en bandeja y secado solar (7996.67) que representa solo el 8.69%.

Gráfica 14. Medias y 95% de Tukey HSD para el factor TIPO DE SECADO

La interacción existente entre la variedad y tipo de secado de las muestras, con respecto a la capacidad antioxidante, se observa en la siguiente gráfica:

Gráfica 15. Interacción entre los factores, variedad y tipo de secado, frente a la capacidad antioxidante – Ensayo DPPH



Del gráfico 15 se puede observar que la variedad Green Globe presenta un valor DPPH mayor en comparación de la variedad Imperial Star, indicando una capacidad antioxidante más alta que puede relacionarse con una amplia variedad de compuestos antioxidantes presentes en su composición. Ruiz-Cano *et al.* (2014) reporta que la variedad scolymsus presenta en su composición el ácido el ácido cafeico (di y cafeicoquinico) y los polifenoles como las flavonas luteolin-7-glucósido y apigenina-7-glucósido, sosteniendo que la alcachofa es una fuente natural de ácidos fenólicos.

Algunos estudios muestran el perfil fenólico de alcachofa variedad Green Globe, destacando la presencia del ácido clorogénico, cinarina y ácido 1.5-di-o-cafeicoquinico como los principales compuestos

activos (Abdel *et al.*, 2016). Sin embargo, existe escasa información respecto al perfil fenólico y la distribución de los fitoquímicos de la variedad Imperial Star en estudio.

Así mismo es importante destacar que la capacidad antioxidante no está dada simplemente por la suma de las capacidades antioxidantes de cada uno de sus componentes, sino que está determinada por la interacción entre ellos (Hernández, 2012).

Los distintos factores de producción, procesamiento y factores estacionales pueden influir en el contenido de los antioxidantes presentes en los alimentos (Rautenbach y Venter, 2010), siendo ello también la causa de variación de capacidad antioxidante entre las variedades en estudio.

Los tipos de secado (s. en bandeja, liofilización y s. solar) también influyeron en la capacidad antioxidante de las muestras evaluadas. Los valores DPPH encontrados en la harina de brácteas de alcachofa obtenida por liofilización fueron mayores a los valores obtenidos por secado en bandeja y secado solar, debido principalmente a que este tipo de secado puede conservar las composiciones nutricionales, los ingredientes activos y también el color original del alimento (Huang y Zhang, 2016); a diferencia de los otros secados cuyas altas temperaturas y tiempos de secado conducen a una notable reducción de la propiedad de los nutrientes y la actividad antioxidante (López, 2010).

4.2.6.2 Método FRAP

Las propiedades reductoras de las muestras se midieron mediante el ensayo FRAP, que mide la capacidad reductora total de un compuesto en función de su capacidad para reducir el complejo de Fe^{3+} /tripiridiltriazina a su forma ferrosa de color azul, la reacción es dependiente del pH (pH 3.6) (Shofian *et al*, 2011).

El ensayo se llevó a cabo de acuerdo al procedimiento descrito por Benzie y Strain (1996) con ligeras modificaciones, la curva de calibración (Anexo 8) se construyó con estándares de Trolox y los resultados se expresan como micromol Equivalente Trolox por 100g muestra ($\mu\text{mol Eq Trolox}/100 \text{ g muestra}$). La extracción sólido/líquido de las muestras se realizó con metanol grado HPLC como solvente y con sonicación, a una temperatura de 60°C , tiempo de extracción de 30 minutos y relación solido/liquido de 1g/10ml.

Los resultados de la capacidad antioxidante, por el método FRAP, de la harina de brácteas de alcachofa se muestran en la Tabla 28. En ella se detallan los valores obtenidos en los 6 tratamientos realizados en esta investigación (con una réplica), considerando los 2 factores o variables independientes en estudio: variedad de alcachofa (Green Globe e Imperial Star) y tipo de secado (secado en bandeja, liofilización y secado solar).

Tabla 28.

Determinación de capacidad antioxidante por método FRAP en harina de brácteas de alcachofa (*Cynara scolymus*) variedad Green Globe e Imperial Star; obtenidas por secado en bandeja, liofilización y secado solar

Muestra	Variedades	Tipos de Secado	Capacidad antioxidante – Método FRAP ($\mu\text{mol eq Trolox}/100\text{g muestra}$)			
			R ₁	R ₂	R ₃	Promedio
1	Green Globe	S. Bandeja	12769.828	12642.785	12639.441	12684.018±74.333
2	Green Globe	Liofilización	17791.408	17834.871	18229.376	17951.885±241.295
3	Green Globe	S. Solar	10931.034	11251.987	11148.346	11110.456±163.797
4	Imperial Star	S. Bandeja	15735.302	15765.391	15828.913	15776.536±47.790
5	Imperial Star	Liofilización	19964.529	19917.723	19897.663	19926.638±34.313
6	Imperial Star	S. Solar	13491.973	13525.406	13512.033	13509.804±16.827
7*	Green Globe	S. en Bandeja	12679.560	12465.592	12769.828	12638.326±156.254
8*	Green Globe	Liofilización	17985.317	17761.319	18002.034	17916.223±134.411
9*	Green Globe	S. Solar	11221.898	11251.987	11191.809	11221.898±30.089
10*	Imperial Star	S. Bandeja	15909.152	15765.391	15862.346	15845.630±73.323
11*	Imperial Star	Liofilización	19967.872	19941.126	19697.068	19868.688±149.228
12*	Imperial Star	S. Solar	13592.271	13649.106	13712.628	13651.335±60.210

*: Réplica / R_i: Repeticiones

Los valores FRAP de las muestras de harina de brácteas de alcachofa estuvieron entre el rango de 11 110.456 y 19 926.638 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$, variando dependiendo del tipo de secado y de la variedad de la materia prima. Los valores obtenidos para harina de brácteas de alcachofa son superiores a los reportados por Silva y Martínez (2017), quienes obtuvieron valores de 1 200 y 1 090 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{g peso seco}$ en brácteas de alcachofa. La diferencia entre los valores puede atribuirse a las diferentes condiciones de extracción empleadas (pre-tratamiento con maceración, etanol-agua

como solvente, tiempo de extracción de 45 y 90 minutos); pues Sarker *et al.* (2006) citado por Medina, Garzón y Espinosa (2015) menciona que la actividad biológica de un extracto es dependiente de su composición química, la cual está determinada por las condiciones experimentales y el método de extracción.

Es importante mencionar que, a pesar que existen diferentes investigaciones que abarcan el estudio sobre la capacidad antioxidante en alcachofa, pocos son las investigaciones que aplican el método FRAP expresado en $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$, por ende se cuenta con limitada bibliografía.

En un estudio realizado por Huaccho (2016) en 84 cultivares de mashua procedentes de Cusco, reporta que la capacidad antioxidante de dichos cultivares fluctúan en un intervalo de 2 280 y 17 350 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{g}$ muestra. Comparando este resultado con los encontrados en las harinas de brácteas de alcachofa, se puede apreciar que los valores FRAP de los cultivares de mashua, especialmente los que poseen algún tipo de pigmentación morada, se asemejan a los valores reportados en la presente investigación.

A su vez los resultados reportados son superiores a los obtenidos por Ozgen y Sekerci (2011) en hojas externas de lechuga (1 050 y 7 116.7 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$ (b.s) en cultivares de lechuga verdes y rojos, respectivamente); superiores a los valores FRAP obtenidos por Salluca, Peñarrieta, Alvarado y Bergenståhl (2008) en tubérculos y raíces (mashua, oca, olluco y arracacha), quienes reportan valores entre

35 y 1 180 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$; y a los reportados por Shofian *et al* (2011) en frutas tropicales (carambola, mango, papaya, melón y sandía), en el cual la carambola exhibe el valor más alto (3 304 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{g muestra}$).

Según Llorach *et al.* (2008) y Nicolle *et al.* (2004) citados por Alcarraz *et al.* (2018), las variedades botánicas, cultivares, prácticas culturales, tipo de procesamiento y condiciones de almacenamiento influyen en la calidad funcional (fenoles totales y capacidad antioxidante) de los alimentos, ello puede justificar las diferencias entre los valores FRAP hallados en las diferentes investigaciones citadas.

Al comparar los valores del ensayo de poder antioxidante reductor férrico (FRAP) de las muestras frescas mostrados en el Anexo 15, con los resultados de los tratamientos (tabla 28), se puede verificar que existe una pérdida mínima de la capacidad antioxidante en el secado por liofilización, dado que la retención de capacidad antioxidante es más del 95%, a diferencia del secado en bandeja y secado solar cuyo porcentaje de retención solo supera el 60 y 50% respectivamente. (Anexo 15).

La diferencia en la capacidad antioxidante de las muestras frescas y liofilizadas, puede atribuirse a la disminución en el contenido de antioxidantes debido a la degradación de ciertos compuestos durante el tratamiento de secado por congelación (Shofian *et al.*, 2011). Sin embargo estas pérdidas son mínimas en comparación con el secado en bandeja y secado solar.

Existe una amplia variación de la capacidad antioxidante, obtenida mediante ensayo FRAP, en las muestras de harina de brácteas de alcachofa dependiendo del tipo de secado y de la variedad de la materia prima. En la tabla 25 se muestra el análisis de varianza (ANOVA) que evalúa la variabilidad de los factores en estudio (variedad y tipo de secado), sobre la capacidad antioxidante de la harina de brácteas de alcachofa. La prueba-F en la tabla ANOVA, permite identificar los factores significativos.

Tabla 29.

Análisis de Varianza para capacidad antioxidante por el método FRAP

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Variedades	1.88898E7	1	1.88898E7	5158.57	0.0000
B:Tipos de Secado	9.08985E7	2	4.54492E7	12411.61	0.0000
INTERACCIONES					
AB	717168.	2	358584.	97.92	0.0000
RESIDUOS	21971.0	6	3661.83		
TOTAL (CORREGIDO)	1.10527E8	11			

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Del análisis estadístico mostrado en la tabla 29, se tiene que el valor de F para los factores A (Variedades) y B (Tipos de Secado) son altos, lo que indica que son estadísticamente significativos, a un nivel de confianza del 95%; asimismo, los valores de P menores a 0.05 reafirman que las variables A, B y la combinación de ambas (AB) son significativas.

En la prueba de rangos múltiples, entre las medias de los factores en estudio, variedad y tipo de secado, mostrados en las tablas 30 y 31 respectivamente, se muestra cuáles medias son significativamente diferentes de otras, a partir de un procedimiento de comparación múltiple.

Tabla 30.

Pruebas de múltiple rangos para capacidad antioxidante (Método FRAP) Variedades de Alcachofa

Variedades	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Var Green Globe	6	13920.5	24.7044	X
Var Imperial Star	6	16429.8	24.7044	X

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

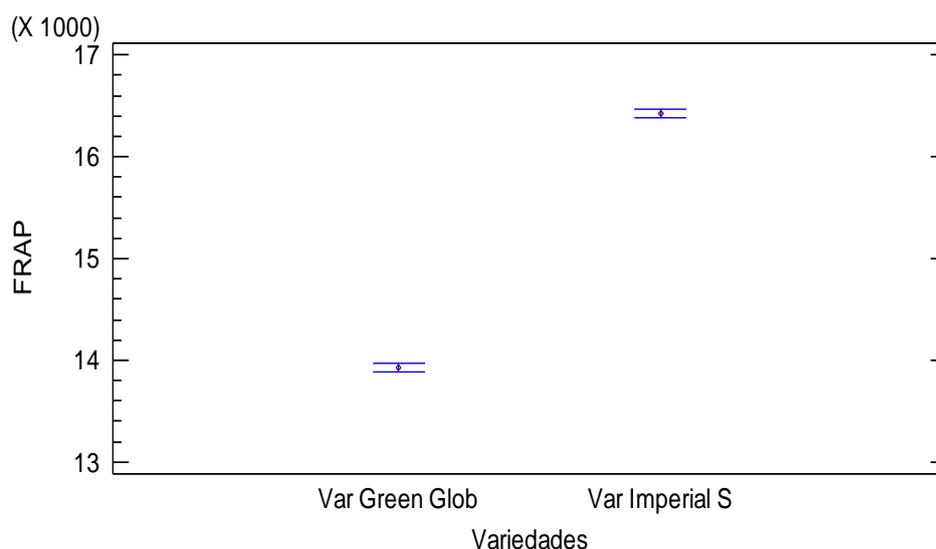
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Var Green G. - Var Imperial S	*	-2509.3	85.4886

* indica una diferencia significativa

La tabla 30 muestran 2 grupos homogéneos (Var Green Globe y Var Imperial Star), los cuales muestran diferencia estadística significativa entre si. La significancia entre el par de medias, con un nivel de confianza del 95%, está representado por el asterisco presente en la tabla.

En la gráfica 16, se observa la significancia existente entre el factor variedad, así como la comparación de medias de tukey HSD, donde la media de la variedad Green Globe es 13 920.5 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$ y la media de la variedad Imperial Star es 16 429.8 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$, existiendo una diferencia de - 2509.3 que representa el 15.27% menos que la variedad Imperial Star.

Gráfica 16. Medias y 95% de Tukey HSD para el factor VARIEDAD



La tabla 31 muestra 3 grupos homogéneos (S. bandeja, liofilización y S. solar), los cuales presentan diferencia estadística significativa entre sí, dado que las X's no están alineadas. La significancia entre los pares de medias (Liofilización – S. Solar, Liofilización – S. Bandeja y S. Solar – S. Bandeja), con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$), está representado por el asterisco presente en la siguiente tabla.

Tabla 31.

Pruebas de múltiple rangos para capacidad antioxidante (Método FRAP)
Tipo de secado

<i>Variedades</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
S. Solar	4	12373.4	30.2565	X
S. Bandeja	4	14236.1	30.2565	X
Liofilización	4	18915.9	30.2565	X

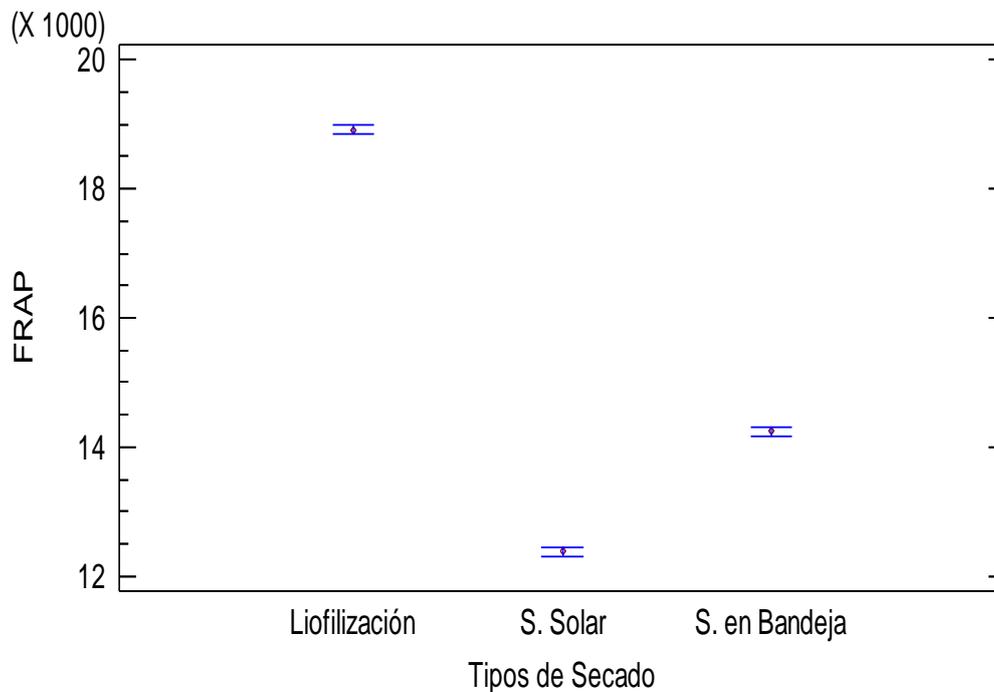
Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
Liofilización – S. Solar	*	6542.49	131.29
Liofilización – S. Bandeja	*	4679.73	131.29
S. Solar – S. Bandeja	*	-1862.75	131.29

* indica una diferencia significativa

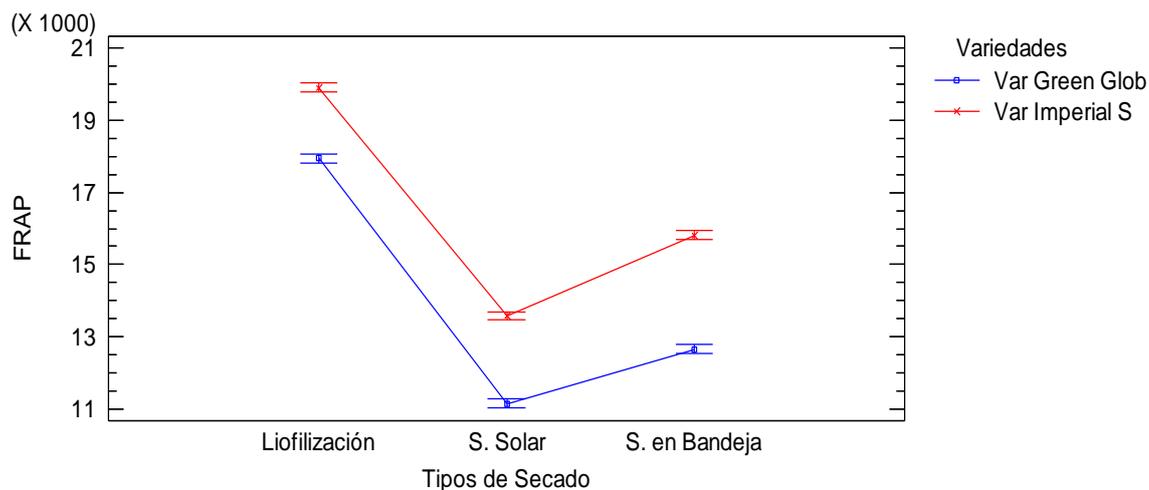
En la gráfica 17, se observa la significancia existente y la comparación de medias (tukey HSD) del factor secado, donde la media del secado en bandeja, liofilización y secado solar es de 14236.1, 18915.9 y 12373.4 $\mu\text{molEqTrolox//100gmuestra}$, respectivamente. La diferencia de los valores FRAP entre los secados que mostraron una mayor y menor capacidad reductora total del compuesto es de 6542.49, esto representa un 34.59% menos. La diferencia entre el secado por liofilización y el secado en bandeja fue menor (4679.73) representando el 24.74%, sin embargo la menor diferencia se obtuvo entre el secado en bandeja y secado solar (-1862.75) que representa solo el 13.08%.

Gráfica 17. Medias y 95% de Tukey HSD para el factor TIPO DE SECADO



La interacción existente entre la variedad y tipo de secado de las muestras, con respecto a la capacidad antioxidante, se observa en la siguiente gráfica:

Gráfica 18. Interacción entre los factores, variedad y tipo de secado, frente a la capacidad antioxidante – Ensayo FRAP



Del gráfico se puede observar que la variedad Imperial Star presenta un valor FRAP mayor, en comparación de la variedad Green Globe; indicando un poder reductor más alto que corresponde a la capacidad antioxidante más alta. Sin embargo, diferentes temperaturas de secado también influyeron en la capacidad antioxidante de las muestras evaluadas.

Balasundram, Sundram y Samman (2006) indicaron que el compuesto del perfil fitoquímico podría variar según las diferentes especies y variedades, contribuyendo a diferentes propiedades biológicas; ello podría indicar la diferencia de capacidad antioxidante entre las dos variedades de alcachofa evaluadas. Asimismo, Hernández (2012) refiere que la capacidad antioxidante no está dada simplemente por la

suma de las capacidades antioxidantes de cada uno de sus componentes, sino que está determinada por la interacción entre ellos.

Respecto a los tipos de secado, Vashisth, Singh y Pegg (2011) sostienen que ciertas condiciones y parámetros de secado pueden afectar significativamente los compuestos antioxidantes, resultando en una pérdida de la calidad del alimento. Las reacciones involucradas dependen del tiempo de exposición y la temperatura seleccionada durante el proceso de secado, lo que puede llevar a la degradación del producto (Rahman, Shamsudin, Ismail, Shah, Varith (2018).

Ello puede justificar los bajos valores FRAP reportados en las muestras de harina de brácteas de alcachofa obtenidas mediante secado solar, pues las variantes temperaturas conllevaron a largos tiempos de secado (4 y 5 días para las variedades Green Globe e Imperial Star, respectivamente) causando una disminución de la capacidad antioxidante; ello debido a que la mayoría de los compuestos bioactivos son sensibles a la oxidación, lo que potencialmente ocurre durante el proceso de secado (Rahman *et al.*, 2018).

En contraste, las muestras liofilizadas mantuvieron una mayor capacidad antioxidante (Grafica 18). Este resultado coincide con Catsro-Vázquez *et al* (2016), cuya investigación realizada en cascaras de pomelo reporta que las muestras liofilizadas presentaron valores FRAP más altos en comparación con las muestras secadas al horno a 45°C y 60°C. La diferencia reportada en promedio fue de 51.77% para cascaras de pomelo rosado.

V. CONCLUSIONES

- De los resultados obtenidos, se confirmó que el secado por liofilización retiene el 90% de su capacidad antioxidante, sin embargo el secado en bandeja y secado solar retienen un porcentaje de 80% y 70%, respectivamente; ello debido a las altas temperaturas (55°C en s. bandeja y 40°C en promedio en el s. solar) y los largos tiempos de secado (8 horas en s. en bandeja, 4 y 5 días en el s. solar).
- De los resultados se puede afirmar que el tipo de secado y las variedades de alcachofa presentan un efecto estadísticamente significativo, con un nivel de confianza del 95%, en el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante de las harinas de brácteas de alcachofa en estudio.
- La harina de brácteas de alcachofa de la var Imperial Star obtenida por liofilización presenta contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante, exhibiendo un valor FRAP promedio de 19 897.663 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$; mientras que la var Green Globe presentó mayores valores DPPH (79792.058 y 96555.8 $\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gmuestra}$ para M. Conv y M. Plank, respectivamente).

VI. RECOMENDACIONES

- Investigar posibles aplicaciones de la harina de brácteas de alcachofa en la industria de la panificación, y el uso como alimento funcional en diversos productos.
- Determinar el perfil fenólico de las brácteas de alcachofa var Green Globe e Imperial Star y cuantificar sus principales compuestos tales como: cinarina, narirutina y ácido clorogénico.
- Determinar el contenido de fibra dietética total, fibra dietética soluble y fibra dietética insoluble de la harina de brácteas de alcachofa.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel Magied, M. M., Din Hussien, S. E., Mohamed Zaki, S., & EL Said, R. M. (2016). Artichoke (*Cynara scolymus* L.) leaves and heads extracts as hypoglycemic and hypocholesterolemic in rats. *Journal of Food and Nutrition Research*, 4(1), 60-68. doi:0.12691/jfnr-4-1-10
- Abugoch James, Lilian Elizabeth (2006). Relación estructura-funcionalidad de glutelinas y aislados proteicos de amaranto (*amaranthus hypochondriacus*). Tesis doctoral. Buenos Aires, Argentina. Universidad de La Plata, Facultad de ciencias exactas.
- AgrodataPerú (2018). Alcachofas en Conservas Perú Exportación 2018 junio. Disponible en: <https://www.agrodataperu.com/2018/07/alcachofas-en-conservas-peru-exportacion-2018-junio.html>. Visitado el 09 de agosto del 2018.
- Agudo Medina, L. (2012). Técnicas para la detreminación de compuestos antioxidantes en alimentos. *Autodidacta*, 27-34.
- Alam Md. N., Bristi N.J., Rafiquzzaman Md. (2012). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 21, 143-152.
- Alamanni, M., & Cossu, M. (2003). Antioxidant activity of the extracts of the edible part of artichoke (*Cynara scolymus* L.) var. spinoso sardo. *Italian Journal of Food Science*, 15, 187-195.
- Alcarraz Quispe, E. W., Tapia Figueras, M. L., Bustamante Pezoa, A., Tapia Laguna, O., Wacyk Gonzales, J., & Escalona Contreras, V. H. (2018). Evaluación de la concentración de nitratos, calidad microbiológica y funcional en lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas en los sistemas acuapónico e hidropónico. *Anales Cientificos*, 79(1), 101-110. doi:<http://dx.doi.org/10.21704/ac.v79i1.1145>
- Almada, M., Cacéres, M. S., Machain-Singer, M., & Pulter, J. (2005). Guía de uso de secadores solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. *Fundación Celestina Pérez de Almada*.
- Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin, E. L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking cereal. *ScienceToday*, 14, 4-12.

- Antolovich , M., Prenzler, P. D., Patsalides, E., McDonald, S., & Robards, K. (2002). Methods for testing antioxidant activity. *Analyst*, 127(1), 183-198.
- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman , S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products:Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food chemisstry*, 99, 191-203.
- Barja, G. (2014) Radicals libres y antioxidants. En: cascales M. Bioquímica y Fisiopatología del estrés oxidativa. Madrid: Real Academia Nacional de Farmacia. Versión impresa.
- Benzie, F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239, 70-76.
- Bermudez N. Diego. (2017). Evaluación tecnológica de la harina de quinua (Quenopodium quinoa) variedad piartal como espesante alimentario obtenida bajo diferentes condiciones de proceso. Bogotá, Colombia.
- Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm. Wiss. Technol.*, 22, 25-30.
- Cabezas Serrano, A. B. (2013). *Estrategias dirigidas a retrasar el pardeamiento enzimático en productos destinados a la IV Gama: alcachofas y patatas*. Universidad de Córdoba , Dapartamento de Bromatología y Tecnología de los Alimentos . Córdoba- España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba .
- Caisahuana, M. (2012). Evaluación de vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante en dos estados de madurez del camu (Myrciaria dubia H.B.K. Mc Vaugh) de Mazamari – Satipo. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Satipo, Perú.
- Calle B. Eduardo R. y Aparicio B. Jaime J. (2011). Diseño de una planta de deshidratación de hierbas aromáticas. Tesis para obter el titilo de ingeniero mecanico. Guayaquil, Ecuador.
- Cárdenas Toribio, K. (2016). *Estudio químico-bromatológico, compuestos bioactivos y evaluación de la acapcidada antioxidante de Cynara scolymus "alcachofa"*

procedente de Huaral. Tesis para optar el título Profesional de Químico Farmaceutico, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Lima, Perú.

Carvajal de Pabón, L. (2011). Algunas especies de Passiflora y su capacidad antioxidante. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(4), 354-363.

Casanoves, D. 1997. Semillas para el cultivo de la alcachofa. *Horticultura*, 124, 69-72.

Castro D, Díaz J, Serna R, Martínez M, Urrea P, Muñoz K, Osorio E. (2013). Cultivo y Producción de Plantas Aromáticas y Medicinales. 2da Edición. Fondo Editorial. Universidad Católica del Oriente. Antioquía.

Castro-Vazquez, L., Alañon, M., Rodríguez-Robledo, V., Pérez-Coello, M. S., Hermosín-Gutierrez, I., Díaz-Maroto, M. C., . . . Arroyo-Jiménez, M. (2016). Bioactive flavonoids, antioxidant behaviour, and cytoprotective effects of dried grapefruit peels (*Citrus paradisi* Macf.). *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. doi: 10.1155 / 2016/8915729

Cerón , I., Higueta, J., & Cardona , C. (2011). Capacidad antioxidante y contenido fenólico total de tres frutas cultivadas en la región Andina. *Vitae*, 126-131.

Chemat, F., Zill-e-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813-835.

Claus, T., Maruyama, S. A., Palombini, S. V., Montanher, P. F., Bonafé, E. G., Santos Junior, O. d., . . . Visentainer, J. V. (2015). Chemical characterization and use of artichoke parts for protection from oxidative stress in canola oil. *LWT-Food Science and Technology*, 61, 346-351.

Coinu , R., Urgeghe , P., Mulinacci, N., Pinelli , P., Franconi , F., & Romani, A. (2006). Dose-effect study on the antioxidant properties of leaves and outer bracts of extracts obtained from Violetto di Toscana artichoke. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* , 101(524-531).

Condor Condor , A. (2013). *Evaluación del efecto del enriquecimiento con lactosuero y puré de alcachofa (Cynara scolymus) en el contenido proteico y grado de aceptabilidad del pan*. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero en

Industrias Alimentarias, Universidad Nacional del Centro del Perú , Huancayo, Perú.

Deloa Lizardo, N. R. (2016). *Efecto de fructooligosacáridos de Cynara scolymus L. "alcachofa" en la producción de bacteriocinas por Lactobacillus spp.* Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica , Lima-Perú.

Deng, G.-F., Lin, X., Xu, X.-R., Gao, L.-L., Xie, J.-F., & Li, H.-B. (2013). Antioxidant capacities and total phenolic contents of 56 vegetables. *Journal of Functional Foods*, 5, 260-266.

Departamento de Agricultura (1999). El cultivo de alcachofa. *Dirección General de Tecnología Agraria*, Num 75, 6.

Dueñas Ramos Eduardo & Vidal Aldaña Victor M. (2016). Diseño e implementación de un secador infrarrojo. Tesis para obtener el título de ingeniero en control y automatización. Ciudad de México, México.

Fabregas Villegas Jhonatan (2015). Caracterización y modelado de la cinética del secado en estado transitorio de la cascarilla de arroz autóctona de la región caribe. Tesis para optar el título de magister en ingeniería mecánica. Barranquilla, Colombia.

Fiore, V., Valenza, A., & Bella, G. D. (2011). Artichoke (*Cynara cardunculus L.*) fibres as potential reinforcement of composite structures. *Composites Science and Technology* (71), 1138-1144.

Fito Maupoey, P., Andrés Grau, A. M., Barat Baviera, J. M., & Albors Sorolla, A. M. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. España: Verbo Divino.

Flores Farías, R., Martínez Bustos, F., Salinas Moreno, Y., & Ríos, E. (2002). Caracterización de harinas comerciales de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*,

Flóres F., Rafael. C. & Cruz Castaño Norella. (2010). Alcachofa (*Cynara scolymus L.*) Alcachofa (*Cynara scolymus L.*), producción y manejo poscosecha. Bogotá: Universidad de Nacional de Colombia.Colombia.

- Fonnegra, G.R. y R.S. Jiménez. (2007). Plantas medicinales aprobadas en Colombia. Segunda edición. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín.
- Fратиanni Florinda, Tucci Marina, De Palma Mónica, Pepe Rosa, Nazzaro Filomena. (2007). Polyphenolic composition in different parts of some cultivars of globe artichoke (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus* (L.) Fiori). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 104, 1282-1286.
- Galleti G., L., Berger S., H., & Luna A., V. (2005). Almacenaje de alcachofa tipo Green Globe en atmósfera controlada. *Simiente*(75), 7-18.
- Garau, M. C., Simal, S., Rosselló, C., & Femenia , A. (2007). Effect of air drying temperature on physico-chemical properties of dietary fibre and antioxidant capacity of orange (*Citrus aurantium* v. Canoneta) by-products. *Food Chemistry*, 104(3), 1-11.
- García Martínez , N. (2014). *Nuevas Variedades y Transformados de Alcachofa en la Región de Murcia*. Tesis doctoral , Universidad de Murcia, Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología , Murcia-España
- García Zapata, T. (2008). Industrialización integral de la alcachofa en pasta nutricional y para alimentos balanceados. *Revista de Facultad de Ingeniería Industrial*, 11(1), 37-46.
- Geankoplis, C. J. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias* (Tercera ed.). México: Compañía Editorial Continental S A. de C.V.
- Giurfá,G.; Oblitas, J., (2017) “Polifenoles, actividad antioxidante, antielastasa, anticologenasa, efecto fotoprotector de *Leissonia nigrescen* Bory y desarrollo de una forma dermocosmética”. Tesis para optar al Título Profesional de Químico Farmacéutico. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Gökmen , V., Serpen , A., & Fogliano , V. (2009). Direct measurement of the total antioxidant capacity of foods: the "QUENCHER" approach. *Trends in Food Science y Technology*, 20, 278-288. doi:10.1016/j.tifs.2009.03.010
- Gómez Herador, S. (2014). *Medida de los fenoles totales y de la capacidad antioxidante y antirradicalaria de los hongos comestibles *Marasmius oreades*, *Lactarius**

deliciosus y *Macrolepiota procera* y su degradación a diferentes tiempos y temperaturas. Tesis Para optar por el grado Máster, Universidad de Valladolid, Valladolid.

Gouveia, S. C., & Castilho, P. C. (2012). Phenolic composition and antioxidant capacity of cultivated artichoke, Madeira cardoon and artichoke-based dietary supplements. *Food Research International*, 48, 712-724. doi:10.1016/j.foodres.2012.05.029

Gutiérrez Zavaleta, Á., Ledesma Rivero, L., García García, I., & Grajales Castillejos, O. (2007). Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. *Revista Cubana de Salud Pública*, 33.

Hernández Domínguez, S. (2012). *Relación entre la capacidad antioxidante y composición fenólica en vinos tintos del Cv. Carménère*. Tesis para optar al grado de magister en enología y vitivinicultura, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago de Chile -Chile.

Huaccho Huamán , C. V. (2016). *Capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, carotenoides y antiocianinas de 84 cultivares de mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz y Pavón)*. Tesis para optar el grado de magister Scientiae en Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú.

Huang, D., Ou, B. y Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1841–1856.

Huang, J., & Zhang, M. (2016). Effect of three drying methods on the drying characteristics and quality of okra. *Drying Technology*, 34(8). DOI: 10.1080/07373937.2015.1086367.

Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. B. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. España: Ediciones Mundi-Prensa.

Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá . (2012). *Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica*. Serviprensa S. A.

Jangam, S.V., Law, C.L. y Mujumdar, A.S. (2010). *Basic Concepts and Definitions in Drying of Foods, Vegetables and Fruits*. ISBN-978-981- 08-6759-1, Singapore.

- Karelovic Martínez , F. I. (2012). *Influencia del método de congelamiento en el daño micro-estructural de arándanos liofilizados*. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil Mecánico , Universidad de Chile, Santiago de Chile-Chile.
- Karre L, Lopez K, Getty GJK. (2013). Natural antioxidants in meat and poultry products. *Meat Science*, 94, 220 - 227.
- Khoozani , A. A., Bekhit, A.-D. A., & Birch, J. (2019). Effects of different drying conditions on the starch content, thermal properties and some of the physicochemical parameters of whole green banana flour. *International Journal of Biological Macromolecules*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.010>
- Larrosa, A. P., Comitre, A. A., Vaz, L. B., & Pinto, L. A. (2016). Influence of air temperature on physical characteristics and bioactive compounds in vacuum drying of arthrospira spirulina. *Journal of Food Process Engineering*, 1-9. doi:0.1111/jfpe.12359
- Laza Muñoz Pascual y Laza Muñoz Jerónimoa (2002). *Preelaboración y conservación de alimentos*. Hostelería y Turismo. Ediciones Paraninfo, S.A. 107 págs.
- López, J., Uribe, E., Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Gonzales, E., & Di Scala, K. (2010). Effect of air temperature on drying kinetics, vitamin C, antioxidant activity, total phenolic content, non-enzymatic browning and firmness of blueberries variety O'Neil. *Food Bioprocess Technology*, 3, 772-777. doi:10.1007/s11947-009-0306-8
- M'hiri, N., Ioannou, I., Ghoul , M., & Mihoubi, N. (2017). Phytochemical characteristics of citrus peel and effect of conventional and nonconventional processing on phenolic compounds. *Food Reviews International*, 33(6), 587-619.
- Mabeau Serge, C. Baty-Julien, P. Metra, D. Durand, G. Morice, O. Chodosas, M. Surbled, C. Chesné and K. Mekideche (2005), Antioxidant Activity of Artichoke Extracts and By-Products. DOI: 10.17660/ActaHortic.2007.730.64.
- Márquez Villacorta, L., Siche Jara, R., Pretell Vásquez, C., & Miranda Vera, R. (2008). Efecto de la adición parcial de cáscara de espárrago y brácteas de alcachofa en

- polvo de trigo en sustitución de harina sobre las características sensoriales del pan. *Pueblo cont.*, 19(2), 229-237.
- Martin, D. (2018). Los compuestos fenólicos, un acercamiento a su biosíntesis, síntesis y actividad biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1). Doi: 10.22490/21456453.1968.
- Martínez , M., & Usaquén , X. (2005). *Evaluación del efecto de pre-tratamientos con ultrasonido sobre el nivel de extracción y la actividad de sustancias antioxidante contenidas en el bagazo de uva (Vitis vinifera)*. Universidad de La Sabana, Bogotá.
- Martinez, FS., Gonzales, GJ., Culebras, Jm, Tuñon, MJ.(2002) Flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Revista Nutricion Hospitalaria*; 17(6): p 271-278.
- Mateu , X. (2004). La fibra en la alimentación. *Farmacia Hospitalaria*.
- Medina Vargas , O. J., Garzón Salcedo, L. A., & Espinosa Manrique, W. E. (2016). Efecto del tiempo sobre la cuantificación de polifenoles totales con el reactivo de Folin-Ciocalteu. *Investigación Innovación Ingeniería*, 3(2), 10-24.
- Melgarejo Cabello, S. V. (2018). *Uso de residuos sólidos de la industrialización del camu camu (Myrciaria dubia H. B. K. Mc Vaugh) para la extracción de compuestos fenólicos*. Tesis para optar el grado de magister Scientiae en Ciencias Ambientales , Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú .
- Mercado-Mercado, G., Carrillo, L., Wall-Medrano, A., López Días , J., & Álvarez-Parrilla , E. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición Hospitalaria*, 28(1), 36-46. doi:10.3305/nh.2013.28.1.62998
- Ministerio de Agricultura y Riego, MINAGRI (2019). Disponible en: <http://siea.minagri.gob.pe/siea/>. Visitado el 09 de agosto del 2018.
- Morales-Cruz, J., Juárez-Canales, G. B., Figueroa-González, J. J., & Mancillas-Medina, J. (2017). Evaluación de la Deshidratación solar en carne de cabra (*Caprus dominiuniversi*), determinación de su composición química y compararla con

una comercial. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2, 370-375.

Morillas , J., y Delgado, J. (2012). Análisis Nutricional de Alimentos Vegetales con diferentes orígenes: EValuación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 32(2), 8-20.

Mujundar A. (2006). Principles, Classification and Selection of Dryers.

Müller, L., Fröhlich, K., & Böhm, V. (2011). Comparative antioxidant activities of carotenoids measured by ferric reducing antioxidant power (FRAP), ABTS bleaching assay (α TEAC), DPPH assay and peroxy radical scavenging assay. *Food Chemistry*, 129,139-148

Núñez, W.; Quispe, R, (2015) Evaluación antioxidante y antiinflamatoria in vitro y antiinflamatoria in vivo del extracto hidroalcohólico de la *Caesalpinia spinosa* "tara": Lima, Tesis para obtener el título de Químico Farmacéutico, Facultad de Farmacia y Bioquímica; Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Ocon García J. y Tojo Barreiro G. (1972). *Problemas de ingeniería química*, Edit. Aguilar. Vol II.

Orrego Alzate, C. E. (2008). *Congelación y liofilización de alimentos* (Primera Edición ed.). Colombia.

Ortiz, J. (2011). Composición Nutricional y Funcional de Algas Pardas Chilenas : *Macrocystis pyrifera* y *Durvillaea antarctica*. Monografía de la Revista de la Laboratorio de Química y Análisis de Alimentos, Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. [http: repositorio.uchile/cl/Monografias. Algas Pardas Chilenas.](http://repositorio.uchile/cl/Monografias.AlgasPardasChilenas)

Ortiz Quiñonez, M. E. (2013). *Elaboración de alcachofa en líquido de cobertura o conserva y determinación de la capacidad antioxidante*. Tesis de Grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Químico , Universidad de Guayaquil , Facultad de Ingeniería Química , Guayaquil-Ecuador.

Osuna-Aguirre, M. E., Rodríguez-Jiménez, J., & Amaya-Guerra, C. A. (2019). Aprovechamiento de los residuos del cultivo de alcachofa (*Cybara scolymus* L.)

- para el desarrollo de harin ricas en antioxidantes. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4, 873-877.
- Ozgen , S., & Sekerci, S. (2011). Effect of leaf position on the distribution of phytochemicals and antioxidant capacity among green and red lettuce cultivars. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(3), 801-809.
- Pérez-Jiménez, J., & Saura-Calixto, F. (2007). Metodología para la evaluación de capacidad antitoxificante en frutas y hortalizas. *V Congreso Iberoamericano de Tecnología, Postcosecha y Agroexportaciones*, 1150-1160.
- Plank, D. W., Sapirstein, H., Szpylka, J., & Woollard, D. (2012). Determination of Antioxidant Activity in Foods and Beverages by Reaction with 2,2'-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl (DPPH): Collaborative Study First Action 2012.04. *Journal of AOAC International*, 95(6), 1562-1569. doi:10.5740
- Pulido , R., Bravo , L., & Saura-Calixto, F. (2000). Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing antioxidants power assay. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 48, 3396-3402.
- Quintanar Escorza , M. A., & Calderón Salinas, J. V. (2009). La Capacidad Antioxidante Total Bases y Aplicaciones. *Revista de Educación Bioquímica*, 28(3), 89-101.
- Quispe Sanca, D. (2015). *Composición nutricional de diez genotipos de Lupino (L. mutabilis y L. albus) desamargados por proceso acuoso*. Tesis para optar el Grado de Magister Scientiae en Tecnología de ALIMENTOS , Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú.
- Rafael, M. (1995). *Deshidratado de alcachofa por secado solar*. Tesis para optar el grado en Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú.
- Rahman, N. A., Shamsudin, R., Ismail, A., Shah, N. A., & Varith, J. (2018). Effects of drying methods on total phenolic contents and antioxidant capacity of the pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) peels. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.01.009>

- Rautenbach, F. y Venter, I. 2010. Hydrophilic and lipophilic antioxidant capacity of commonly consumed South African fruits, vegetables, grains, legumes, fats/oils and beverages. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23, 753-761.
- Ricce, C., Leyva, M., Medina, I., Miranda, J., Saldarriaga, L., Rodriguez, J., & Siche, R. (2013). Uso de residuos agroindustriales de La Libertad en la elaboración de un pan integral. *Agroindustrial Science*(3), 41-46.
- Rivera Flores, V. K. (2014). *Efecto del estado de madurez del banano Cavendish en las propiedades de hidratación de la Harina y Gel*. Tesis de Grado de Ingeniería de Alimentos, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Robles, F. (2001). La Alcachofa: nueva alternativa para la agricultura peruana. *PROMPEX-CESEM*. Lima-Perú. 43p.
- Rodriguez, J. (2014). Estructura química y Actividad Antioxidante in vitro del aceite esencial de *Eryngium foetidum* L. “Siuca culantro”. Tesis para optar al Grado de Magíster en Ciencia de los Alimentos. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Peru.
- Rodríguez R. Zaluza, Malvis R. Mesa, Haza Ulises J., Blanco González A. y Rodríguez-Ch. Jorge E. (2014). Empleo de la radiación ultrasónica para la extracción de compuestos bioactivos provenientes de fuentes naturales. Estado actual y perspectivas/Use of ultrasound radiation for extraction of bioactive compounds from natural sources. Current events and persp.
- Rodríguez Lichtenheldt, José E. Adalberto (2017). Determinación de polifenoles, actividad antioxidante, antielastasa, anticlagenasa y elaboración de una fórmula dermocosmética a partir del extracto hidroalcohólico de *Eisenia cokeri* M.A. Howe. Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Farmacia y Bioquímica. Lima, Perú.
- Ruiz Cano, D. (2015). *Mejora de la composición y calidad nutritiva del Pastel de carne de Murcia y su repercusión sobre la salud*. Universidad de Murcia, Departamento de Fisiología, Murcia-España.
- Ruiz-Cano, D., Frutos, M. J., Hernández-Herrero, J. A., Pérez-Llama, F., & Zamora, S. (2015). Effect of chlorophyll removal and particle size upon the nutritional and technological properties of powdered by-products from artichoke (*Cynara*

- scolymus, L.) industrial canning. *International Journal of Food Science and Technology*(50), 2383-2390. doi:10.1111/ijfs.12904
- Ruiz-Cano, D., Pérez-Llamas, F., Frutos, M. J., Arnao, M. B., López-Jiménez, J. Á., Castillo, J., & Zamora, S. (2014). Chemical and functional properties of the different by-products of artichoke (*Cynara scolymus*, L.) from industrial canning processing. *Food Chemistry*. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.091
- Ruiz Espinoza H., Corona Jiménez E., Martínez Navarrete N. & Carranza C. José (2016). Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de semillas de chia (*Salvia hispanica* L.) y su actividad antioxidante. Mexico.
- Salluca, T. G., Peñarrieta, J. M., Alvarado, J. A., & Bergenstahl, B. (2008). Determination of total phenolic compounds content and the antioxidant capacity of andean tubers and roots (isaño, oca, ulluco and arracacha). *Revista Boliviana de Química*, 25(1), 58-61.
- Schaich, K. M., Tian, X., & Xie, J. (2015). Reprint of "Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy: A critical evaluation of ABTS, DPPH, and ORAC assays". *Journal of Functional Foods*, 18, 782-796.
- Schutz, K., Kammerer, D., Carle, R. and Scieber, A. (2004) Identification and quantification of caffeoylquinic acids and flavonoids from artichoke (*Cynara scolymus* L.) heads, juice, and pomace by HPLC-DAD-ESI/MS(n). *J. Agric. Food Chem.* 52, 4090– 4096.
- Serpa Guerra, A. M., Vásquez Osorio, D. C., Castrillón Martínez , D. C., & Hincapié Llanos , G. A. (2015). Comparación de dos técnicas de deshidratación de guayaba-pera (*Psidium guajava* L.) sobre los efectos del contenido de vitamina C y el comportamiento de las propiedades técnico-funcionales de la fibra dietaria. *Revista Lasallista de Investigación*, 12(1), 10-20.
- Serpen, A., Gökmen, V., & Fogliano, V. (2012). Solvent effects on total antioxidant capacity of foods measured by direct QUENCHER procedure. *Journal of Food Composition and Analysis*, 26, 52-57.

- Serrano, J., Goñi, I., & Saura-Calixto, F. (2007). Food antioxidant capacity determined by chemical methods may underestimate the physiological antioxidant capacity. *Food Research International*, 40, 15–21.
- Shofian, N. M., Hamid, A. A., Osman, A., Saari, N., Anwar, F., Dek, M. S., & Hairuddin, M. R. (2011). Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. *International Journal of Molecular Sciences*, 12(7), 4678-4692. doi:10.3390/ijms12074678
- Sifuentes H. Edwin y Patricio M. Veronica. (2019). Efecto de la técnica de secado y solvente en la determinación de polifenoles y actividad antioxidante de residuos de espárrago (*asparagus officinalis*)” Tesis para optar el título de ingeniero agroindustrial. Chimbote, Perú.
- SIICEX (2018) Sistema Integrado de Información de Comercio Exterior. Alcachofa. Disponible en: <http://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/fichaproducto/Alcachofa1.pdf>
Visitado el 09 de agosto del 2018.
- Silva , N., Santana, R., Duarte , C., & Barrozo, M. (2016). Impact of freeze-drying on bioactive compounds of yellow passion fruit residues. *Journal Food Process Engineering*, 2016, 1-9.
- Silva Leal , M. A., & Martínez Corredor , L. M. (2017). *Evaluación del efecto del pre-tratamiento con ultrasonido sobre la extracción de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante en brácteas y tallos de la alcachofa (Cynara Scolymus) cultivada en Cundinamarca*. Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniería en Alimentos, Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería , Bogotá D. C.
- Suárez-Hernández, L., Barrera-Zapata, R., & Forero-Sandoval, A. F. (2016). Evaluación de alternativas de secado en el proceso de elaboración de harina de lombriz. *Transformación y agroindustria* (17), 55-71.
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Hawkins Byrne, D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 669-675. doi:10.1016/j.jfca.2006.01.003

- Tiveron, A. P., Melo, P. S., Bergamaschi, K. B., Vieira, T. M., Regitano-d'Arce, M. A., & Alencar, S. M. (2012). Antioxidant activity of Brazilian vegetables and its relation with phenolic composition. *International Journal of Molecular Sciences*, *13*, 8943-8957. doi:10.3390/ijms13078943
- Tomas-Barberán F.A. (2003). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Revista Alimentos, Nutrición y Salud*. *10*(2) : 41-53.
- Torres Soplin , G. K. (2013). *Influencia de la harina y pasta de alcachofa en el comportamiento reologico de harinas para uso en panificación*. Tesis para optar el titulo profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional del Centro del Perú , Hunacayo-Perú .
- Treybal E. Roberto, (2010). Operaciones de transferencia de masa. Segunda edición.
- Urrea-Victoria, V., Pires Janaína, Bezerra Torres, P., Alves Cursino dos Snatos, D., & Chow Fungyi. (2016). *Ensaio antioxidante em microplaca do poder de reducao do ferro (FRAP) para extratos de algas*. Universidadede Sao Paulo, Instituto de Biociencias, Sao Paulo.
- Vashisth, T., Singh, R. K., & Pegg, R. B. (2011). Effects of drying on the phenolics content and antioxidant activity of muscadine pomace. *LWT-Food Science and Technology*, *44*, 1649-1657.
- Velásquez V. Valeria del Carmen (2007). Estandarización del Proceso de Secado de Carragenina en la Empresa Extractos Naturales Gelymar S.A. Tesis para optar el grado de licenciado en Ciencia de los Alimentos. Valdivia, Chile.
- Vidal Santo, A., Velázquez Camilo, O., Iñaki De la Cruz, R., & Ortega Moriel, G. (2012). Diseño y construcción de un secador solar protátil. Congreso internacional de Investigación. *Academia Journals*, *4*(2), 1613-1618.
- Wang , M., Simon, J. E., Aviles, I. F., He, K., Zheng, Q.-Y., & Tadmor, Y. (2003). Analysis of antioxidative phenolic compounds in artichoke (*Cynara scolymus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(3), 601-608.

- Wojdylo, A., Figiel, A., Lech, K., Nowicka, P., & Oszmiański, J. (2014). Effect of convective and vacuum-microwave drying on the bioactive compounds, color, and antioxidant capacity of sour cherries. *Food Bioprocess Technology*, 7, 829-841. doi:10.1007/s11947-013-1130-8
- Zavaleta Urtecho, E. D. (2017). *Capacidad antioxidante, regeneradora y factor de protección solar de la cáscara de Mangifera indica L. "mango"*. Tesis para optar el grado de Bachiller en Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Trujillo-Perú.
- Zuleta, A., Esteve, M. J., & Frígola, A. (2009). ORAC nad TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products. *Food Chemistry*, 114(1), 310-316.
- Zuorro, A., Maffei, G., & Lavecchia, R. (2015). Reuse potential of artichoke (*Cynara scolimus L.*) waste for the recovery of phenolic compounds and bioenergy. *Journal of Cleaner Production*, 1-6.
- Zuorro, A., Maffei, G., & Lavecchia, R. (2014). Effect of solvent type and extraction conditions on the recovery of phenolic compounds from artichoke waste. *Chemical Engineering Transactions*, 39, 463-468. doi:10.3303/CET1439078.

ANEXOS

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Proceso de obtención de harina de brácteas de alcachofa



Figura 1. Recolección de materia prima. A). Var. Green Globe (Fundo "San Bartolo"). B). Var. Imperial Star (Fundo "La Huaca")



Figura 2. Recepción de materia prima



Figura 3. Lavado y desinfección por inmersión



Figura 4. Selección de materia prima



Figura 5. Pesado de la alcachofa



A)



B)



C)

Figura 6. Blanqueado de la alcachofa. A). Control de temperatura. B). Pesado de ácido cítrico 1.5%. C). Blanqueado, 96°C por 10min.



Figura 7. Enfriamiento por inmersión a 10°C por 5 min.



Figura 8. Desbracteado manual.



Figura 9. Escurrido y oreado para eliminar el agua



Figura 10. Secado por liofilización. A). Acondicionamiento de la alcachofa en la bandeja. B). Colocación de las bandejas en el liofilizador. C). Recepción de alcachofa liofilizada.



Figura 11. Secado en bandeja A). Acondicionamiento de la alcachofa en la bandeja. B). Colocación de las bandejas en el secador de bandeja. C). Recepción de alcachofa seca, por aire caliente.

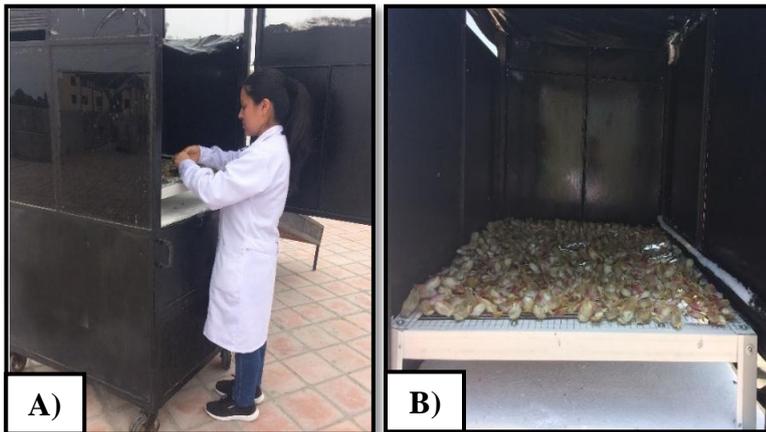


Figura 12. Secado solar. A). Acondicionamiento de la alcachofa. B). Interior de la cabina del secado

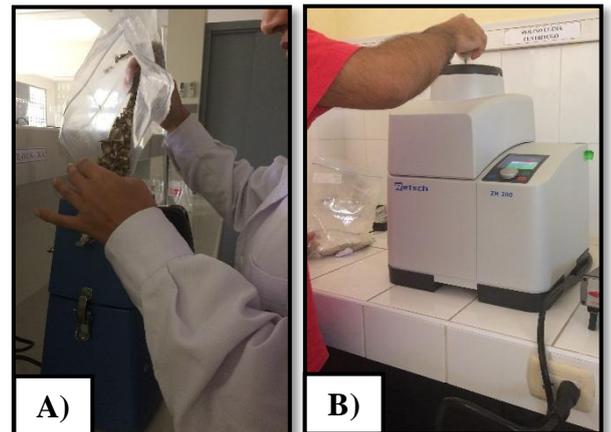


Figura 13. Molienda. A). Primera molienda. B). Molienda en molino



Figura 14. Tamizado de la harina obtenida.



Figura 15. Pesado de la harina para determinar el

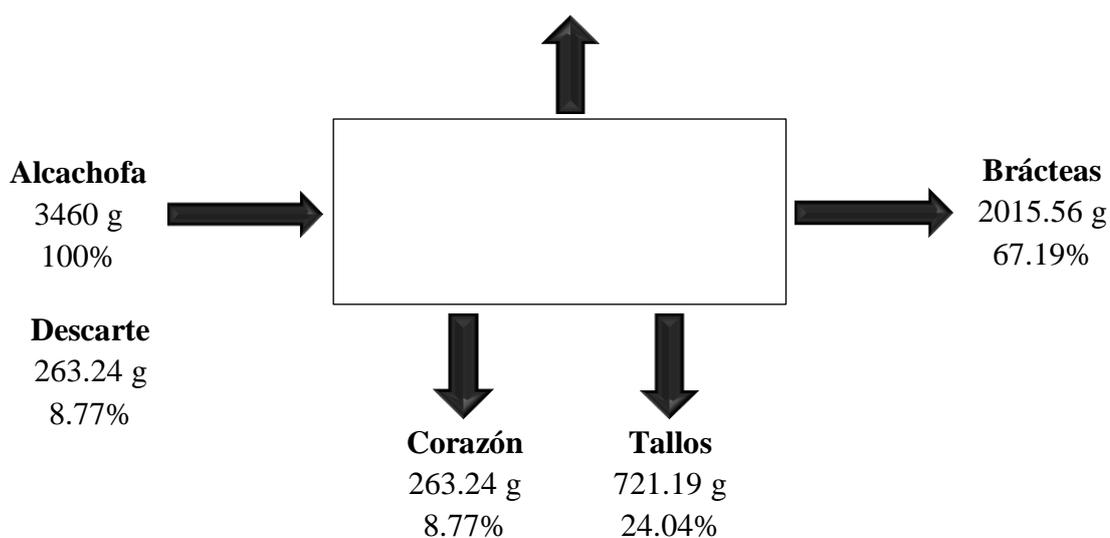


Figura 16. Sellado de las bolsas de polipropileno contenidas harina obtenida.



Figura 17. Harina obtenida a partir de brácteas de alcachofa var. Imperial star y var. Green globe. A). Harina obtenida por secado en bandeja. B). Harina obtenida por liofilización. C). Harina obtenida por secado solar.

Anexo 2. Balance de masa para el acondicionamiento de la alcachofa



Anexo 3. Rendimiento en el proceso de secado

Variedad de alcachofa	Peso (g)	Tipos de secado					
		Secado en Bandeja		Liofilización		Secado Solar	
		Cantidad (g)	Rendimiento (%)	Cantidad (g)	Rendimiento (%)	Cantidad (g)	Rendimiento (%)
Green	Inicial	655.2	100%	560.12	100%	800.24	100%
Globe	Final	119.9	18.30%	92.68	16.55%	148.92	18.61%
Imperial	Inicial	655.1	100%	566.01	1	810.02	100%
Star	Final	118.5	18.09%	96.03	16.97%	153.15	18.91%

Anexo 4. Análisis fisicoquímico de la materia prima y harina de brácteas de alcachofa var. Green globe y var. Imperial star

Anexo 4.1. Determinación de Humedad



Figura 18. Pesado de la muestra



Figura 19. Secado en estufa de las muestras, 110°C durante 3 horas



Figura 20. Muestras (brácteas de alcachofa) secas.



Figura 21. Campana de desecación conteniendo las muestras, después del proceso de secado en estufa.



Figura 22. Pesado de las muestras secas. A). Brácteas de alcachofa B). Harina de brácteas de alcachofa.

Anexo4.2. Determinación del contenido de Cenizas



Figura 23. Corte de las brácteas de alcachofa



Figura 24. Pesado de la muestra.



Figura 25. Pesado del crisol.

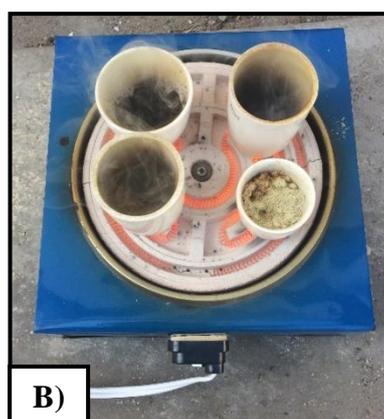
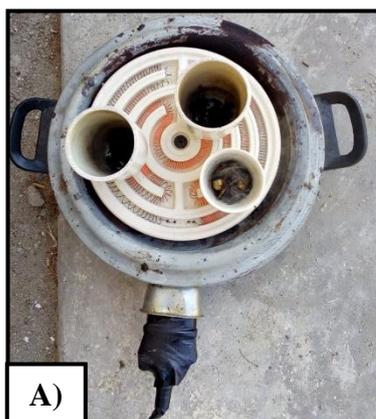


Figura 26. Incineración de las muestras en una concina eléctrica. A). Brácteas de alcachofa. B). Harina de brácteas



Figura 27. Muestras colocadas en la mufla por 3 horas a 600°C.



Figura 28. Enfriamiento de las muestras



Figura 29. Pesado de las muestras luego de su completa incineración.

Anexo 4.3. Determinación de Proteínas Totales



Figura 30. Corte de las brácteas de alcachofa



Figura 31. Pesado de la muestra. A). Brácteas de alcachofa. B). Harina de brácteas de alcachofa.



Figura 32. Adición de las muestras en los tubos de mineralización.

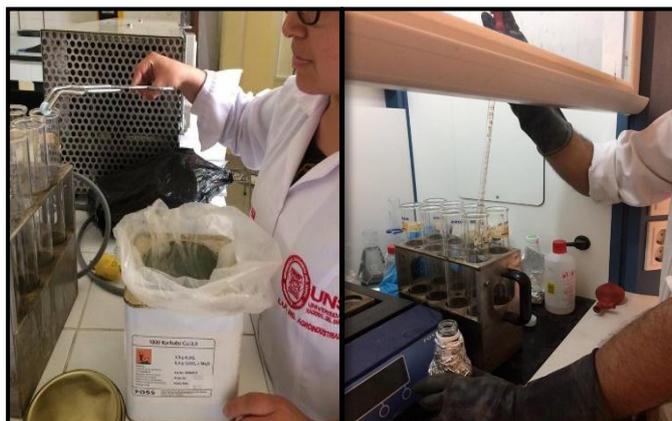


Figura 33. Adición de catalizador (mezcla sales de cobre y óxido de titanio) y H_2SO_4 concentrado



Figura 34. Digestión de las muestras.



Figura 35. Ácido bórico para la destilación.



Figura 36. Destilación de las muestras.



Figura 37. Titulación de las muestras con solución de HCl 0.1 N, valoración hasta virar a color rosa.

Anexo 4.4. Determinación de Índice de solubilidad en Agua (ISA)



Figura 38. Pesado de la harina de brácteas de alcachofa (2.5 g) en tubos Falcom, previamente tarados.



Figura 39. Adición de 30 ml de agua destilada en cada tubo Falcom.

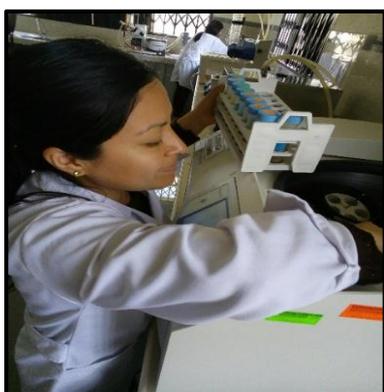


Figura 40. Centrifugación de las muestras, 4500 rpm por 20 minutos.

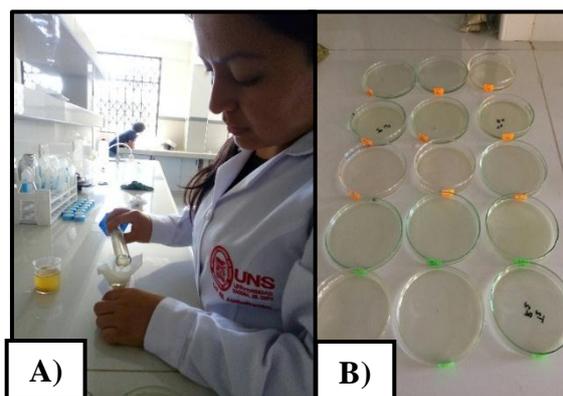


Figura 41. A) Filtrado del sobrenadante, B) 10 ml del sobrenadante son depositados en Placas Petri previamente taradas.



Figura 42. Secado en estufa de las muestras, 90°C durante 4 horas.

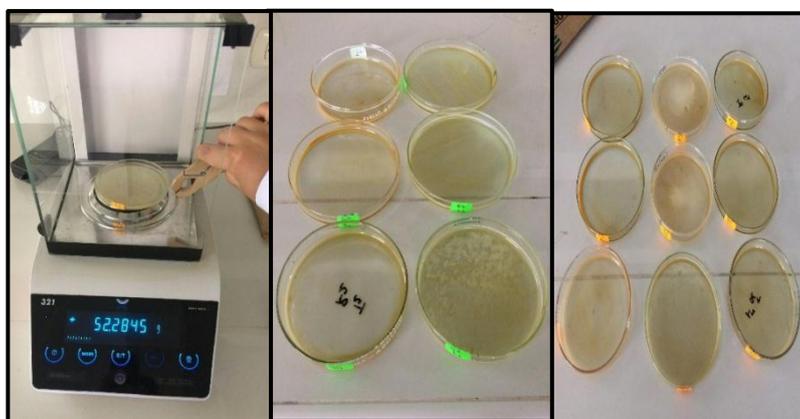


Figura 43. Pesado de las Placas Petri con el material soluble.

Anexo 4.5. Determinación de Capacidad de Retención de Agua (CRA)



Figura 44. Pesado de la harina de brácteas de alcachofa (1 g) en tubos Falcom, previamente tarados.



Figura 45. A) Agitación durante 1 minuto, de los Tubos Falcom los cuales contienen 1 g de harina y 10 ml de agua destilada, y B) dejar reposar durante 24 horas.



Figura 46. Centrifugación de las muestras, 3000 rpm durante 20 min.



Figura 47. Decantación del sobrenadante



Figura 48. Pesado del residuo sólido.

Anexo 4.6. Medición de Color – Colorimetría

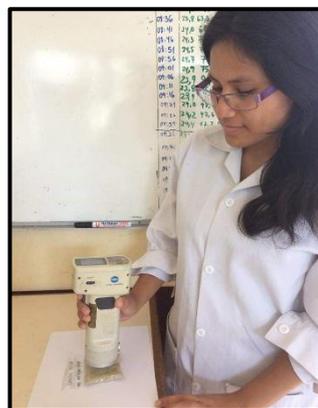


Figura 49. Colorimetría de las harinas de brácteas de alcachofa.

Anexo 5. Descripción del proceso de extracción

Anexo 5.1. Procedimiento para la obtención del extracto de la Materia Prima y harina de brácteas de alcachofa Var Green Globe y Var Imperial Star



Figura 50. Licuado de brácteas de alcachofa (materia prima) utilizando solvente para su extracción.



Figura 51. Tubos Falcom conteniendo la materia prima licuada.



Figura 52. Pesado de harina de brácteas de alcachofa obtenidas por secado en bandeja, liofilización y solar.



Figura 53. Adición del solvente en cada tubo Falcom que contiene harina.



Figura 54 Colocación de las muestras en el equipo de ultrasonido durante 30 min a 60°C.



Figura 55. Centrifugación de las muestras, 3500 rpm durante 10 minutos.

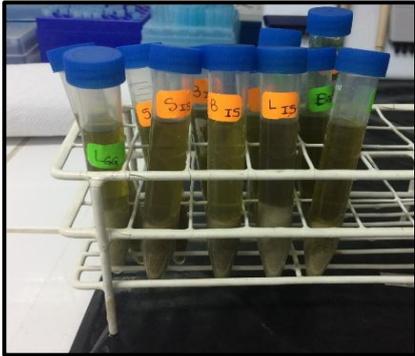


Figura 56. Tubos Falcom conteniendo las muestras después del proceso de centrifugación.

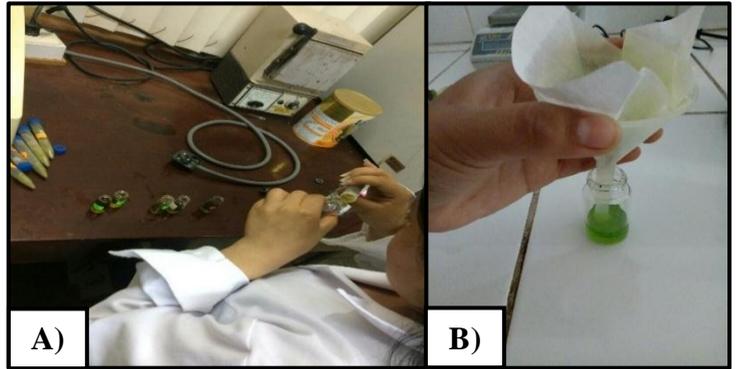


Figura 57. A) Transferencia del sobrenadante de las muestras (harina) en viales de vidrio. B) Filtrado de las muestras (materia prima) en viales de vidrio.



Figura 58. Extractos de materia prima y harina de brácteas de alcachofa Var. Green Globe.



Figura 59. Extractos de materia prima y harina de brácteas de alcachofa Var. Imperial Star.

Anexo 6. Cuantificación de polifenoles totales

A. Materiales



Figura 60. Reactivo Folin-Ciocalteu



Figura 61. Carbonato de sodio

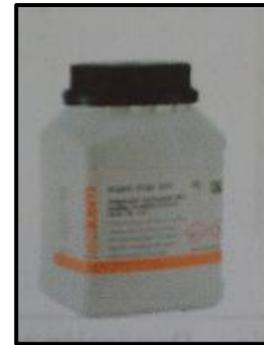


Figura 62. Ácido Gálico

B. Procedimiento

B 1. Preparación de reactivos



Figura 63. Reactivo Folin-Ciocalteu



Figura 64. Carbonato de sodio al 7.5%



Figura 65. Solución estándar de Ácido Gálico

B 2. Curva de calibración de Ácido Gálico



Figura 66. Volúmenes de 150, 300, 600, 900, 1200 y 1500uL de solución estándar de Ácido Gálico son colocados en viales de vidrio.



Figura 67. Adición de agua destilada en cada vial, completando un volumen de 3300 uL.



Figura 68. Adición de 150 uL de carbonato de sodio 7.5%.



Figura 69. Adición de 300 uL del reactivo Folin-Ciocalteu.

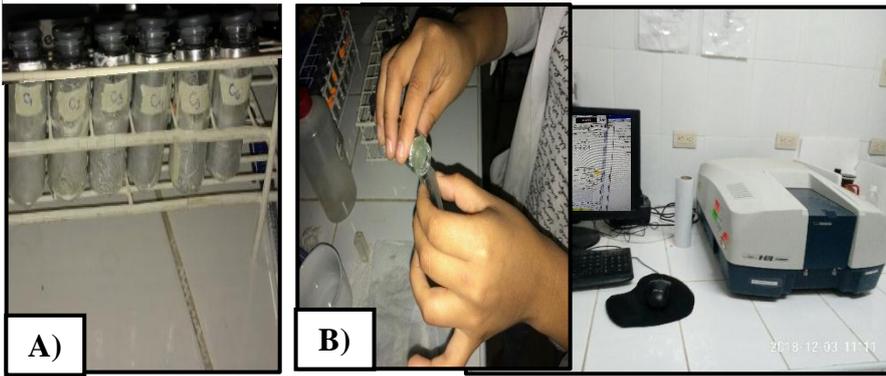


Figura 70. A) La solución se agito y dejó reposar durante 15 minutos en oscuridad. B) Lectura de las absorbancias a 726 nm



Figura 71. Viración a color azul de las soluciones como resultado de la reacción de reducción de Mo (VI) a Mo (V)

B 3. Preparación de la muestra y cuantificación de polifenoles totales



Figura 72. Dilución de las muestras, 1:40 (v/v) para harina, a partir de los extractos obtenidos.



Figura 73. Alícuotas de 900uL de las muestras son colocadas en viales de vidrio



Figura 74. Adición de 2400uL de agua destilada en cada vial.



Figura 75. Adición de 150 uL de carbonato de sodio al 7.5% y 300uL del reactivo Folin-Ciocalteau.



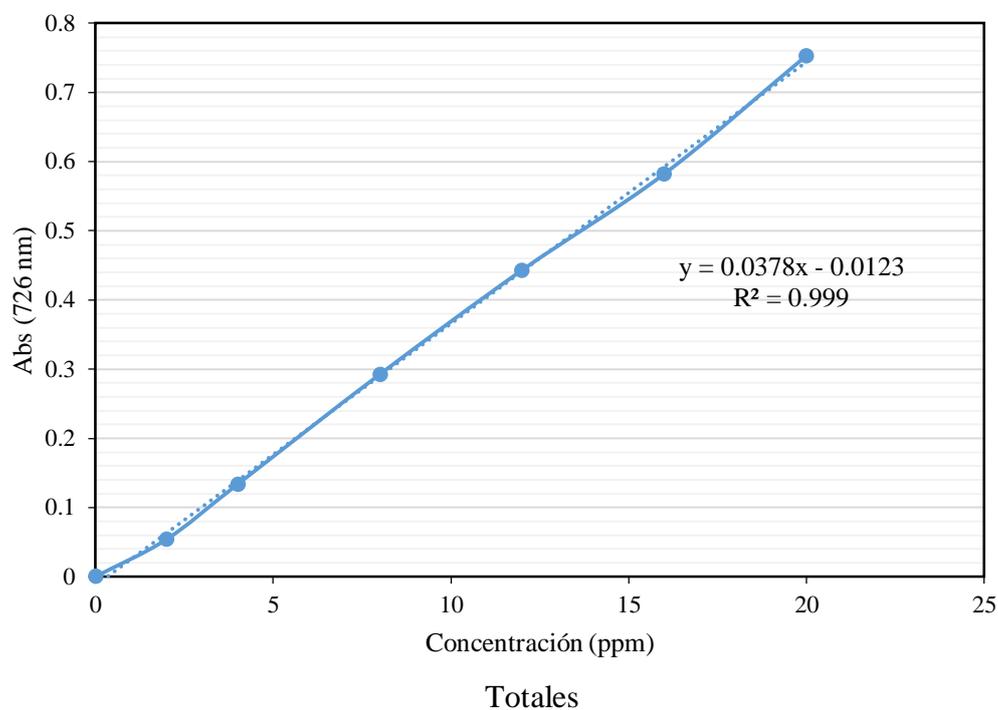
Figura 76. Lectura de las muestras después de 15 minutos de reacción.

B.4. Curva de calibración de Ácido Gálico

Tabla 1. Datos de la curva de calibración de Ácido Gálico

N°	Concentración (ppm)	Abs (726 nm)
0	0	0.0003
1	2	0.0542
2	4	0.1338
3	8	0.2926
4	12	0.443
5	16	0.5821
6	20	0.7529

Gráfica 1. Curva de calibración de Ácido Gálico para determinación de Polifenoles



Anexo 7. Cuantificación de capacidad antioxidante - método DPPH

A. Materiales



Figura 77. Trolox



Figura 78. 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

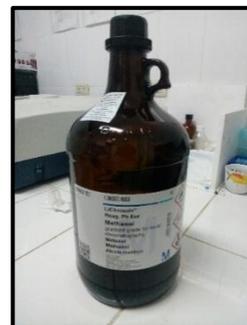


Figura 79. Metanol grado HPLC

B. Procedimiento

B.1. Preparación de reactivos



Figura 80. Solución DPPH (40mg/L)



Figura 81. Estándar Trolox (50mg/100mL)

B.2. Preparación de la curva de calibración de Trolox



Figura 82. Alícuotas de estándar de Trolox (50mg/100mL) son colocados en viales de vidrio.



Figura 83. Adición de solución de DPPH en cada vial.

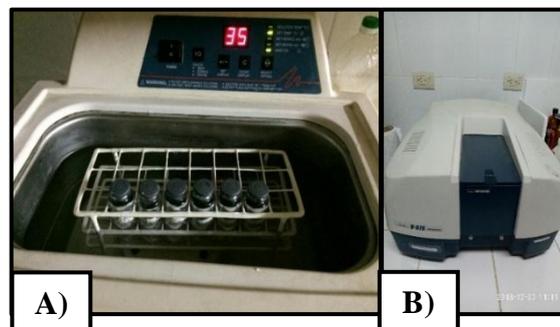


Figura 84. A) Colocación de las muestras en incubación en baño María durante 2 horas a 35°C. B) Lectura de abs a 517 nm.

➤ **Metodología propuesta por Plank *et al.* (2012):**



Figura 85. Pesar tres cantidades diferentes de harina (10mg, 20mg y 50mg)



Figura 86. Pesar tres cantidades de almidón en proporción 1:30 (w/w) y colocarlas en Tubos



Figura 87. Incubación en baño María, después de la adición de la solución DPPH.



Figura 88. Centrifugación de las muestras, 3500 rpm durante 15 min.

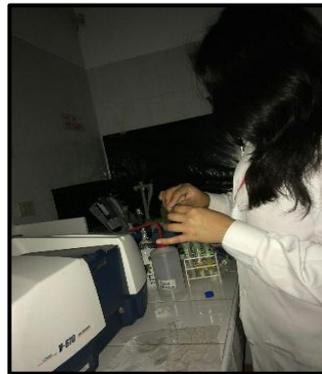


Figura 89. Lectura de la abs a 517 nm.

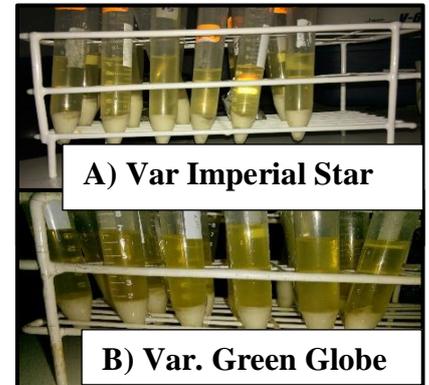


Figura 90. Efecto del contenido de antioxidante de las muestras sobre el color del DPPH.

➤ **Metodología convencional:**



Figura 91. Dilución 1:40 de los extractos.



Figura 92. Adición de la solución DPPH.



Figura 93. Incubación en baño María a 35°C por 2 horas, y posterior lectura de la abs a 517 nm.

Anexo 7.1. Calculo de Actividad Antioxidante

Método DPPH, AOAC 2012

(Plank, *et al.*, 2012)

A continuación, se muestra un ejemplo con los datos obtenidos y/o requeridos para la determinación de la capacidad antioxidante de la harina de brácteas de alcachofa, con la finalidad de una mejor comprensión de las ecuaciones establecidas por el método.

1. Datos obtenidos y/o requeridos:

1.1. Curva Patrón Trolox

- Rango de curva: 2 - 8 ppm (Abs de 0.6323 a 0.0084)
- Pendiente trolox = -0.1045 abs /mg trolox (pendiente de curva patrón)
- Blanco teórico = 0.8497 abs (intercepto de curva patrón)
- Abs Blanco = 0.4249 abs (mitad del blanco teórico)

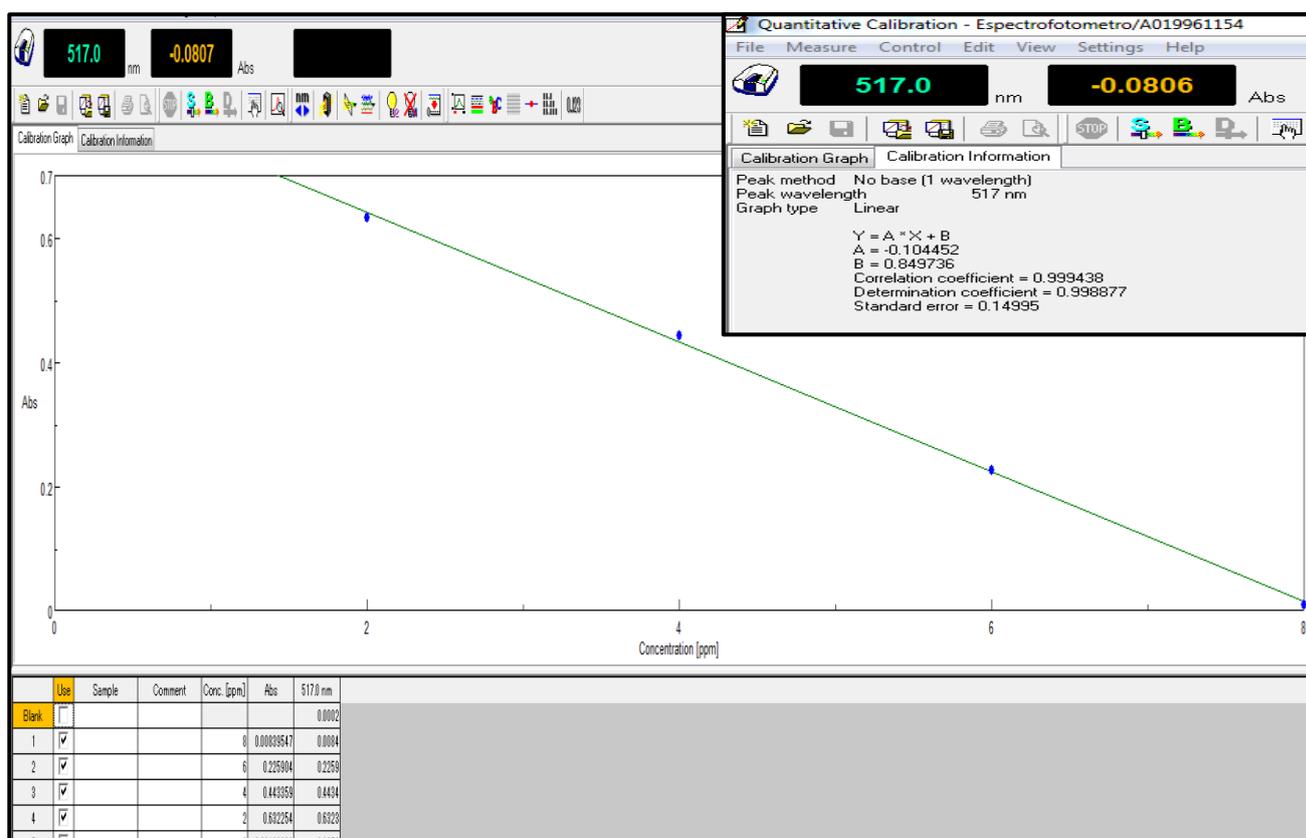


Figura 94. Curva de calibrado de Trolox para análisis DPPH

1.2. Muestra:

- Tres pesos de muestras de harina de brácteas de alcachofa: 10, 20 y 50 mg
- Tres pesos de almidón: 300, 600 y 1500 mg
- Tres absorbancias de lectura de la mezcla, muestra más almidón: 0.4126, 0.3567 y 0.2987.

2. Cálculos necesarios:

2.1. Determinación de peso corregido de muestra:

$$\text{Peso corregido (g)} = \frac{\text{Peso de la muestra (mg)} \times \text{Factor de dilución}}{1000}$$

$$\text{Peso corregido 1} = \left(10 \text{ mg} \times \left(\frac{10 + 300}{10} \right) \right) \times \frac{1g}{1000mg} = 0.31$$

$$\text{Peso corregido 2} = \left(20 \text{ mg} \times \left(\frac{20 + 600}{20} \right) \right) \times \frac{1g}{1000mg} = 0.62$$

$$\text{Peso corregido 3} = \left(50 \text{ mg} \times \left(\frac{50 + 1500}{50} \right) \right) \times \frac{1g}{1000mg} = 1.55$$

2.2. Determinación de absorbancia neta:

$$\text{Absorbancia neta} = \text{Blanco teorico} - \text{Abs a 517 nm}$$

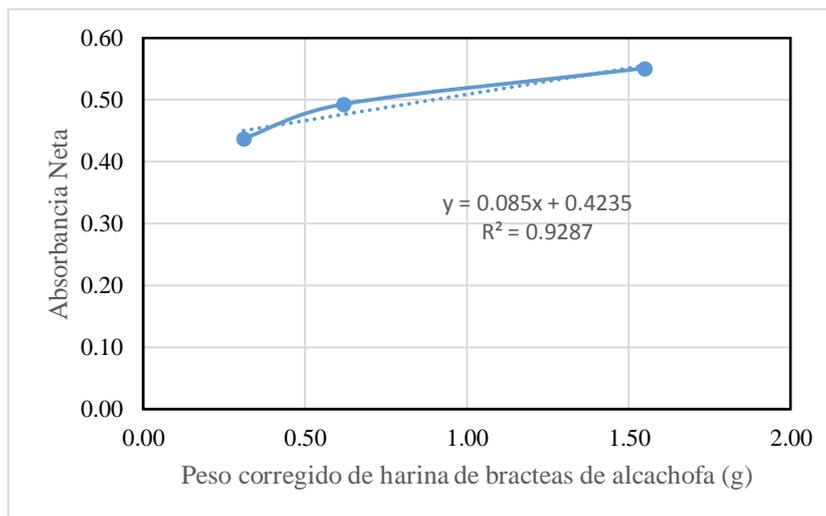
$$\text{Absorbancia neta 1} = 0.8497 - 0.4126 = 0.4372$$

$$\text{Absorbancia neta 2} = 0.8497 - 0.3567 = 0.4931$$

$$\text{Absorbancia neta 3} = 0.8497 - 0.2987 = 0.5511$$

2.3. Gráfica de peso corregido Vs. Absorbancia neta

Gráfica 2. Curva de la muestra de harina de brácteas de alcachofa



La curva de Peso corregido y Abs neta muestra una pendiente positiva, lo que indica que a mayor peso de muestra mayor diferencia entre el blanco teórico y la absorbancia de la muestra, es decir mayor es el efecto de decoloración.

2.4. Determinación de Masa Blanco:

De la curva peso corregido y Abs neta se emplea su intercepto = 0.4235 y pendiente = 0.085 y la Abs blanco de la curva patrón = 0.4249 (mitad del blanco teórico).

$$\text{Masa del blanco (g)} = \frac{\text{Abs blanco} - Y_{\text{intercepto}}}{\text{Pendiente}}$$

$$\text{Masa del blanco (g)} = \frac{(0.4249 - 0.4235)}{0.085}$$

$$\text{Masa del blanco (g)} = 0.0166 \text{ g de muestra}$$

2.5. Determinación de actividad antioxidante (AAT)

A partir de los siguientes datos: Factor Trolox = 391 546 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g}$ muestra (Factor provisto por Plank *et al.*, 2012), Abs blanco = 0.4249 abs, Masa blanco = 0.0166 g y valor absoluto de Trolox pendiente = -0.1045 abs /mg Trolox., se determina:

$$AAT = \frac{\text{Factor Trolox} * \text{Abs Blanco}}{\text{Masa del Blanco} * |\text{Pendiente Trolox}|}$$

$$AAT (bh) = \frac{(391\,546 \mu\text{mol} \frac{ET}{100g \text{ Trolox}})(0.4249)}{(0.0166g) \left(\left| -0.1045 \frac{\text{abs}}{\text{mg Trolox}} \right| \right) \left(\frac{1000 \text{ mg Trolox}}{1g \text{ Trolox}} \right)}$$

$$AAT = 96224.172 \mu\text{mol} \frac{ET}{100g \text{ muestra}}$$

Todos los resultados de actividad antioxidante mostrados en el presente trabajo de investigación fueron tratados de la misma manera como se ha detallado.

Anexo 8. Cuantificación de capacidad antioxidante - método FRAP

A. Materiales



Figura 95. Solución $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (20mM)



Figura 96. Solución TPTZ (10mM)



Figura 97. Tampon acetato 0.3M, pH 3.6



Figura 98. Estándar Trolox (25mM)

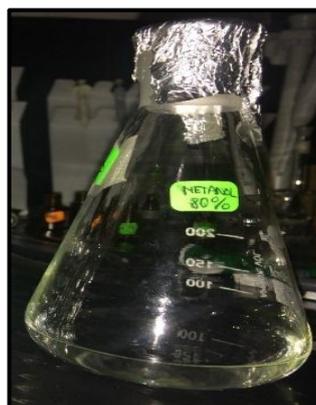


Figura 99. Metanol 80%

B. Procedimiento

B.1. Determinación de Capacidad antioxidante



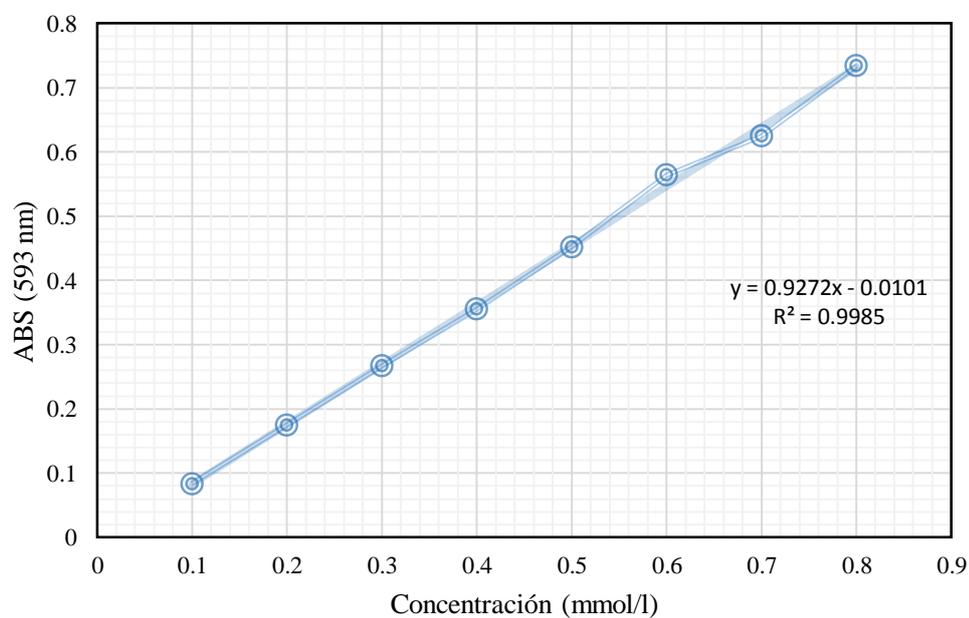
Figura 100. Viales con muestra y reactivo FRAP antes de la medición.

B.2. Curva de calibración de Trolox

Tabla 2. Datos de la curva de calibración de Trolox

N°	Concentración (mmol/L)	Abs (593 nm)
1	0.1	0.0839
2	0.2	0.1752
3	0.3	0.2673
4	0.4	0.3556
5	0.5	0.4523
6	0.6	0.564
7	0.7	0.6249
8	0.8	0.7344

Grafica 3. Curva de calibración de Trolox para determinación de capacidad antioxidante mediante el método FRAP



Anexo 9. Cinética de secado

A continuación, se muestran las fórmulas utilizadas para la determinación del contenido de humedad y velocidad de secado de la materia prima. Se ha tomado como referencia las ecuaciones propuestas por Ocón y Tojo (1978).

1. Contenido de humedad del producto:

$$Y_i = \frac{WT - WS}{WS}$$

Y_i= Humedad del producto (peso agua/ peso de sólidos secos)

WT= Peso total del material en un tiempo determinado

WS= Peso de los sólidos secos

2. Velocidad de secado (R):

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

W= Velocidad de secado (Kg/h.m²)

S= Peso del sólido seco (Kg)

A= Área de la superficie expuesta (m²)

(-dx/dθ) = cociente diferencial, cambio del contenido de humedad respecto al tiempo.

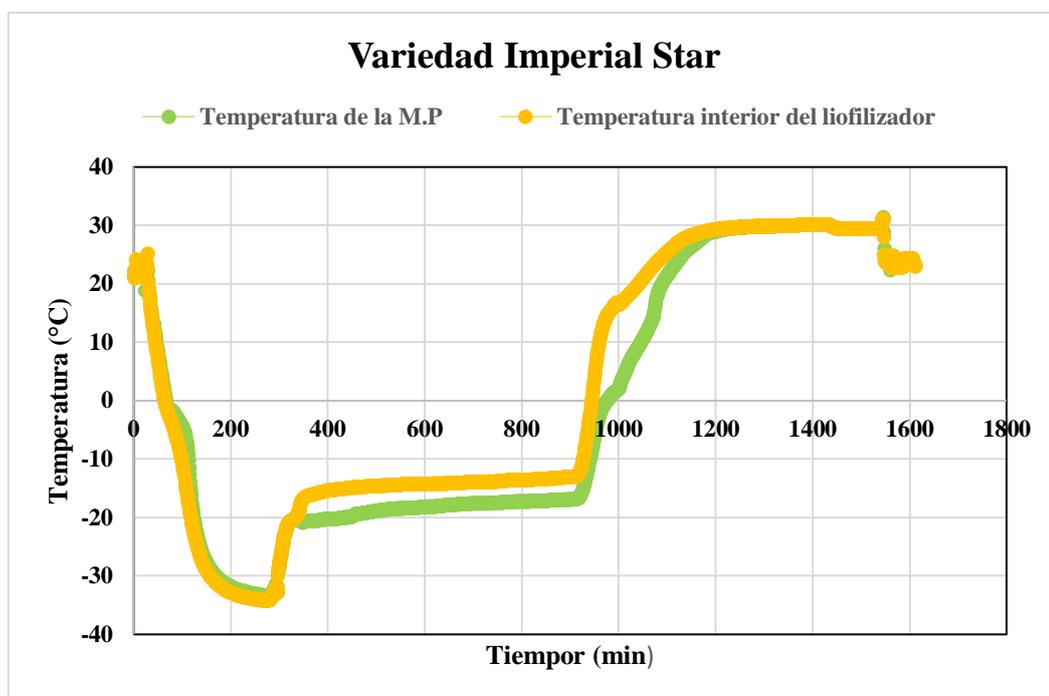
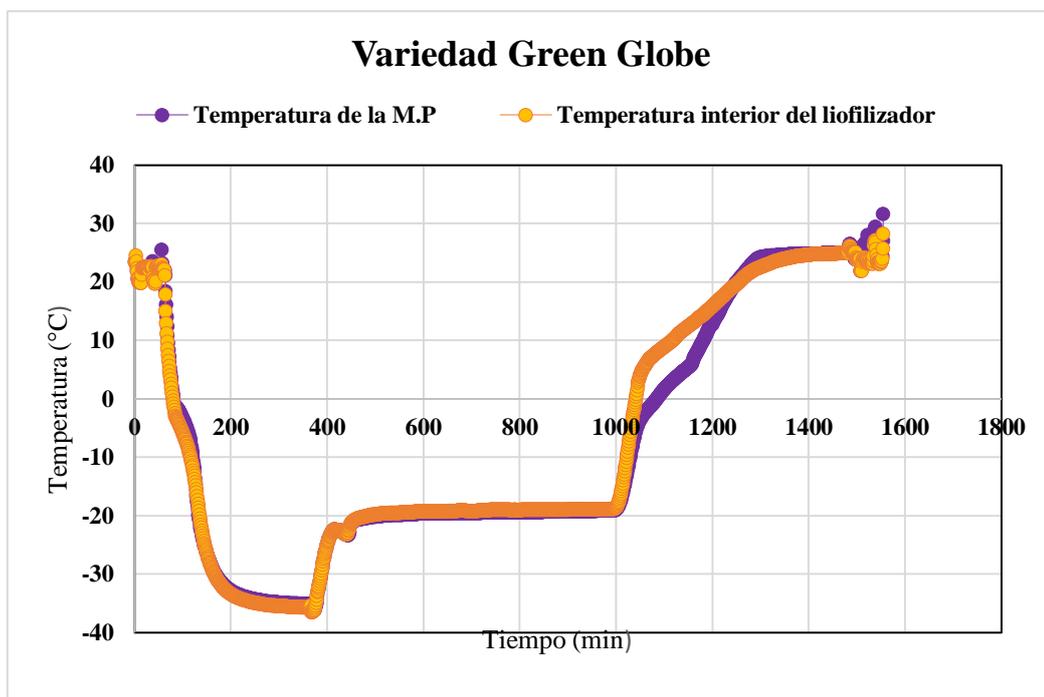
9.1. Condiciones de secado

9.1.1. Secado en bandeja

Tabla 3. Parámetros de secado

Parámetros	Unidades
Velocidad de secado	0.6 m/s
Tiempo de secado	8 horas
Temperatura de secado	55°C
Área de superficie expuesta	0.1363 m ²

9.1.2. Curva de secado del proceso de liofilización



9.1.3. Secado Solar

Tabla 4. Condiciones de secado de las brácteas var. Imperial Star

Condiciones		Unidades
Temperatura (Sensor M3T24050)*	Max	61.28°C
	Min	37.64°C
Temperatura (Sensor M3T24038)	Max	53.82°C
	Min	15.13°C
Temperatura (Sensor M3T24052)	Max	47.48°C
	Min	15.10°C
Tiempo de secado		95 horas
Área de superficie expuesta		0.643m ²

*Observación: Registro de solo 51 datos perteneciente al día 15/10/18, desde las 12:15 pm hasta 16:15 pm, debido a fallas en el sensor.

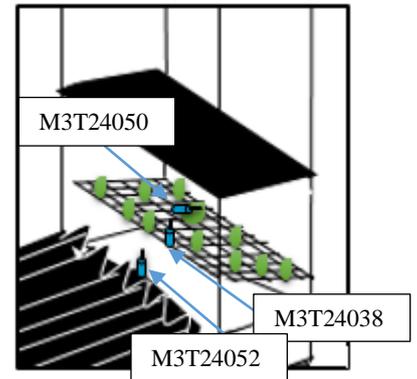


Figura 101. Posición de los sensores

Tabla 5. Condiciones de secado de las brácteas var. Green Globe

Condiciones		Unidades
Temperatura (Sensor M3T24052)	Max	57.14°C
	Min	16.23°C
Temperatura (Sensor M3T24038)	Max	55.09°C
	Min	16.23°C
Temperatura (Sensor M3T24050)	Max	53.03°C
	Min	16.14°C
Tiempo de secado		120 horas
Área de superficie expuesta		0.643m ²

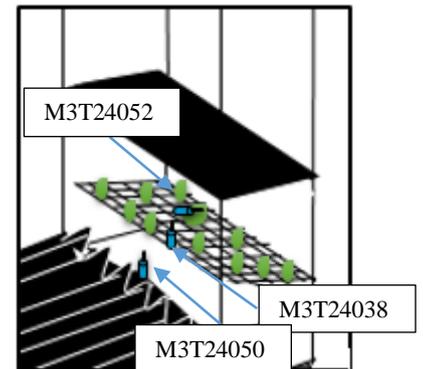
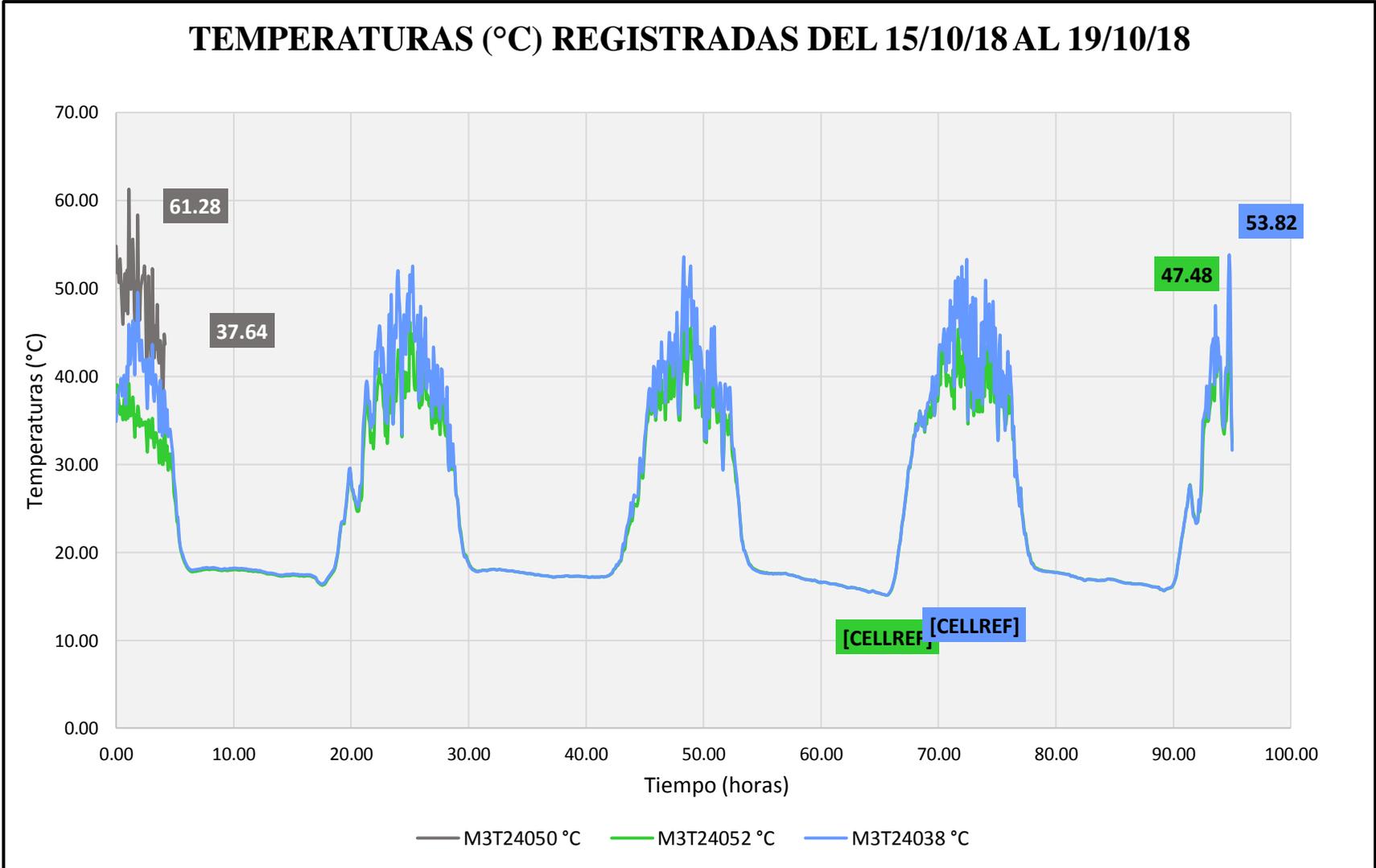


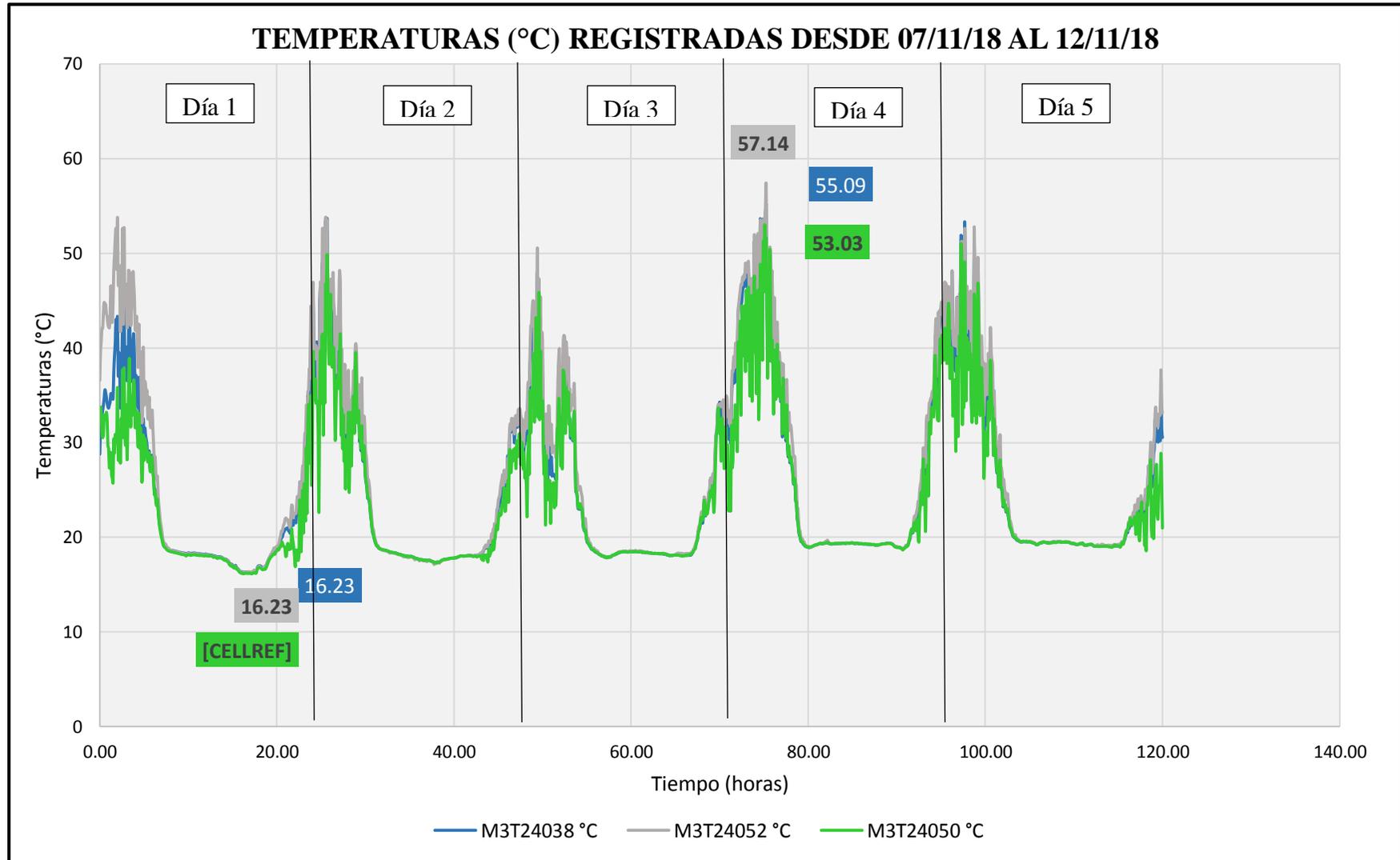
Figura 102. Posición de los sensores



Figura 103. Secador solar



Grafica 5. Temperaturas registradas durante el proceso de secado solar de las brácteas de alcachofa var Green Globe



9.2. Velocidad de secado de la materia prima

9.2.1. Secado en bandeja

Tabla 6. Humedad y velocidad de secado de las brácteas de alcachofa var. Imperial Star

TIEMPO (horas)	PESO DE LA MUESTRA (g)			PESO DE LA MUESTRA (Kg)			HUMEDAD DEL SÓLIDO				VALOR MEDIO	VELOCIDAD DE SECADO (Kg/h.m ²)
	B1 (g)	B2 (g)	B3 (g)	B1 (Kg)	B2 (Kg)	B3 (Kg)	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Humedad promedio (Kg agua/Kg sólido seco)		
0.0000	218.7	217.5	218.9	0.2187	0.2175	0.2189	4.4854	5.2367	5.8670	5.1964		
0.0833	212.2	210.5	209.9	0.2122	0.2105	0.2099	4.3224	5.0360	5.5846	4.9810	5.0887	0.6739
0.1667	205.3	201.7	200.8	0.2053	0.2017	0.2008	4.1493	4.7836	5.2992	4.7440	4.8625	0.7414
0.2500	197.4	193.1	193.9	0.1974	0.1931	0.1939	3.9512	4.5370	5.0827	4.5236	4.6338	0.6896
0.3333	190	185.7	186.2	0.1900	0.1857	0.1862	3.7656	4.3249	4.8412	4.3105	4.4171	0.6668
0.4167	182.6	175.9	180.2	0.1826	0.1759	0.1802	3.5800	4.0438	4.6529	4.0923	4.2014	0.6830
0.5000	176.5	165.8	173	0.1765	0.1658	0.1730	3.4270	3.7542	4.4271	3.8694	3.9808	0.6972
0.5833	169	160	164.5	0.1690	0.1600	0.1645	3.2389	3.5879	4.1604	3.6624	3.7659	0.6478
0.6667	162.3	150.5	159.9	0.1623	0.1505	0.1599	3.0708	3.3155	4.0161	3.4675	3.5649	0.6099
0.7500	157.7	143.3	154.8	0.1577	0.1433	0.1548	2.9554	3.1091	3.8561	3.3069	3.3872	0.5025
0.8333	151.1	138.6	148.4	0.1511	0.1386	0.1484	2.7899	2.9743	3.6554	3.1398	3.2234	0.5226
0.9167	145.2	132.6	143.2	0.1452	0.1326	0.1432	2.6419	2.8022	3.4922	2.9788	3.0593	0.5039
1.0000	139.8	124.7	137	0.1398	0.1247	0.1370	2.5065	2.5757	3.2977	2.7933	2.8860	0.5804
1.0833	134.3	119.1	131.5	0.1343	0.1191	0.1315	2.3685	2.4151	3.1252	2.6363	2.7148	0.4913
1.1667	129.6	113.7	125.9	0.1296	0.1137	0.1259	2.2506	2.2603	2.9495	2.4868	2.5615	0.4677
1.2500	124.4	108.5	122.3	0.1244	0.1085	0.1223	2.1202	2.1112	2.8366	2.3560	2.4214	0.4093
1.3333	120	102.8	116.9	0.1200	0.1028	0.1169	2.0098	1.9477	2.6672	2.2083	2.2821	0.4623
1.4167	115.4	98.2	112.7	0.1154	0.0982	0.1127	1.8945	1.8158	2.5354	2.0819	2.1451	0.3953

1.5000	110.7	94.1	107.8	0.1107	0.0941	0.1078	1.7766	1.6983	2.3817	1.9522	2.0171	0.4059
1.5833	106.4	88.4	104	0.1064	0.0884	0.1040	1.6687	1.5348	2.2625	1.8220	1.8871	0.4073
1.6667	102.4	84.4	99.7	0.1024	0.0844	0.0997	1.5684	1.4201	2.1276	1.7054	1.7637	0.3650
1.7500	99.5	80.7	96.7	0.0995	0.0807	0.0967	1.4957	1.3140	2.0335	1.6144	1.6599	0.2847
1.8333	94.5	77.5	92.3	0.0945	0.0775	0.0923	1.3702	1.2223	1.8955	1.4960	1.5552	0.3705
1.9167	91.7	74.6	89.7	0.0917	0.0746	0.0897	1.3000	1.1391	1.8139	1.4177	1.4568	0.2451
2.0000	88.1	71.5	85.7	0.0881	0.0715	0.0857	1.2097	1.0502	1.6884	1.3161	1.3669	0.3178
2.0833	85.4	68.7	83.1	0.0854	0.0687	0.0831	1.1420	0.9699	1.6069	1.2396	1.2779	0.2394
2.1667	82.4	65.4	79.3	0.0824	0.0654	0.0793	1.0668	0.8753	1.4877	1.1432	1.1914	0.3015
2.2500	79.8	64.2	77.2	0.0798	0.0642	0.0772	1.0015	0.8409	1.4218	1.0881	1.1157	0.1726
2.3333	76.4	62	74.8	0.0764	0.0620	0.0748	0.9163	0.7778	1.3465	1.0135	1.0508	0.2333
2.4167	75.4	59.9	72.4	0.0754	0.0599	0.0724	0.8912	0.7176	1.2712	0.9600	0.9868	0.1675
2.5000	72.2	57.9	70.7	0.0722	0.0579	0.0707	0.8109	0.6603	1.2179	0.8964	0.9282	0.1992
2.5833	70.5	55.6	67.5	0.0705	0.0556	0.0675	0.7683	0.5943	1.1175	0.8267	0.8615	0.2180
2.6667	68.5	54.4	65.7	0.0685	0.0544	0.0657	0.7181	0.5599	1.0610	0.7797	0.8032	0.1471
2.7500	66.9	52.5	64.3	0.0669	0.0525	0.0643	0.6780	0.5054	1.0171	0.7335	0.7566	0.1445
2.8333	65.2	51.4	62.5	0.0652	0.0514	0.0625	0.6353	0.4739	0.9606	0.6900	0.7117	0.1363
2.9167	63.3	50.7	60.6	0.0633	0.0507	0.0606	0.5877	0.4538	0.9010	0.6475	0.6687	0.1328
3.0000	62	48.7	58.2	0.0620	0.0487	0.0582	0.5551	0.3964	0.8258	0.5924	0.6200	0.1723
3.0833	60.9	49	57.1	0.0609	0.0490	0.0571	0.5275	0.4050	0.7912	0.5746	0.5835	0.0558
3.1667	59.2	48	56.2	0.0592	0.0480	0.0562	0.4849	0.3764	0.7630	0.5414	0.5580	0.1038
3.2500	58.3	47.5	54.3	0.0583	0.0475	0.0543	0.4623	0.3620	0.7034	0.5092	0.5253	0.1007
3.3333	56.8	45.9	52.9	0.0568	0.0459	0.0529	0.4247	0.3162	0.6595	0.4668	0.4880	0.1329
3.4167	56.2	45.3	50.7	0.0562	0.0453	0.0507	0.4096	0.2990	0.5905	0.4330	0.4499	0.1056
3.5000	55.5	44.4	50.6	0.0555	0.0444	0.0506	0.3921	0.2731	0.5873	0.4175	0.4253	0.0485
3.5833	54.6	44.9	50.8	0.0546	0.0449	0.0508	0.3695	0.2875	0.5936	0.4169	0.4172	0.0020
3.6667	53.4	44.4	48.3	0.0534	0.0444	0.0483	0.3394	0.2731	0.5152	0.3759	0.3964	0.1281

3.7500	52.9	44.1	48	0.0529	0.0441	0.0480	0.3268	0.2645	0.5058	0.3657	0.3708	0.0319
3.8333	52.6	43.9	47.1	0.0526	0.0439	0.0471	0.3193	0.2588	0.4775	0.3519	0.3588	0.0433
3.9167	51.6	43.5	46	0.0516	0.0435	0.0460	0.2942	0.2473	0.4430	0.3282	0.3400	0.0741
4.0000	51.1	43.4	45.8	0.0511	0.0434	0.0458	0.2817	0.2445	0.4368	0.3210	0.3246	0.0226
4.0833	50	43.3	45.3	0.0500	0.0433	0.0453	0.2541	0.2416	0.4211	0.3056	0.3133	0.0481
4.1667	50	43.3	45.2	0.0500	0.0433	0.0452	0.2541	0.2416	0.4179	0.3045	0.3051	0.0033
4.3333	49.7	42.9	43.7	0.0497	0.0429	0.0437	0.2466	0.2301	0.3709	0.2825	0.2935	0.0344
4.4167	49.2	42.7	43.1	0.0492	0.0427	0.0431	0.2340	0.2244	0.3521	0.2702	0.2763	0.0387
4.5000	49	42.5	42.3	0.0490	0.0425	0.0423	0.2290	0.2187	0.3270	0.2582	0.2642	0.0374
4.5833	48.7	42.2	42.2	0.0487	0.0422	0.0422	0.2215	0.2101	0.3238	0.2518	0.2550	0.0201
4.6667	48.8	42.1	42.1	0.0488	0.0421	0.0421	0.2240	0.2072	0.3207	0.2506	0.2512	0.0036
4.7500	48.3	41.7	41.8	0.0483	0.0417	0.0418	0.2115	0.1957	0.3113	0.2395	0.2451	0.0349
4.8333	47.4	41.1	41.4	0.0474	0.0411	0.0414	0.1889	0.1785	0.2987	0.2220	0.2308	0.0546
4.9167	47.2	40.9	41.1	0.0472	0.0409	0.0411	0.1839	0.1728	0.2893	0.2153	0.2187	0.0210
5.0000	47	40.7	40.4	0.0470	0.0407	0.0404	0.1789	0.1671	0.2674	0.2044	0.2099	0.0341
5.0833	46.9	40.5	40	0.0469	0.0405	0.0400	0.1763	0.1613	0.2548	0.1975	0.2010	0.0217
5.1667	46.9	40.5	39.9	0.0469	0.0405	0.0399	0.1763	0.1613	0.2517	0.1964	0.1970	0.0033
5.2500	46.9	40.4	39.9	0.0469	0.0404	0.0399	0.1763	0.1584	0.2517	0.1955	0.1960	0.0030
5.3333	46.5	40.4	39.9	0.0465	0.0404	0.0399	0.1663	0.1584	0.2517	0.1921	0.1938	0.0105
5.4167	46.4	40.3	39.7	0.0464	0.0403	0.0397	0.1638	0.1556	0.2454	0.1883	0.1902	0.0122
5.5000	46.3	40.3	39.7	0.0463	0.0403	0.0397	0.1613	0.1556	0.2454	0.1874	0.1878	0.0026
5.5833	46.2	40.2	39.1	0.0462	0.0402	0.0391	0.1588	0.1527	0.2266	0.1794	0.1834	0.0252
5.6667	46.1	40	38.9	0.0461	0.0400	0.0389	0.1563	0.1470	0.2203	0.1745	0.1769	0.0151
5.7500	45.6	39.9	38.7	0.0456	0.0399	0.0387	0.1437	0.1441	0.2140	0.1673	0.1709	0.0226
5.8333	45.6	39.9	38.2	0.0456	0.0399	0.0382	0.1437	0.1441	0.1983	0.1621	0.1647	0.0164
5.9167	45.5	39.8	38	0.0455	0.0398	0.0380	0.1412	0.1412	0.1921	0.1582	0.1601	0.0122
6.0000	45.4	39.8	37.9	0.0454	0.0398	0.0379	0.1387	0.1412	0.1889	0.1563	0.1572	0.0059

6.0833	45.4	39.7	37.9	0.0454	0.0397	0.0379	0.1387	0.1384	0.1889	0.1553	0.1558	0.0030
6.1667	45.2	39.6	37.5	0.0452	0.0396	0.0375	0.1337	0.1355	0.1764	0.1485	0.1519	0.0213
6.2500	45.2	39.6	37.4	0.0452	0.0396	0.0374	0.1337	0.1355	0.1733	0.1475	0.1480	0.0033
6.3333	45.2	39.5	37.4	0.0452	0.0395	0.0374	0.1337	0.1326	0.1733	0.1465	0.1470	0.0030
6.4167	44.9	39.4	37.2	0.0449	0.0394	0.0372	0.1262	0.1298	0.1670	0.1410	0.1438	0.0174
6.5000	44.9	39.2	37.2	0.0449	0.0392	0.0372	0.1262	0.1240	0.1670	0.1391	0.1400	0.0060
6.5833	44.6	39.1	37.2	0.0446	0.0391	0.0372	0.1187	0.1212	0.1670	0.1356	0.1373	0.0108
6.6667	44.5	39.1	36.8	0.0445	0.0391	0.0368	0.1161	0.1212	0.1544	0.1306	0.1331	0.0157
6.7500	44.5	39	36.8	0.0445	0.0390	0.0368	0.1161	0.1183	0.1544	0.1296	0.1301	0.0030
6.8333	44.5	38.9	36.7	0.0445	0.0389	0.0367	0.1161	0.1154	0.1513	0.1276	0.1286	0.0063
6.9167	44.4	38.9	36.6	0.0444	0.0389	0.0366	0.1136	0.1154	0.1482	0.1257	0.1267	0.0059
7.0000	44.4	38.8	36.6	0.0444	0.0388	0.0366	0.1136	0.1126	0.1482	0.1248	0.1253	0.0030
7.0833	44.4	38.8	36.5	0.0444	0.0388	0.0365	0.1136	0.1126	0.1450	0.1237	0.1243	0.0033
7.1667	44.4	38.7	36.5	0.0444	0.0387	0.0365	0.1136	0.1097	0.1450	0.1228	0.1233	0.0030
7.2500	44.3	38.7	36.2	0.0443	0.0387	0.0362	0.1111	0.1097	0.1356	0.1188	0.1208	0.0124
7.3333	44.2	38.7	36.2	0.0442	0.0387	0.0362	0.1086	0.1097	0.1356	0.1180	0.1184	0.0026
7.4167	44.2	38.6	36.1	0.0442	0.0386	0.0361	0.1086	0.1068	0.1325	0.1160	0.1170	0.0063
7.5000	44.1	38.6	35.5	0.0441	0.0386	0.0355	0.1061	0.1068	0.1136	0.1089	0.1124	0.0222
7.5833	44.1	38.5	35.5	0.0441	0.0385	0.0355	0.1061	0.1040	0.1136	0.1079	0.1084	0.0030
7.6667	44	38.5	35.4	0.0440	0.0385	0.0354	0.1036	0.1040	0.1105	0.1060	0.1070	0.0059
7.7500	44	38.5	35.3	0.0440	0.0385	0.0353	0.1036	0.1040	0.1074	0.1050	0.1055	0.0033
7.8333	43.9	38.5	35.3	0.0439	0.0385	0.0353	0.1011	0.1040	0.1074	0.1041	0.1046	0.0026
7.9167	43.9	38.4	35.2	0.0439	0.0384	0.0352	0.1011	0.1011	0.1042	0.1021	0.1031	0.0063
8.0000	43.9	38.4	35.1	0.0439	0.0384	0.0351	0.1011	0.1011	0.1011	0.1011	0.1016	0.0033

Tabla 7. Humedad y velocidad de secado de las brácteas de alcachofa var. Green Globe

TIEMPO (horas)	PESO DE LA MUESTRA (g)			PESO DE LA MUESTRA (Kg)			HUMEDAD DEL SÓLIDO				VALOR MEDIO	VELOCIDAD DE SECADO (Kg/h.m ²)
	B1 (g)	B2 (g)	B3 (g)	B1 (Kg)	B2 (Kg)	B3 (Kg)	Bandeja 1	Bandeja 2	Bandeja 3	Humedad promedio (Kg agua/Kg sólido seco)		
0.0000	220.4	217.7	217.1	0.2204	0.2177	0.2171	4.3288	5.2530	5.5255	5.0358		
0.0833	215.1	210.8	212.1	0.2151	0.2108	0.2121	4.2007	5.0549	5.3752	4.8769	4.9563	0.5103
0.1667	208.6	203.5	206.5	0.2086	0.2035	0.2065	4.0435	4.8452	5.2068	4.6985	4.7877	0.5730
0.2500	202.3	196.4	200	0.2023	0.1964	0.2000	3.8912	4.6412	5.0115	4.5146	4.6066	0.5906
0.3333	195.8	189.2	194.6	0.1958	0.1892	0.1946	3.7341	4.4344	4.8492	4.3392	4.4269	0.5634
0.4167	189.4	182.2	188.5	0.1894	0.1822	0.1885	3.5793	4.2334	4.6658	4.1595	4.2494	0.5772
0.5000	183.5	175	182.8	0.1835	0.1750	0.1828	3.4367	4.0266	4.4945	3.9859	4.0727	0.5576
0.5833	177.3	168.8	178.1	0.1773	0.1688	0.1781	3.2868	3.8485	4.3532	3.8295	3.9077	0.5024
0.6667	171.7	162.6	172.1	0.1717	0.1626	0.1721	3.1514	3.6704	4.1729	3.6649	3.7472	0.5287
0.7500	166.1	156	166.4	0.1661	0.1560	0.1664	3.0160	3.4808	4.0015	3.4994	3.5822	0.5313
0.8333	160.9	150	161.8	0.1609	0.1500	0.1618	2.8902	3.3085	3.8633	3.3540	3.4267	0.4671
0.9167	155.5	144.6	157.6	0.1555	0.1446	0.1576	2.7597	3.1534	3.7370	3.2167	3.2854	0.4410
1.0000	150.6	138.8	152	0.1506	0.1388	0.1520	2.6412	2.9868	3.5687	3.0656	3.1411	0.4854
1.0833	145.4	133	147.1	0.1454	0.1330	0.1471	2.5155	2.8202	3.4214	2.9190	2.9923	0.4706
1.1667	141.2	128.1	144	0.1412	0.1281	0.1440	2.4139	2.6794	3.3283	2.8072	2.8631	0.3592
1.2500	135.8	122.7	138.3	0.1358	0.1227	0.1383	2.2834	2.5243	3.1569	2.6549	2.7310	0.4893
1.3333	131.9	117.5	133.9	0.1319	0.1175	0.1339	2.1891	2.3750	3.0247	2.5296	2.5922	0.4025
1.4167	126.9	112.5	130.4	0.1269	0.1125	0.1304	2.0682	2.2314	2.9195	2.4063	2.4680	0.3958
1.5000	123.1	108.3	125.8	0.1231	0.1083	0.1258	1.9763	2.1107	2.7812	2.2894	2.3479	0.3756

1.5833	118.6	104.4	121.7	0.1186	0.1044	0.1217	1.8675	1.9987	2.6580	2.1747	2.2321	0.3684
1.6667	114.9	99.7	118	0.1149	0.0997	0.1180	1.7781	1.8637	2.5468	2.0628	2.1188	0.3594
1.7500	111.5	95.7	114	0.1115	0.0957	0.1140	1.6958	1.7488	2.4265	1.9571	2.0100	0.3397
1.8333	107	91.8	111.2	0.1070	0.0918	0.1112	1.5870	1.6368	2.3424	1.8554	1.9062	0.3265
1.9167	103.8	89.1	107.5	0.1038	0.0891	0.1075	1.5097	1.5592	2.2312	1.7667	1.8111	0.2849
2.0000	100.4	85.5	103	0.1004	0.0855	0.1030	1.4275	1.4558	2.0959	1.6597	1.7132	0.3435
2.0833	97.5	82.1	100.3	0.0975	0.0821	0.1003	1.3574	1.3582	2.0148	1.5768	1.6183	0.2665
2.1667	94.5	79	97.7	0.0945	0.0790	0.0977	1.2848	1.2691	1.9366	1.4969	1.5368	0.2567
2.2500	91.3	76.4	93.7	0.0913	0.0764	0.0937	1.2075	1.1945	1.8164	1.4061	1.4515	0.2915
2.3333	88.2	73.8	91	0.0882	0.0738	0.0910	1.1325	1.1198	1.7352	1.3292	1.3676	0.2471
2.4167	85.9	70.5	88.7	0.0859	0.0705	0.0887	1.0769	1.0250	1.6661	1.2560	1.2926	0.2350
2.5000	82.5	68.3	87	0.0825	0.0683	0.0870	0.9947	0.9618	1.6150	1.1905	1.2232	0.2104
2.5833	80.3	66.2	83.3	0.0803	0.0662	0.0833	0.9415	0.9015	1.5038	1.1156	1.1530	0.2406
2.6667	78.3	64.1	81.2	0.0783	0.0641	0.0812	0.8931	0.8412	1.4407	1.0583	1.0870	0.1839
2.7500	76	62.8	78.1	0.0760	0.0628	0.0781	0.8375	0.8038	1.3475	0.9963	1.0273	0.1993
2.8333	74	60.8	76.1	0.0740	0.0608	0.0761	0.7892	0.7464	1.2874	0.9410	0.9686	0.1776
2.9167	71.5	59.8	73.2	0.0715	0.0598	0.0732	0.7287	0.7176	1.2002	0.8822	0.9116	0.1888
3.0000	69.6	57.5	72.7	0.0696	0.0575	0.0727	0.6828	0.6516	1.1852	0.8398	0.8610	0.1360
3.0833	68.3	56.3	69.5	0.0683	0.0563	0.0695	0.6514	0.6171	1.0890	0.7858	0.8128	0.1735
3.1667	66	54.5	68.1	0.0660	0.0545	0.0681	0.5957	0.5654	1.0469	0.7360	0.7609	0.1599
3.2500	65.2	53.6	66.7	0.0652	0.0536	0.0667	0.5764	0.5396	1.0048	0.7069	0.7215	0.0934
3.3333	63.5	52.5	64.6	0.0635	0.0525	0.0646	0.5353	0.5080	0.9417	0.6617	0.6843	0.1454
3.4167	62.6	51.4	63.2	0.0626	0.0514	0.0632	0.5135	0.4764	0.8996	0.6298	0.6458	0.1022
3.5000	61.5	50.1	61.3	0.0615	0.0501	0.0613	0.4869	0.4390	0.8425	0.5895	0.6097	0.1296
3.5833	59.5	49.5	61.2	0.0595	0.0495	0.0612	0.4386	0.4218	0.8395	0.5666	0.5781	0.0734
3.6667	58.8	48.5	59.3	0.0588	0.0485	0.0593	0.4217	0.3931	0.7824	0.5324	0.5495	0.1100
3.7500	58	48	57.1	0.0580	0.0480	0.0571	0.4023	0.3787	0.7163	0.4991	0.5157	0.1069

3.8333	57.1	47.2	56.6	0.0571	0.0472	0.0566	0.3806	0.3557	0.7012	0.4792	0.4891	0.0640
3.9167	55.7	46.6	55.6	0.0557	0.0466	0.0556	0.3467	0.3385	0.6712	0.4521	0.4657	0.0869
4.0000	55.2	46.2	54.2	0.0552	0.0462	0.0542	0.3346	0.3270	0.6291	0.4303	0.4412	0.0703
4.0833	54.4	45.2	52.4	0.0544	0.0452	0.0524	0.3153	0.2983	0.5750	0.3962	0.4132	0.1094
4.1667	53.8	44.9	51.6	0.0538	0.0449	0.0516	0.3008	0.2897	0.5510	0.3805	0.3883	0.0505
4.2500	53.3	44.7	51.1	0.0533	0.0447	0.0511	0.2887	0.2839	0.5359	0.3695	0.3750	0.0352
4.3333	52.6	44.2	50	0.0526	0.0442	0.0500	0.2718	0.2696	0.5029	0.3481	0.3588	0.0689
4.4167	53	43.6	49.7	0.0530	0.0436	0.0497	0.2814	0.2523	0.4939	0.3425	0.3453	0.0178
4.5000	52.1	43.2	48.4	0.0521	0.0432	0.0484	0.2597	0.2408	0.4548	0.3184	0.3305	0.0774
4.5833	51.2	43	48.3	0.0512	0.0430	0.0483	0.2379	0.2351	0.4518	0.3083	0.3133	0.0327
4.6667	50.8	42.5	47.3	0.0508	0.0425	0.0473	0.2282	0.2207	0.4217	0.2902	0.2992	0.0579
4.7500	50.6	42.4	47.2	0.0506	0.0424	0.0472	0.2234	0.2179	0.4187	0.2867	0.2884	0.0115
4.8333	50.3	42.2	46.2	0.0503	0.0422	0.0462	0.2162	0.2121	0.3887	0.2723	0.2795	0.0461
4.9167	50.1	42.3	45.6	0.0501	0.0423	0.0456	0.2113	0.2150	0.3706	0.2656	0.2690	0.0214
5.0000	49.6	41.9	45.4	0.0496	0.0419	0.0454	0.1992	0.2035	0.3646	0.2558	0.2607	0.0317
5.0833	49.3	41.4	44.1	0.0493	0.0414	0.0441	0.1920	0.1891	0.3255	0.2355	0.2457	0.0650
5.1667	48.8	41.4	44	0.0488	0.0414	0.0440	0.1799	0.1891	0.3225	0.2305	0.2330	0.0162
5.2500	48.6	41.3	43.9	0.0486	0.0413	0.0439	0.1751	0.1863	0.3195	0.2269	0.2287	0.0115
5.3333	48.3	40.7	43.8	0.0483	0.0407	0.0438	0.1678	0.1690	0.3165	0.2178	0.2224	0.0294
5.4167	48	40.7	43.7	0.0480	0.0407	0.0437	0.1605	0.1690	0.3135	0.2144	0.2161	0.0110
5.5000	47.9	40.5	43.1	0.0479	0.0405	0.0431	0.1581	0.1633	0.2955	0.2056	0.2100	0.0280
5.5833	47.8	40.2	42.4	0.0478	0.0402	0.0424	0.1557	0.1547	0.2744	0.1949	0.2003	0.0343
5.6667	47.7	40	42	0.0477	0.0400	0.0420	0.1533	0.1489	0.2624	0.1882	0.1916	0.0216
5.7500	47.6	40	41.8	0.0476	0.0400	0.0418	0.1509	0.1489	0.2564	0.1854	0.1868	0.0090
5.8333	47.5	40	41.7	0.0475	0.0400	0.0417	0.1485	0.1489	0.2534	0.1836	0.1845	0.0058
5.9167	47.4	39.8	41.4	0.0474	0.0398	0.0414	0.1460	0.1432	0.2444	0.1779	0.1807	0.0184
6.0000	47.2	39.5	41.3	0.0472	0.0395	0.0413	0.1412	0.1346	0.2414	0.1724	0.1751	0.0176

6.0833	47	39.4	41.1	0.0470	0.0394	0.0411	0.1364	0.1317	0.2354	0.1678	0.1701	0.0147
6.1667	46.8	39.4	41	0.0468	0.0394	0.0410	0.1315	0.1317	0.2324	0.1652	0.1665	0.0084
6.2500	46.4	39.4	40.8	0.0464	0.0394	0.0408	0.1219	0.1317	0.2263	0.1600	0.1626	0.0168
6.3333	46.2	39.3	40.3	0.0462	0.0393	0.0403	0.1170	0.1288	0.2113	0.1524	0.1562	0.0243
6.4167	46.2	39.1	40.2	0.0462	0.0391	0.0402	0.1170	0.1231	0.2083	0.1495	0.1509	0.0094
6.5000	46.1	39.1	40.2	0.0461	0.0391	0.0402	0.1146	0.1231	0.2083	0.1487	0.1491	0.0026
6.5833	46	39	40	0.0460	0.0390	0.0400	0.1122	0.1202	0.2023	0.1449	0.1468	0.0121
6.6667	46	39	39.8	0.0460	0.0390	0.0398	0.1122	0.1202	0.1963	0.1429	0.1439	0.0064
6.7500	46	39	39.7	0.0460	0.0390	0.0397	0.1122	0.1202	0.1933	0.1419	0.1424	0.0032
6.8333	46	38.9	39.7	0.0460	0.0389	0.0397	0.1122	0.1173	0.1933	0.1409	0.1414	0.0031
6.9167	45.9	38.8	39.5	0.0459	0.0388	0.0395	0.1098	0.1145	0.1873	0.1372	0.1391	0.0121
7.0000	45.9	38.7	39.4	0.0459	0.0387	0.0394	0.1098	0.1116	0.1843	0.1352	0.1362	0.0063
7.0833	45.8	38.7	39	0.0458	0.0387	0.0390	0.1074	0.1116	0.1722	0.1304	0.1328	0.0155
7.1667	45.8	38.7	38.7	0.0458	0.0387	0.0387	0.1074	0.1116	0.1632	0.1274	0.1289	0.0097
7.2500	45.7	38.6	38.7	0.0457	0.0386	0.0387	0.1049	0.1087	0.1632	0.1256	0.1265	0.0057
7.3333	45.7	38.5	38.5	0.0457	0.0385	0.0385	0.1049	0.1058	0.1572	0.1227	0.1241	0.0095
7.4167	45.7	38.5	38.4	0.0457	0.0385	0.0384	0.1049	0.1058	0.1542	0.1217	0.1222	0.0032
7.5000	45.7	38.5	37.9	0.0457	0.0385	0.0379	0.1049	0.1058	0.1392	0.1167	0.1192	0.0161
7.5833	45.6	38.4	37.5	0.0456	0.0384	0.0375	0.1025	0.1030	0.1272	0.1109	0.1138	0.0185
7.6667	45.6	38.4	37.2	0.0456	0.0384	0.0372	0.1025	0.1030	0.1181	0.1079	0.1094	0.0097
7.7500	45.6	38.4	37	0.0456	0.0384	0.0370	0.1025	0.1030	0.1121	0.1059	0.1069	0.0064
7.8333	45.5	38.3	36.9	0.0455	0.0383	0.0369	0.1001	0.1001	0.1091	0.1031	0.1045	0.0089
7.9167	45.5	38.3	36.7	0.0455	0.0383	0.0367	0.1001	0.1001	0.1031	0.1011	0.1021	0.0064
8.0000	45.5	38.3	36.6	0.0455	0.0383	0.0366	0.1001	0.1001	0.1001	0.1001	0.1006	0.0032

9.2.2. Secado solar

Tabla 8. Humedad y velocidad de secado de las brácteas de alcachofa var. Imperial Star

DIAS	HORA	Tiempo (horas)	P1 + PAPEL ALUMINIO	P2 + PAPEL ALUMINIO	PESO DE LA MUESTRA				HUMEDAD DEL SÓLIDO			VALOR MEDIO	VELOCIDAD DE SECADO (Kg/h.m ²)
					P1 (g)	P2 (g)	P1 (Kg)	P2 (Kg)	P1	P2	Humedad promedio (Kg agua/Kg sólido seco)		
15/10/2018	10:15	0	10.89	10.45	10.5200	10.0000	0.0105	0.0100	4.1931	4.6679	4.4305		
	12:15	2	10.1681	9.7395	9.7981	9.2895	0.0098	0.0093	3.8367	4.2652	4.0509	4.2407	0.04004
	14:15	4	9.4462	9.0191	9.0762	8.5691	0.0091	0.0086	3.4804	3.8569	3.6686	3.8598	0.04034
	16:15	6	8.7243	8.3186	8.3543	7.8686	0.0084	0.0079	3.1240	3.4598	3.2919	3.4803	0.03974
16/10/2018	08:15	22	2.9491	2.6350	2.5791	2.1850	0.0026	0.0022	0.2731	0.2384	0.2558	1.7738	0.04004
	11:15	25	2.9093	2.6084	2.5393	2.1584	0.0025	0.0022	0.2535	0.2234	0.2384	0.2471	0.00122
	14:15	28	2.8095	2.5818	2.4395	2.1318	0.0024	0.0021	0.2042	0.2083	0.2063	0.2223	0.00226
17/10/2018	08:15	46	2.6308	2.4220	2.2608	1.9720	0.0023	0.0020	0.1160	0.1177	0.1169	0.1616	0.00105
	11:15	49	2.6306	2.4212	2.2606	1.9712	0.0023	0.0020	0.1159	0.1173	0.1166	0.1167	0.00002
	14:15	52	2.6305	2.4203	2.2605	1.9703	0.0023	0.0020	0.1159	0.1167	0.1163	0.1164	0.00002
18/10/2018	08:15	70	2.6297	2.4152	2.2597	1.9652	0.0023	0.0020	0.1155	0.1139	0.1147	0.1155	0.00002
	11:15	73	2.6284	2.4141	2.2584	1.9641	0.0023	0.0020	0.1148	0.1132	0.1140	0.1143	0.00004
	14:15	76	2.6275	2.4138	2.2575	1.9638	0.0023	0.0020	0.1144	0.1131	0.1137	0.1139	0.00002
19/10/2018	11:15	97	2.6178	2.4077	2.2478	1.9577	0.0022	0.0020	0.1096	0.1096	0.1096	0.1117	0.00004

Tabla 9. Humedad y velocidad de secado de las brácteas de alcachofa var. Green Globe

DIAS	HORA	Tiempo (horas)	P1 + PAPEL ALUMINIO	P2 + PAPEL ALUMINIO	PESO DE LA MUESTRA				HUMEDAD DEL SÓLIDO			VALOR MEDIO	VELOCIDAD DE SECADO (Kg/h.m ²)
					P1 (g)	P2 (g)	P1 (Kg)	P2 (Kg)	P1	P2	Humedad promedio (Kg agua/Kg sólido seco)		
07/11/2018	10:00	0	10.1	10.44	9.8500	10.1900	0.0099	0.0102	4.8620	4.1701	4.5161		
	12:00	2	9.3835	9.7218	9.1335	9.4718	0.0091	0.0095	4.4356	3.8057	4.1207	4.3184	0.0461
	14:00	4	8.6571	9.0026	8.4071	8.7526	0.0084	0.0088	4.0033	3.4408	3.7221	3.9214	0.0465
	16:00	6	7.9506	8.2955	7.7006	8.0455	0.0077	0.0080	3.5829	3.0821	3.3325	3.5273	0.0455
08/11/2018	08:00	22	2.2189	2.5400	1.9689	2.2900	0.0020	0.0023	0.1718	0.1619	0.1668	1.7496	0.0462
	11:00	25	2.2165	2.5376	1.9665	2.2876	0.0020	0.0023	0.1703	0.1607	0.1655	0.1662	0.0001
	14:00	28	2.2142	2.5353	1.9642	2.2853	0.0020	0.0023	0.1690	0.1595	0.1642	0.1649	0.0001
09/11/2018	08:00	46	2.2000	2.5211	1.9500	2.2711	0.0020	0.0023	0.1605	0.1523	0.1564	0.1603	0.0001
	11:00	49	2.1962	2.5173	1.9462	2.2673	0.0019	0.0023	0.1582	0.1504	0.1543	0.1553	0.0002
	14:00	52	2.1924	2.5135	1.9424	2.2635	0.0019	0.0023	0.1560	0.1484	0.1522	0.1533	0.0002
12/11/2018	08:00	118	2.1079	2.4300	1.8579	2.1800	0.0019	0.0022	0.1057	0.1061	0.1059	0.1290	0.0002
	10:00	120	2.1064	2.4275	1.8564	2.1775	0.0019	0.0022	0.1048	0.1048	0.1048	0.1053	0.0001

Anexo 10. Análisis de varianza del índice de solubilidad en agua

Variable dependiente: ISA (%)

Factores:

* Variedad

* Tipos de secado

Número de casos completos: 12

Tabla 10. Análisis de Varianza para ISA- Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Variedades	0.000850083	1	0.000850083	1.03	0.3496
B:Tipos de Secado	17.5993	2	8.79967	10650.12	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.000372667	2	0.000186333	0.23	0.8046
RESIDUOS	0.0049575	6	0.00082625		
TOTAL (CORREGIDO)	17.6055	11			

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Tabla 11. Medias por Mínimos Cuadrados para ISA con intervalos de confianza del 95.0%

Nivel	Casos	Media	Error Est.	Lim.Inf	Lim.Sup
MEDIA GLOBAL	12	10.6961			
Variedades					
Var Green Globe	6	10.7045	0.0117349	10.6758	10.7332
Var Imperial Star	6	10.6877	0.0117349	10.659	10.7164
Tipos de Secado					
Liofilización	4	12.0718	0.0143723	12.0366	12.1069
S. Solar	4	9.12475	0.0143723	9.08958	9.15992
S. en Bandeja	4	10.8918	0.0143723	10.8566	10.9269
Variedades por Tipos de Secado					
Var Green Glob,Liofilización	2	12.0875	0.0203255	12.0378	12.1372
Var Green Glob,S. Solar	2	9.127	0.0203255	9.07727	9.17673
Var Green Glob,S. en Bandeja	2	10.899	0.0203255	10.8493	10.9487
Var Imperial S,Liofilización	2	12.056	0.0203255	12.0063	12.1057
Var Imperial S,S. Solar	2	9.1225	0.0203255	9.07277	9.17223
Var Imperial S,S. en Bandeja	2	10.8845	0.0203255	10.8348	10.9342

Tabla 12. Pruebas de múltiple rangos para Índice de solubilidad en agua (ISA)

Variedades de Alcachofa

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Variedad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Var Imperial Star	6	10.6877	0.0117349	X
Var Green Globe	6	10.7045	0.0117349	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Var Green Globe - Var Imperial Star		0.0168333	0.0406083

* indica una diferencia significativa.

Tabla 13. Pruebas de múltiple rangos para Índice de solubilidad en agua (ISA)

Tipos de secado

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tipo de secado	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
S. Solar	4	9.12475	0.0143723	X
S. en Bandeja	4	10.8918	0.0143723	X
Liofilización	4	12.0718	0.0143723	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Liofilización - S. Solar	*	2.947	0.0623646
Liofilización - S. en Bandeja	*	1.18	0.0623646
S. Solar - S. en Bandeja	*	-1.767	0.0623646

* indica una diferencia significativa.

Anexo 11. Análisis de varianza de capacidad de retención de agua

Variable dependiente: CRA (%)

Factores:

* Variedad * Tipos de secado

Número de casos completos: 12

Tabla 14. Análisis de Varianza para CRA

Fuente	Suma de Cuad.	Gl	Cuad. Medio	Razón-GF	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Variedad	0.0299001	1	0.0299001	1.30	0.2981
B:Tipos de secado	0.887499	2	0.443749	19.26	0.0024
INTERACCIONES					
AB	0.0112407	2	0.00562033	0.24	0.7910
RESIDUOS	0.138252	6	0.0230419		
TOTAL (CORREGIDO)	1.06689	11			

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Tabla 15. Medias por Mínimos Cuadrados para CRA con intervalos de confianza del 95.0%

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est.</i>	<i>Límite Inf</i>	<i>Límite Sup</i>
MEDIA GLOBAL	12	5.58642			
Variedad					
Var Green Globe	6	5.5365	0.0619703	5.38486	5.68814
Var Imperial Star	6	5.63633	0.0619703	5.4847	5.78797
Tipos de secado					
Liofilización	4	5.96975	0.0758978	5.78403	6.15547
S. Solar	4	5.42175	0.0758978	5.23603	5.60747
S. en bandeja	4	5.36775	0.0758978	5.18203	5.55347
Variedad por Tipos de secado					
Var Green G, Liofilización	2	5.901	0.107336	5.63836	6.16364
Var Green G, S. Solar	2	5.3475	0.107336	5.08486	5.61014
Var Green G, S. en bandeja	2	5.361	0.107336	5.09836	5.62364
Var Imperial S, Liofilización	2	6.0385	0.107336	5.77586	6.30114
Var Imperial S, S. Solar	2	5.496	0.107336	5.23336	5.75864
Var Imperial S, S. en bandeja	2	5.3745	0.107336	5.11186	5.63714

Tabla 16. Pruebas de múltiple rangos para Capacidad de Retención de Agua (CRA)**Variedades de Alcachofa**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Variedad	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Var Green Globe	6	5.5365	0.0619703	X
Var Imperial Star	6	5.63633	0.0619703	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Var Green Glob - Var Imperial S		-0.0998333	0.214446

* indica una diferencia significativa.

Tabla 17. Pruebas de múltiple rangos para Capacidad de Retención de Agua (CRA)**Tipos de secado**

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tipos de secado	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
S. en bandeja	4	5.36775	0.0758978	X
S. Solar	4	5.42175	0.0758978	X
Liofilización	4	5.96975	0.0758978	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Liofilización - S. Solar	*	0.548	0.329338
Liofilización - S. en bandeja	*	0.602	0.329338
S. Solar - S. en bandeja		0.054	0.329338

* indica una diferencia significativa.

Anexo 12. Resultados de polifenoles totales

Tabla 18. Resultados de contenido de Polifenoles Totales de las brácteas de alcachofa, posterior al secado por diferentes métodos

Componentes	Niveles de tratamiento		Polifenoles Totales (mg EqAG/g muestra)	Retención de polifenoles (%)
Brácteas de alcachofa fresca	Green Globe	Fresco	17.025	100%
	Imperial Star	Fresco	23.534	100%
		Bandeja	13.094	76.910%
Variedades y Tipos de Secado	Green Globe	Liofilizado	16.123	94.702%
		Solar	11.382	66.855%
	Imperial Star	Bandeja	18.154	77.139%
		Liofilizado	22.497	95.594%
		Solar	16.321	69.351%

Tabla 19. Medias por Mínimos Cuadrados para Polifenoles Totales con intervalos de confianza del 95.0%

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est.</i>	<i>Límite Inf.</i>	<i>Límite Sup.</i>
MEDIA GLOBAL	12	16.2624			
Variedades					
Green Globe	6	13.5342	0.096545	13.2979	13.7704
Imperial Star	6	18.9907	0.096545	18.7544	19.2269
Tipos de Secado					
Liofilización	4	19.31	0.118243	19.0207	19.5993
Solar	4	13.853	0.118243	13.5637	14.1423
Bandeja	4	15.6243	0.118243	15.3349	15.9136
Variedades por Tipos de Secado					
Green Glob,Liofilización	2	16.1235	0.167221	15.7143	16.5327
Green Glob,S. Solar	2	11.385	0.167221	10.9758	11.7942
Green Glob,S. en Bandeja	2	13.094	0.167221	12.6848	13.5032
Imperial S,Liofilización	2	22.4965	0.167221	22.0873	22.9057
Imperial S,S. Solar	2	16.321	0.167221	15.9118	16.7302
Imperial S,S. en Bandeja	2	18.1545	0.167221	17.7453	18.5637

Anexo 13. Resultados de capacidad antioxidante - método DPPH (M. Conv)

Tabla 20. Resultados de capacidad antioxidante (DPPH) de las brácteas de alcachofa, posterior al secado por diferentes métodos

Componentes	Niveles de tratamiento		Capacidad Antioxidante ($\mu\text{molEqTrolox}/100\text{gm}$)	Retención de polifenoles (%)
Brácteas de alcachofa fresca	Green Globe	Fresco	82463.786	100%
	Imperial Star	Fresco	75356.985	100%
		Bandeja	42489.605	51.53%
Variedades y Tipos de Secado	Green Globe	Liofilizado	79792.058	96.76%
		Solar	46182.991	56.00%
	Imperial Star	Bandeja	38376.237	50.93%
		Liofilizado	71978.146	95.52%
		Solar	40486.948	53.73%

Tabla 21. Medias por Mínimos Cuadrados para DPPH con intervalos de confianza del 95.0%

Nivel	Casos	Media	Error Est.	Límite Inf	Límite Sup
MEDIA GLOBAL	12	53216.2			
Variedad					
Green Globe	6	56151.9	163.012	55753.0	56550.8
Imperial Star	6	50280.4	163.012	49881.6	50679.3
Tipo de Secado					
Liofilización	4	75885.1	199.648	75396.6	76373.6
S. Bandeja	4	40428.4	199.648	39939.9	40916.9
S.Solar	4	43335.0	199.648	42846.4	43823.5
Variedad por Tipo de Secado					
Green Globe,Liofilización	2	79792.1	282.345	79101.2	80482.9
Green Globe,S. Bandeja	2	42480.6	282.345	41789.7	43171.5
Green Globe,S.Solar	2	46183.0	282.345	45492.1	46873.9
Imperial Star,Liofilización	2	71978.1	282.345	71287.3	72669.0
Imperial Star,S. Bandeja	2	38376.2	282.345	37685.4	39067.1
Imperial Star,S.Solar	2	40486.9	282.345	39796.1	41177.8

Anexo 14. Resultados de capacidad antioxidante - Método DPPH (M. Plank)

Tabla 22. Medias por Mínimos Cuadrados para DPPH con intervalos de confianza del 95.0%

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est.</i>	<i>Limite Inf</i>	<i>Límite Sup</i>
MEDIA GLOBAL	12	79032.1			
Variedades					
Var Green Globe	6	82503.1	87.9735	82287.8	82718.3
Var Imperial Star	6	75561.2	87.9735	75345.9	75776.5
Tipos de Secado					
Liofilización	4	92056.4	107.745	91792.8	92320.1
S. Solar	4	60980.2	107.745	60716.5	61243.8
S. en Bandeja	4	84059.8	107.745	83796.1	84323.4
Variedades por Tipos de Secado					
Var Green G, Liofilización	2	96555.8	152.375	96182.9	96928.6
Var Green G, S. Solar	2	66402.0	152.375	66029.2	66774.9
Var Green G, S. en Bandeja	2	84551.4	152.375	84178.5	84924.2
Var Imperial S, Liofilización	2	87557.1	152.375	87184.3	87930.0
Var Imperial S, S. Solar	2	55558.4	152.375	55185.5	55931.2
Var Imperial S, S. en Bandeja	2	83568.2	152.375	83195.3	83941.0

Anexo 15. Resultados de capacidad antioxidante - método FRAP

Tabla 23. Resultados de contenido de capacidad antioxidante (FRAP) de las brácteas de alcachofa, posterior al secado por diferentes métodos

Componentes	Niveles de tratamiento		Valores FRAP ($\mu\text{molEqTrolox}/100\text{g}$ muestra)	Retención CA (%)
Brácteas de alcachofa fresca	Green Globe	Fresco	18832.441	100%
	Imperial Star	Fresco	20635.592	100%
		Bandeja	12661.172	67.231%
Variedades y Tipos de Secado	Green Globe	Liofilizado	17934.054	95.230%
		Solar	11166.177	59.292%
	Imperial Star	Bandeja	15811.083	76.620%
		Liofilizado	19897.663	96.424%
		Solar	13580.570	65.811%

CA: Capacidad antioxidante

Tabla 24. Medias por Mínimos Cuadrados para FRAP con intervalos de confianza del 95.0%

<i>Nivel</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Error Est.</i>	<i>Límite Inf</i>	<i>Límite Sup</i>
MEDIA GLOBAL	12	15175.1			
Variedades					
Var Green Globe	6	13920.5	24.7044	13860.0	13980.9
Var Imperial Star	6	16429.8	24.7044	16369.3	16490.2
Tipos de Secado					
Liofilización	4	18915.9	30.2565	18841.8	18989.9
S. Solar	4	12373.4	30.2565	12299.3	12447.4
S. en Bandeja	4	14236.1	30.2565	14162.1	14310.2
Variedades por Tipos de Secado					
Var Green G, Liofilización	2	17934.1	42.7892	17829.4	18038.8
Var Green G, S. Solar	2	11166.2	42.7892	11061.5	11270.9
Var Green G, S. en Bandeja	2	12661.2	42.7892	12556.5	12765.9
Var Imperial S, Liofilización	2	19897.7	42.7892	19793.0	20002.4
Var Imperial S, S. Solar	2	13580.6	42.7892	13475.9	13685.3
Var Imperial S, S. en Bandeja	2	15811.1	42.7892	15706.4	15915.8

Anexo 16. Resultados de análisis de fibra cruda- laboratorio COLECBI



CORPORACIÓN DE LABORATORIOS DE ENSAYOS
CLÍNICOS, BIOLÓGICOS E INDUSTRIALES

“COLECBI” S.A.C.

REGISTRADO EN LA DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICAS Y DESARROLLO PESQUERO - PRODUCE

INFORME DE ENSAYO N° 20181122-006

Pág. 1 de 1

SOLICITADO POR	: YULIANA AURORA VIGO
	: ANTONELLA ALZA PAREDES.
DIRECCION	: Av. Chimú Mz. Z Lote 6 Dos de Junio Chimbote Chimbote.
PRODUCTO DECLARADO	: ABAJO INDICADOS.
CANTIDAD DE MUESTRA	: 06 muestras.
PRESENTACIÓN DE LA MUESTRA	: En bolsa de polietileno transparente, cerrada.
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2018-11-22
FECHA DE INICIO DEL ENSAYO	: 2018-11-22
FECHA DE TERMINO DEL ENSAYO	: 2018-11-23
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	: En buen estado.
ENSAYOS REALIZADOS EN	: Laboratorio Físico Químico.
CODIGO COLECBI	: SS 181122-3

RESULTADOS

MUESTRAS	ENSAYOS
	Fibra (%)
SECADO EN BANDEJA VARIEDAD IMPERIAL STAR	47.15
LIOFILIZACION VARIEDAD IMPERIAL STAR	60.07
SECADO SOLAR VARIEDAD IMPERIAL STAR	39.02
SECADO EN BANDEJA VARIEDAD GREEN GLOBE	64.50
LIOFILIZACION VARIEDAD GREEN GLOBE	54.87
SECADO SOLAR VARIEDAD GREEN GLOBE	41.86

METODOLOGÍA EMPLEADA

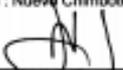
Fibra : NMX-F-080-1978

NOTA :

- Muestra recepcionada en Laboratorios COLECBI S.A.C.
- Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra ensayada.
- Estos resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Fecha de Emisión : Nueve Chimbote, Noviembre 24 del 2018.

GVR/jms


 A. Gustavo Vargas Ramos
 Gerente de Laboratorios
 C.B.P. 329
 COLECBI S.A.C.

LC-MP-HRE
Rev. 04
Fecha 2015-11-30

PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DE ESTE INFORME
SIN LA AUTORIZACION ESCRITA DE COLECBI S.A.C.

Urb. Buenos Aires Mz. A - Lt. 7 | Etapa - Nuevo Chimbote - Telefax: 043-310752
 Nextel: 839*2893 - RPM # 902995 - Apartado 127
 e-mail: colecbi@speedy.com.pe / medioambiente_colecbi@speedy.com.pe
 Web: www.colecbi.com