

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO DE
ALGA CUSHURO (*Nostoc Sphaericum*) EN UN
SECADOR ROTATORIO DISCONTINUO”**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTADO POR

**CHUQUIZUTA CHALLCO, CARLOS ALBERTO
QUISPE REYES OLGA**

ASESOR

ING° POLICARPO AGATÓN SUERO IQUIAPAZA

NOVIEMBRE – 2018

PERÚ



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**LIBRO N° 1 FOLIO N° 41 ACTA N° 40 DE SUSTENTACIÓN
POR LA MODALIDAD DE TESIS CON CICLO DE TESIS**

Siendo las 19:00 horas del día lunes 26 de noviembre de dos mil dieciocho, en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao, se reunió el Jurado Evaluador conformado por los siguientes docentes :

ING° JULIO CÉSAR CALDERÓN CRUZ	Presidente
ING° MARÍA ESTELA TOLEDO PALOMINO	Secretaria
Lic. VICTORIA YSABEL ROJAS ROJAS	Vocal
Lic. NÉSTOR MARCIAL ALVARADO BRAVO	Miembro Suplente
ING° POLICARPO AGATÓN SUERO IQUIAPAZA	Asesor

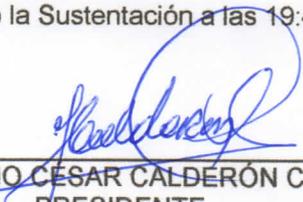
Designado según Resolución 296-2018-CFIQ de fecha 20 de noviembre de 2018 para evaluar la sustentación de los bachilleres de Ingeniería Química, señor **CHUQUIZUTA CHALLCO CARLOS ALBERTO** y señorita **QUISPE REYES OLGA** de la Tesis titulada **“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO DE ALGA CUSHURO (Nostoc sphaericum) EN UN SECADOR ROTATORIO DISCONTINUO”**, siendo Asesor el Ing° Policarpo Agatón Suero Iquiapaza, designado mediante Resolución N° 086-2018-DFAIQ de fecha 05 de julio de 2018, bajo la Modalidad de Tesis con Ciclo de Tesis, con el quórum establecido según el Reglamento de Grados y Títulos aprobado mediante Resolución N° 309-2017-CU de fecha 24 de octubre de 2017 y la Directiva N° 12-2013-R aprobada mediante Resolución N° 777-2013-R de fecha 29 de agosto de 2013

Luego de la sustentación de los Bachilleres y realizadas las preguntas respectivas, el Jurado Evaluador acordó la siguiente calificación final :

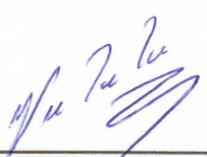
BACHILLER	CALIFICACIÓN CUANTITATIVA	CALIFICACIÓN CUALITATIVA
CHUQUIZUTA CHALLCO CARLOS ALBERTO	17	MUY BUENO
QUISPE REYES OLGA	17	MUY BUENO

En mérito del cual el Jurado Evaluador da por **APROBADA** la Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico.

Concluyendo la Sustentación a las 19:45 horas


ING° JULIO CÉSAR CALDERÓN CRUZ
PRESIDENTE


ING° MARÍA ESTELA TOLEDO PALOMINO
SECRETARIA


Lic. VICTORIA YSABEL ROJAS ROJAS
VOCAL


ING° POLICARPO AGATÓN SUERO IQUIAPAZA
ASESOR

DICTAMEN COLEGIADO 05-2018-JCCC

DE : ING° JULIO CÉSAR CALDERÓN CRUZ
PRESIDENTE DE JURADO DE SUSTENTACIÓN

PARA : ING° LUIS AMÉRICO CARRASCO VENEGAS
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

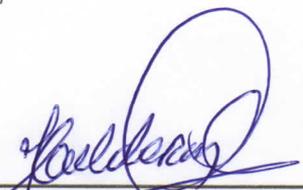
ASUNTO : DICTAMEN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

FECHA : BELLAVISTA, DICIEMBRE 04 DE 2018

S.D.

Me dirijo a usted para comunicarle que al haberse realizado la sustentación de la tesis titulada : **“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO DE ALGA CUSHURO (Nostoc sphaericum) EN UN SECADOR ROTATORIO DISCONTINUO”** por los bachilleres : señor **CHUQUIZUTA CHALLCO CARLOS ALBERTO** y señorita **QUISPE REYES OLGA** para optar el título profesional de Ingeniero Químico, el Jurado de Sustentación de Tesis da la conformidad para que continúe con los trámites respectivos.

Atentamente,



ING° JULIO CALDERÓN CRUZ
PRESIDENTE DEL JURADO DE
SUSTENTACIÓN



ING° ESTELA TOLEDO PALOMINO
SECRETARIA DEL JURADO DE
SUSTENTACIÓN



Lic. VICTORIA ROJAS ROJAS
VOCAL DEL JURADO DE
SUSTENTACIÓN

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue Sustentada por los Bachilleres **CHUQUIZUTA CHALLCO CARLOS ALBERTO** y **QUISPE REYES OLGA** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios:

ING° JULIO CÉSAR CALDERÓN CRUZ	PRESIDENTE
ING° MARÍA ESTELA TOLEDO PALOMINO	SECRETARIA
Lic. VICTORIA YSABEL ROJAS	VOCAL
ING° POLICARPO AGATÓN SUERO IQUIAPAZA	ASESOR

Tal como está asentado en el Libro de Actas N° 1 de Tesis con Ciclo de Tesis Folio N° 41 y Acta N° 40 de fecha **VEINTISÉIS DE NOVIEMBRE DE 2018**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Titulación de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 309–2017–CU de fecha 24 de octubre de 2017 y su Cuarta Disposición Transitoria.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi padre, en memoria, que me enseñó siempre a ser perseverante y lograr mis objetivos a pesar de las dificultades

Dedico esta tesis a mi familia por siempre impulsarme a crecer como persona y profesional

ÍNDICE

	Pag.
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1. Determinación del problema	11
1.2. Formulación del problema	11
1.2.1. Problema General	11
1.2.2. Problemas específicos	11
1.3. Objetivos de la investigación	11
1.3.1. Objetivo General	11
1.3.2. Objetivos Específicos	12
1.4. Justificación	12
II. MARCO TEORICO	14
2.1. Antecedentes del estudio	14
2.2. Base Teórica	19
2.2.1. Principios de Secado	19
2.2.2. Definición de secado	20
2.2.3. Deshidratación en los alimentos	21
2.3. Marco conceptual	22
2.3.1. Técnicas de deshidratación	22
2.3.2. Deshidratación por el sol	22
2.3.3. Desecadores por método mecánico	22
2.3.4. Liofilización	23
2.3.5. Operaciones de secado	23
2.3.6. Tipos de secadores	25
2.3.7. Curvas de velocidad de Secado	26
2.3.8. Característica del secado	28
2.3.9. Transferencia de calor sobre superficies tubulares	29
2.3.10. Coeficiente de difusión	33

2.3.11. Modelamiento matemático	36
2.3.12. Cianobacterias	38
2.3.13. Alga Cushuro (Nostoc Sphaericum)	39
2.4. Definición de términos utilizados	40
III. VARIABLES E HIPÓTESIS	14
3.1. Definición de las variables de Investigación	43
3.2. Operacionalización de Variables	44
3.3. Hipótesis general e Hipótesis específicas	44
3.3.1. Hipótesis general	44
3.3.2. Hipótesis específicas	44
IV. METODOLOGÍA	43
4.1. Tipo de Investigación	46
4.2. Diseño de Investigación	46
4.2.1. Diseño Experimental	48
4.3. Población y muestra	48
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	48
4.4.1. Lugar de ejecución	48
4.4.2. Materiales, reactivos y equipos	50
4.5. Procedimiento de Recolección de datos	50
V. RESULTADOS	46
51 Caracterización fisicoquímica del Alga cushuro (nostoc sphaericum) eca.	57
5.1.1. Evaluación del proceso de secado y análisis de la humedad obtenido de datos experimentales.	60
5.1.2. Variación de la humedad del secado de algas cushuro (nostoc sphaericum) para temperatura constante de 40°C y variando flujo de aire caliente.	61
5.1.3. Variación de la humedad del secado de algas cushuro (nostoc sphaericum) para temperatura constante de 60°C variando flujo de aire caliente.	61
5.1.4. Variación de la humedad del secado de algas cushuro (nostoc sphaericum) para temperatura constante de 40°C	

variando las revoluciones por minutos del secador rotatorio discontinuo	62
5.1.5. Variación de la humedad del secado de algas cushuro (<i>nostoc sphaericum</i>) para temperatura constante de 60°C variando las revoluciones por minutos del secador rotatorio discontinuo.	62
5.2. Evaluación de humedades obtenidas a determinadas variables de estudio.	63
5.2.1. Ajustes matemáticos para obtener ecuación que determine la humedad con respecto al tiempo y flujo de aire.	64
5.2.2. Modelo matemático para cálculo de humedad con respecto al tiempo y flujo de aire	65
5.2.3. Evaluación de humedad con respecto al flujo de aire y temperatura constante.	65
5.2.4. Humedades obtenidas a partir de evaluaciones en ecuación de humedad con respecto al tiempo y flujo de aire caliente	65
5.3. Ajustes matemáticos para obtener ecuación para determine humedad con respecto al tiempo y temperatura	66
5.3.1. Modelo matemático para cálculo de humedad con respecto al tiempo y la temperatura	67
5.3.2. Evaluación de la gráfica de variación de humedad.	67
5.3.3. Humedades obtenidas a partir de evaluaciones en ecuación de humedad con respecto al tiempo la temperatura	68
5.4. Evaluación de humedades obtenidos a determinados tiempo temperatura y revoluciones por minutos	69
5.4.1. Ajustes matemáticos para obtener ecuación determine humedad con respecto al tiempo y las revoluciones por minutos	69
5.4.2. Modelo matemático para cálculo de humedad con respecto al tiempo y revoluciones por minutos.	70
5.4.3. Evaluación de la gráfica de variación de humedad.	71
5.4.4. Humedades obtenidas a partir de evaluaciones en ecuación de humedad con respecto al tiempo y rpm	72
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57

6.1. Contrastación de Hipótesis con los resultados	73
6.2. Contrastación de resultados con otros estudios similares	76
VII. CONCLUSIONES	73
VIII. RECOMENDACIONES	79
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXOS	83

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.	
TABLA N° 2.1	Tipos de secadores	25
TABLA N° 2.2	Comparación entre secadores directos e indirectos	26
TABLA N° 2.3	Difusividad efectiva de algunos productos alimentarios	37
TABLA N° 2.4	Análisis químico bromatológico (seco)	41
TABLA N° 2.5	Análisis de metales en los polisacaridos de nostoc expresados en ppm	41
TABLA N° 3.1	Operacionalización de variable	44
TABLA N° 4.1	Registro de datos durante el proceso de secado del alga	55
TABLA N° 5.1	Análisis químico bromatológico de algas base humedad	58
TABLA N° 5.2	Análisis de metales en los polisacaridos base seca	58
TABLA N° 5.3	Análisis químico bromatológico de algas % muestra seca	60
TABLA N° 5.4	Variación de la humedad y flujo a temperatura 40°C	61
TABLA N° 5.5	Variación de la humedad y flujo a temperatura 60°C	62
TABLA N° 5.6	Variación de la humedad y rotación a temperatura 40°C	62
TABLA N° 5.5	Variación de la humedad y rotación a temperatura 60°C	63
TABLA N° 5.6	Variables en estudio (tiempo, flujo y temperatura)	64
TABLA N° 5.7	Ajuste del modelo matemático de la humedad	64
TABLA N° 5.8	Resultados obtenidos al evaluar	66
TABLA N° 5.9	Ajuste del modelo matemático para el secado del alga (nostoc sphaericum) óptimo	67
TABLA N° 5.10	Resultados obtenidos de datos experimentales	69
TABLA N° 5.11	Variables de estudio (tiempo, temperatura y rpm)	70
TABLA N° 5.12	Ajuste del modelo matemático para el secado del alga (nostoc sphaericum) óptimo	70
TABLA N° 5.13	Resultados obtenidos en la evaluación	72
TABLA N° 5.14	Análisis de varianza de : hu vs. t; f; t_1	75
TABLA N° 5.15	Análisis de varianza de : hu vs. t; w; t_1	75

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
FIGURA N° 2.1 Secador rotatorio cilíndrico	27
FIGURA N° 2.2 Curva de velocidad de secado	30
FIGURA N° 2.3 Correlaciones empíricas del número promedio de nussel para la convección naturales sobre suprficies	32
FIGURA N° 2.4 Variación del número local de Nusselt Nox, para correcciones naturales y fforzadas cambiadas desde una placa vertical ISO Térmnica caliente	34
FIGURA N° 2.5 La convección natural puede mejorar o inhibir la transferencia de calor, dependiendo de las direcciones relativas del movimiento inducido por la flotación y el movimiento de convección forzada	35
FIGURA N° 2.6 Mecanismo de difusión superficial en el transporte de vapor de agua	35
FIGURA N° 2.7 Estudio filogenético en la página 11 (2010) da el siguiente resultado	38
FIGURA N° 3.1 Definicion de variables	43
FIGURA N° 4.1 Diagrama de flujo para el secado de algas cushuro (nostoc sphaericum)	49
FIGURA N° 4.2 Materia prima	50
FIGURA N° 4.3 Selección de algas	51
FIGURA N° 4.4 Lavado de algas	52
FIGURA N° 4.5 Pesado de algas cushuro	52
FIGURA N° 4.6 Ingreso de muestras de algas nostoc en secador rotatorio discontinuo	53
FIGURA N° 4.7 Secado de algas noctoc en secador rotatorio discontinuo	54
FIGURA N° 4.8 Peso de muestras de algas secas a determinados tiempo	55
FIGURA N° 4.9 Algas cushuro (nostoc sphaericum) en su estado seco	56
FIGURA N° 5.1 Fotografía del espectofotómetro de Absorción Atómica	57
FIGURA N° 5.2 Curvca de calibración para la obtención de calcio	59
FIGURA N° 4.9 Curvca de calibración para la obtención de magnesio	559

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pag.
GRÁFICO N° 5.1 Variación de humedad con respecto al flujo de aire y temperatura constante	65
GRÁFICO N° 5.2 Variación de humedad con respecto a la temperatura y flujo de aire constante	67
GRÁFICO N° 5.3 Variación de humedad con respecto a las revoluciones por minuto del secador rotatorio discontinuo y tempetura constante	71
GRÁFICO N° 5.4 Variación de humedad con respecto a la temperatura y las revoluciones por minutos del secador rotatorio discontinuo constante	71

RESUMEN

El presente trabajo se realiza un diseño experimental para la optimización del proceso de secado del alga cushuro (*Nostoc Sphaericum*) utilizando un secador rotatorio discontinuo, al terminar el proceso se logra secar hasta una humedad de 1,913% con un tiempo de 90 minutos a una temperatura de 60°C, siendo el tiempo y la temperatura los parámetros de operación más relevantes durante el proceso de secado, como resultado el rendimiento se contrasta con los gráficos de contorno y Diagrama de Pareto con efectos estandarizados lográndose una notoria reducción de la humedad a partir de un tiempo de 80 minutos de iniciado el secado.

Además luego de haber realizado el secado del alga cushuro (*Nostoc sphaericum*), el alga conserva sus propiedades contando con: 30,02% de proteína y un contenido de calcio igual a 145 340,8 ppm; magnesio igual a 15 355,2 ppm, análisis realizados químico bromatológico y de metales para muestra seca respectivamente.

ABSTRACT

The present work is carried out an experimental design for the optimization of the drying process of the cushuro seaweed (*Nostoc Sphaericum*) using a discontinuous rotary dryer, at the end of the process it is possible to dry up to a humidity of 1,913% with a time of 90 minutes at a temperature 60°C, with the time and temperature being the most relevant operating parameters during the drying process, as a result the performance is contrasted with the contour and Pareto diagrams with standardized effects achieving a noticeable reduction of humidity from of a time of 80 minutes of started drying.

In addition, after having dried the cushuro seaweed (*Nostoc sphaericum*), the algae preserves its properties with: 30,02% protein and a calcium content equal to 145 340,8 ppm; magnesium equal to 15 355,2 ppm, analyzes performed bromatological chemical and metals for dry sample respectively.

INTRODUCCIÓN

En el Perú contando con una gran diversidad de flora una de estas el Alga (*Nostoc sphaericum*), conocido comúnmente como alga Cushuro, esta alga habita En las lagunas alto andinas del Perú , considerando que el Perú cuenta con 12 300 lagunas alto andinas en las cuales habitan las algas Cushuro. Estas algas se caracteriza por tener mayormente una forma esférica que varía diametralmente 1 a 50 mm, un color azul verdoso a verde pardusco de consistencia gelatinosa, estudios previos muestran que una de sus características a nivel de salud es alto contenido de proteínas y nutrientes, contiene calcio que interactúa con el fosforo y que es buena para formar fortalecer y conservar los huesos, previniendo la osteoporosis, también ayuda en la coagulación en la sangre, garantizando el funcionamiento del corazón, los nervios y los músculos.

Análisis realizados arrojan valores de 32% a 36% de proteínas en comparación a la Kiwicha y quinua con un 15% (Gonzales, 2006). El Cushuro contiene un alto contenido de humedad 97,5% y para reducirlo además disminuir la actividad del agua para evitar su degradación pero conservando sus propiedades, se utiliza de modo semindustrial un secador rotario discontinuo donde aplica conceptos de transferencia de calor, transferencia de materia y fenómenos de transporte donde se avalúa principalmente el secado y la disminución de humedad, realizando para ello cálculos, gráficos y modelamientos como base para posterior aplicaciones industriales del alga Cushuro.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Determinación del problema

Datos estadísticos de OMS la anemia y desnutrición, el Perú sigue una tendencia decreciente de 28,5% 2007 a 13% 2016 en niños menores de 5 años, y mayores al 13% en zonas rurales siendo Huancavelica, Cajamarca unas de las tantas provincias que presentan este problema, planteando una solución a ello y considerando La abundancia de flora acuática en Perú y la conservación que se puede dar mediante un proceso unitario de secado del alga Cushuro (Nostoc Sphaericum) de este modo reduciendo la actividad del agua que en su estructura tiene alrededor del 97,5% de humedad, y además se tendría el estudio teórico y experimental necesario para el secado eficiente y óptimo del alga Cushuro (Nostoc Sphaericum).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo debe se debe optimizar el proceso de secado del alga Cushuro (Nostoc Sphaericum) en un secador rotatorio discontinuo?

1.2.2. Problemas específicos

- 1)** ¿Cómo se debe caracterizar el Alga cushuro (Nostoc sphaericum) en su estado natural y posterior al proceso de secado?
- 2)** ¿De qué manera se debe determinar los parámetros de operación del secador rotatorio discontinuo? Para el proceso de secado de alga cushuro (nostoc sphaericum)
- 3)** ¿Cómo se debe evaluar el rendimiento del proceso de secado Alga Cushuro (Nostoc Sphaericum) en un secador rotatorio discontinuo?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

Optimizar el proceso de secado de alga cushuro (nostoc sphaericum) en un secador rotatorio discontinuo, para la preservación de las propiedades del alga cushuro (nostoc sphaericum)

1.3.2. Objetivos Específicos

- 1) Caracterizar el Alga Cushuro (*Nostoc Sphaericum*) en su estado natural y posterior al proceso secado en un secador rotatorio discontinuo.
- 2) Determinar los parámetros de operación del secador rotatorio discontinuo. Para el proceso de secado de algas Cushuro (*Nostoc Sphaericum*).
- 3) Evaluar el rendimiento del proceso de secado de Algas Cushuro (*Nostoc Sphaericum*) en un secador rotatorio discontinuo.

1.4. Justificación

Los resultados de la investigación que se propone desarrollar tendrán valiosos aportes en los siguientes contextos :

- a) **Teórica.**- Conociendo el proceso de secado por transferencia de calor por convección y conducción se llevará a cabo el secado dentro del secador rotario discontinuo se tomarán medidas y la capacidad para la realización del secado del Algas Cushuro (*Nostoc Sphaericum*)
- b) **Tecnológica.**- El equipo de secado que consta de un secador rotatorio discontinuo del cual se medirá su capacidad, velocidad de secado dentro del equipo cantidad de flujo de calor necesario y la temperatura óptima para el secado del alga Cushuro (*Nostoc Sphaericum*).
- c) **Económica.**- Se plantea una alternativa que da la posibilidad económica y favorable para realizar el secado que consta de materia prima del Algas Cushuro (*Nostoc Sphaericum*) para su posterior industrialización.
- d) **Social.**- Se realizará el secado del Algas Cushuro (*Nostoc Sphaericum*) con el fin de una alternativa nutricional que pueden aportar las Algas Cushuro (*Nostoc Sphaericum*), que sería beneficiosa de la sociedad.
- e) **Práctica.**- El secado del Algas Cushuro (*Nostoc Sphaericum*), se puede realizar con frecuencia ya que se puede realizar en zonas de

alturas o a nivel del mar ya que se controlan los parámetros de temperatura, flujo de aire, rotación y esto no presenta dificultad en el desarrollo del método propuesto.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Existen diversos trabajos de investigación en donde se evalúa las diferentes formas de secado de materiales como raíces, plantas materiales húmedos etc.

Chili Rodriguez & Terrazas Viza, (2010) “Evaluación de la cinética de secado y valor biológico de Cushuro (*Nostoc Sphaericum*)”

El Cushuro contiene un alto contenido de humedad 98,61% aproximadamente, esto hace que no es posible conservarlo por mucho tiempo, sin embargo, existen métodos de conservación como es la disminución del contenido de humedad tal es el caso del secado, como un método de preservación industrial usado para disminuir la actividad de agua de los alimentos, por lo que se minimizan las reacciones bioquímicas de degradación en el almacenamiento. No obstante, la cinética de secado nos muestra la variación de la humedad del material (intensidad de evaporación) con el tiempo. Las curvas de cinética de secado dan idea del tiempo necesario de secado, del consumo de energía, del mecanismo de transferencia de agua, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa, y de la influencia que tienen en la velocidad de secado las variables de proceso tales como: la temperatura, humedad de entrada del producto, humedad relativa, velocidad del aire, etc. Para controlar y optimizar el proceso de secado se hace necesaria la utilización de ecuaciones matemáticas para la simulación de la cinética de transferencia de materia. Por estas razones los objetivos del presente trabajo planteados fueron :

- a)** Determinar la curva de velocidad de secado sometidas a las temperaturas (30°C, 45°C y 60°C) con velocidad de aire 1 m/s y 1,5 m/s en el secado de Cushuro en un secador automatizado de lecho fijo con circulación de aire forzado.

- b)** Determinar la Difusividad efectiva del agua sometidas a las temperaturas (30°C, 45°C y 60°C) con velocidad de aire 1 m/s y 1,5 m/s en el secado de Cushuro.
- c)** Determinar los parámetros del modelo empírico de Page en las curvas de secado.
- d)** Evaluar la Calidad Biológica (PER, NPU, NPR, DV y VB) de Cushuro seco.

En la cuales Se determinó las curvas de secado de todos los tratamientos, las que mostraron las mejores curvas de secado para el alga Cushuro fueron a una temperatura de 60°C y velocidades de aire de 1 m/s y 1,5 m/s hasta llegar a una humedad del 0,001 Kg agua/Kg s.s. mostrando estos tiempos de 4 horas cada una, respecto a los demás tratamientos, y se aproxima a una curva típica de secado de alimentos.

Carbajal Williams, (2015) “Caracterización y cuantificación del comportamiento reológico del hidrocoloide proveniente del Nostoc (Nostoc Sphaericum V.)” La mayoría de las algas marinas han sido estudiadas y explotadas en la industria de alimentos, sin embargo, las de agua dulce, su explotación e información científica son escasas, sobre todo en el comportamiento geológico de su hidrocoloide como es el caso del Nostoc. Esta alga es un recurso natural renovable que se desarrolla en diferentes medios acuíferos como en los departamentos de Ancash, Amazonas, Cajamarca, Cuzco, Huancayo, Junín, La Libertad, Oroya, Puno, Cerro de Pasco, y parte de la selva de Huánuco. El interés por la medida del comportamiento reológico de los aditivos alimentarios gelificantes naturales son cada vez mayores debido a su utilidad en la Industria Alimentaria como gelificantes, espesantes, emulsificantes o estabilizadores; aunque no contribuyen como aroma, sabor o valor nutritivo de los alimentos sí pueden incidir en su aceptabilidad mejorando su textura o consistencia. El hidrocoloide del alga (Nostoc sphaericum V.) es una materia prima hidrobiológica renovable con potencialidad de ser usado en la industria alimentaria y en la industria farmacéutica mejorando

la textura y la consistencia de los productos terminados de consumo humano.

Para tal estudio se realizó el Secado de Las algas nostoc estas fueron secadas en un secador con bandejas con aire caliente mediante flujo continuo a una Temperatura de secado a 60°C mediante flujo continuo a una velocidad del aire de 3 m/s con HR de 35% hasta alcanzar el 6,5% de Humedad. En el presente estudio, el porcentaje de proteína obtenido para el alga (*Nostoc sphaericum*) fue de aproximadamente 47,71% en base seca; López et al. (2010) determina para *Synechococcus* sp. *Espirulina platensis*, *Anabaena cylindrica* y *Arthrospira* sp. Entre el 45% y 63% de proteína respectivamente en base seca.

Hernandez Burgos , (2013) “Estudio de la reducción del contenido de sodio y deshidratación del alga luche (*Porphyra* Sp.)” El objetivo del estudio fue determinar un tratamiento para la reducción del contenido de sodio y proporcionar los parámetros necesarios para el proceso de deshidratación del luche, además de comparar el proceso tecnológico propuesto con el utilizado en la Empresa Pesca en Línea, para luche deshidratado elaborado de manera artesanal, teniendo como referencia los resultados de los análisis del alga en estado fresco sin ningún tipo de tratamiento. Se realizó un análisis proximal de las tres muestras descritas anteriormente, incluyendo sodio y potasio, además de determinar el contenido de vitaminas A, E y D2

Los resultados indican que desde un contenido inicial de sodio de 0,97 g/100 g, se redujo a 0,36 g/100 g de masa seca. Además, la aplicación de la metodología propuesta permitió mantener los contenidos de proteínas y carbohidratos, por lo que es posible la reducción del contenido de sodio desde el alga en estado fresco, sin afectar el valor nutricional de ésta.

Salas De La Cruz, (2008) “Obtención de κ -Carragenano y λ - Carragenano a partir de macroalga *Chondracanthus chamissoi* y su

aplicación en la industria alimentaria” La explotación de algas productoras de carragenanos se intensifica a partir de los 80

La obtención de κ – carragenano y λ – carragenano está en función de la selección adecuada de algas, identificación correcta de las fases de vida, control de parámetros como temperatura, pH, tiempo y concentración de soluciones.

El proceso de extracción se basa en : solubilidad en agua caliente e insolubilidad en solventes orgánicos polares. La fase gametofita es punto de partida para la producción de κ – carragenano y la fase esporofita se orienta a la producción de λ – carragenano.

La capacidad gelificante (κ – carragenano) y el comportamiento viscosante (λ – carragenano) de los carragenanos son características que se aplican para gelificar o espesar sistemas acuosos.

Vivanco, C. Alvarez, & Vodden, (2011), pág. 30 Extracción de algas en Pisco : Desafíos, oportunidades, adaptación y perspectivas futuras el distrito de San Andrés está ubicado a 4,9 Km del puerto de Pisco en el departamento de Ica. En el 2007 (INEI, 2007) su población era de 13 151 personas, que en su mayoría se dedican a la pesca artesanal. Cabe recalcar que el departamento de Ica cuenta con 17 plantas de harina de pescado y 11 plantas de enlatados, distribuidas en su litoral. De igual importancia es la presencia de Pluspetrol, una compañía de gas y líquidos asociados que utiliza gas proveniente de la región de Camisea. San Andrés no solo se encuentra ubicado en las cercanías de plantas de harina de pescado y de Pluspetrol, sino también en las cercanías de las Islas Ballestas y de la Reserva Nacional de Paracas. Estas últimas son puntos de gran atractivo turístico en Pisco donde se pueden observar impresionantes formaciones rocosas que son hábitat de lobos marinos, pingüinos, flamencos, etc.

Las actividades industriales, así como el crecimiento poblacional de la zona han provocado el incremento de contaminantes en la mencionada área del litoral pisqueño. Por ejemplo, el Instituto del Mar de Perú

(Imarpe) en enero de 1999 detectó concentraciones de cadmio de alrededor de 2 ug/g Imarpe.

También concluyó otros estudios y sugirió la optimización de algunas técnicas en las plantas de harina de pescado. Por ejemplo, Imarpe ha sugerido el uso de agua dulce para el procesamiento de pescado y el reciclaje de esta agua. Asimismo, sugirió monitorear y analizar los efluentes de las plantas de harina de pescado (sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, y demanda bioquímica de oxígeno). Para mitigar el impacto de las actividades de las plantas de harina de pescado, la Asociación de Productores de Harina de Pescado (Apropisco) ha puesto en operación un emisor submarino de 18 pulgadas de diámetro interior que descarga efluentes de las plantas de harina de pescado a aproximadamente 12 Km de la bahía.

Rueda Ordoñez, Yesid Javier; Rueda Ordoñez, Diego Andres,(2009) “Diseño y construcción de un secador rotatorio directo cilíndrico para la pollinaza” En este trabajo de grado se diseñó y construyó un secador rotativo directo cilíndrico para pollinaza, con capacidad de secado de 250 Kg por hora de trabajo, que cumple con las necesidades de reducción de la humedad, eliminación de bacterias coliformes y permanencia de proteínas en la materia prima a tratar, facilitando este tipo de tecnología a las granjas del sector avícola.

El diseño se realizó con modelos matemáticos presentados para el cálculo de este tipo de máquinas, enmarcando todo el diseño en herramientas CAD como Solid Works V18 En la construcción y montaje se realizó un estricto seguimiento a los procesos de corte, Soldadura y montaje mecánico como eléctrico. El secador fue construido en su mayoría en acero Cold Rolled calibre 16 El proceso es realizado por un cilindro que va girando por la acción de un moto – reductor, a este cilindro este acoplado un ventilador y un quemador de propano. Finalmente, el resultado es una máquina que satisface las necesidades automatizando un proceso artesanal a bajo costo y ofreciendo una buena competitividad

debido al sistema de secado por aire caliente que permite disminuir el tiempo de secado del producto, para ser evacuado en menor tiempo y mayor cantidad. En este proyecto el mayor énfasis es procurar una mejoría en el procesamiento de la pollinaza buscando una solución ambiental para la región y más enfocado en la granja Villa Laury ubicada en la Mesa de los Santos.

Gaibor Egas, (2014) "Diseño de un secador discontinuo para la especie de alga *Chlorella*." Se realizó el estudio del secado de la microalga *Chlorella* sp. Y diseño de un secador tipo discontinuo.

La experimentación se inició con el cultivo de la microalga bajo condiciones de crecimiento definidas en la literatura, luego se procedió al secado de muestras de la microalga en una termobalanza, variando la temperatura: 60°C, 80°C y 100°C y la masa de la microalga: 1; 1,5 y 2 g. Con los datos obtenidos se elaboraron curvas de secado y se determinó la velocidad y el tiempo de secado para cada experimentación. En el producto seco se cuantificó las grasas totales, como criterio para establecer las mejores condiciones de secado. El diseño de un secador prototipo se realizó con semejanzas geométricas y manteniendo las mismas relaciones de forma que el secador modelo. Se concluyó que a menor temperatura existe un mayor contenido de grasas en el producto seco, manteniendo en el proceso la misma masa de sólido por unidad de área expuesta al secado, así para una temperatura de 60°C y una relación masa/área de 1,01; la cantidad de grasa en el sólido seco es de 2,07%, que es el contenido máximo alcanzado en todas las pruebas realizadas. Por lo tanto, dichos datos representan las mejores condiciones de operación.

2.2. Base Teórica

2.2.1. Principios de Secado

El secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua (u otro líquido) de un material sólido con el fin de reducir el contenido de humedad hasta un valor aceptable para la industria. Es la

etapa final de una serie de operaciones en la producción precedente a la salida del producto resultante y luego de esto pasa al proceso de empaquetado o almacenado.

Comúnmente a este proceso se le denomina secado pero su nombre científico es el de Secado de vaporización térmica y en el mercado industrial este proceso es más costoso que el hecho de usar métodos mecánicos, aunque ambientalmente sea más correcto. El secado describe el proceso térmico para remover sustancias volátiles (humedad) con el fin de obtener un producto sólido. La humedad se presenta en forma de solución líquida dentro del sólido o atrapada en su microestructura, la cual ejerce una presión de vapor menor que el líquido puro, esta es llamada humedad intrínseca, la humedad en exceso es llamada humedad extrínseca.

2.2.2. Definición de secado

Por lo general, el término secado se refiere a la eliminación de humedad en una sustancia. Se aplica tan fácil e incongruentemente que es necesario restringir su significado en el análisis presente del tema. Por ejemplo, un sólido húmedo, como madera, tela o papel, puede secarse por evaporación de la humedad ya sea en una corriente de gas o sin el beneficio del gas para separar el vapor; sin embargo, generalmente no se considera como secado la eliminación mecánica de esta humedad mediante el exprimido o centrifugado. Una solución puede ser “secarse” esparciéndola en forma de pequeñas gotas en un gas caliente y seco, lo que provoca la evaporación del líquido; la evaporación de la solución mediante ebullición en ausencia de un gas para retirar la humedad por lo común se considera una operación de secado. En la práctica, la humedad es con tanta frecuencia agua y el gas con tanta frecuencia aire que esta combinación proporcionará las bases para la mayor parte de los análisis de secado industrial.

Cuando la superficie sólida se encuentra húmeda y es sometida a un tratamiento de secado, ocurren dos procesos simultáneamente :

- a) Transferencia de energía (sobre todo como calor sensible) desde el ambiente circundante para evaporar la humedad superficial.
- b) Transferencia de humedad interna hacia la superficie para la evaporación subsiguiente debido al proceso.

La transferencia de energía desde el ambiente circundante hacia el sólido mojado puede ocurrir como resultado de la convección, conducción o radiación y en algunos casos puede darse como la combinación de estos mecanismos.

La velocidad de secado depende de las características particulares de los siguientes procesos :

- a) **Proceso 1.-** La remoción de vapor de agua desde la superficie húmeda está determinada por las condiciones externas, como temperatura, humedad, flujo de aire, área expuesta superficial y presión.
- b) **Proceso 2.-** El movimiento interno de la humedad dentro del sólido el cual es función de la naturaleza física del mismo, la temperatura, y su contenido de humedad.

El transporte de humedad dentro de un sólido puede ocurrir por cualquiera de los siguientes mecanismos de transferencia de masa :

- a) Difusión líquida en los sólidos húmedos, ocurre a una temperatura por debajo del punto de ebullición.
- b) Difusión de vapor si el líquido se vaporiza dentro del material.
- c) Difusión superficial (posible pero no probado) (Treybal R. E., 1970)

2.2.3. Deshidratación en los alimentos

La deshidratación de alimentos consiste en la eliminación casi completa del agua que estas contienen, bajo condiciones de control que producirán solo un mínimo de cambios o ningún cambio en las propiedades del alimento. La humedad final de estos alimentos deshidratados como granos de cereales y frutas es del 1% al 5%, según el producto.

Los alimentos deshidratados son más concentrados que cualquier otra forma de productos alimenticios preservados. Es más ventajoso en costos de producción equipo limitado condiciones de almacenamientos costos de distribución y transporte, son mínimas comparadas con otros tratamientos.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Técnicas de deshidratación

Todas las técnicas de deshidratación están basadas en el comportamiento físico – químico del agua. El agua líquida se evapora a cualquier temperatura, proceso que se puede acelerar si se eleva su temperatura o bien se hace pasar por ella, aire seco y caliente. También el agua sólida (hielo) sublima a baja temperatura y baja presión. (Hope, 1982)

2.3.2. Deshidratación por el sol

El método tradicional de secado al sol consiste en distribuir el producto en una capa fina sobre una superficie uniforme. El producto se remueve periódicamente durante el secado. La temperatura del producto durante el secado al sol oscila entre 5°C y 15°C por encima de la temperatura ambiente y un tiempo de secado puede alcanzar tres a cuatro semanas, por ejemplo, para uvas y albaricoques. Las características del producto: color, forma y las condiciones de humedades iniciales y finales deseadas influyen sobre la temperatura del producto y tiempo de secado. (Casp & Abril, J, 1999)

2.3.3. Desecadores por método mecánico

El desecador más simple es el horno, que lleva a cabo la deshidratación del alimento aprovechando las corrientes naturales que se producen al calentar el aire la eliminación de agua por vía mecánica sólo permite la separación de una parte del agua libre de los productos tratados (Casp & Abril, J, 1999)

2.3.4. Liofilización

La liofilización es otra técnica de deshidratación de alimentos y otros productos biológicos (plasma sanguínea, piel y otros), que consiste en someter los alimentos en un ambiente de baja presión a muy bajas temperaturas ($T = 0,009^{\circ}\text{C}$ y $P = 611 \text{ Pa}$) para provocar la sublimación del hielo. Llamada anteriormente crió – desecación, es un proceso de secado cuyo principio consiste en sublimar el hielo de un producto congelado, el agua del producto pasa directamente del estado sólido al estado de vapor sin pasar por el estado líquido; la liofilización presenta una serie de ventajas presentes frente a otras técnicas de secado en particular la estructura original del alimento se mantiene mejor y la retención de aromas y nutrientes es excelente, la textura es aceptable, especialmente con vegetales, los productos liofilizados presenta una mayor calidad que los mismos productos deshidratados por otros métodos, pueden ser almacenados a temperatura ambiente durante varios periodos y su rehidratación es fácil. Sin embargo, una de las mayores desventajas de la liofilización son los costos energéticos y los largos periodos de secado. La liofilización es un proceso caro tanto en términos de inversión como en costos de operación también en tiempo de proceso (Liapis & Marchello, J. M., 1982)

2.3.5. Operaciones de secado

Las operaciones de secado pueden clasificarse ampliamente según que sean por lotes o continuas. Estos términos pueden aplicarse específicamente desde el punto de vista de la sustancia que se está secando. Así, la operación denominada secado por lotes, generalmente es un proceso en semilotes, en donde una cierta cantidad de sustancia que se va a secar se expone a una corriente de aire que fluye continuamente, en la cual se evapora la humedad. En las operaciones continuas, tanto la sustancia que se va a secar, como el gas pasan continuamente a través del equipo. Generalmente, no se utilizan métodos normales por etapas; en todas las operaciones ocurre el contacto

continuo entre el gas y la sustancia que se seca. El equipo que se utiliza para el secado se puede clasificar de acuerdo con el tipo del equipo y por la naturaleza del proceso de secado. La clasificación siguiente es útil para delinear las teorías de secado y los métodos de diseño.

a) Método de operación sea por lotes o continuo.- El equipo por lotes, o Semilotes, se opera intermitente o cíclicamente en condiciones de estado no estacionario: el secador se carga con la sustancia, que permanece en el equipo hasta que se seca; entonces, el secador se descarga y se vuelve a cargar con un nuevo lote. Los secadores continuos generalmente se operan en estado estacionario.

b) Método de obtención del calor necesario para la evaporación de la humedad.- En los secadores directos, el calor se obtiene completamente por contacto directo de la sustancia con el gas caliente en el cual tiene lugar la evaporación. En los secadores indirectos, el calor se obtiene Independientemente del gas que se utiliza para retirarla humedad evaporada.

Por ejemplo, el calor puede obtenerse por conducción a través de una pared metálica en contacto con la sustancia o, con menos frecuencia, por exposición de la sustancia a radiación infrarroja o calentamiento dieléctrico.

En este último caso, el calor se genera dentro del sólido mediante un campo eléctrico de alta frecuencia.

c) Naturaleza de la sustancia que se va a secar.- La sustancia puede ser un sólido rígido como madera, un material flexible como tela o papel, un sólido granular, como una masa de cristales, una pasta ligera o un lodo ligero, o una solución. Si es un sólido, puede ser frágil o fuerte. La forma física de la sustancia y los diferentes métodos de manejo necesarios tienen tal vez, la mayor influencia sobre el secador que se va a utilizar. (Treybal R. E., 1970)

2.3.6. Tipos de secadores

Tabla N° 1, Tipo de secadores

DIRECTOS	a) Bandejas secadoras	CONTINUOS
	b) Transporte neumático	
	c) Rotativos	
	d) De lecho fluidizado	
	e) Circulación a través del material	
INDIRECTOS	a) Circulación a través del material	NO CONTINUOS
	b) Bandejas y compartimiento	
	a) Cilíndricos	CONTINUOS
	b) Tambores	
	c) Transporte por tornillo	
	d) Tubo giratorio con vapor	
e) Bandejas vibradoras		
f) Tipos especiales		

(Rueda Ordoñez, Yesid Javier; Rueda Ordoñez, Diego Andres, 2009)

a) Secadores rotatorios.- Consisten en una carcasa cilíndrica giratoria, dispuesta horizontal o ligeramente inclinada hacia la salida. Al girar la carcasa, una serie de pestañas levantan los sólidos para dejarlos caer después en forma de cascada a través del interior de la carcasa. La alimentación entra por un extremo del cilindro y el producto seco descarga por el otro, se calientan por contacto directo del gas con los sólidos, normalmente son de contraflujo, el gas caliente entra por un lado y el producto húmedo por otro movilizándose uno en dirección contraria al otro.

Los secadores rotatorios de ese tipo se utilizan con frecuencia para que no se puedan exponer directamente a gases de combustión muy calientes, o aire a gran temperatura, este tipo de secadores son de funcionamiento continuo y suelen usarse para sólidos granulados y cristalinos.

(Rueda Ordoñez, Yesid Javier; Rueda Ordoñez, Diego Andres, 2009)

Tabla N° 2, Comparación entre secadores directos e indirectos

CONTAMINACIÓN DEL SÓLIDO	DIRECTOS	INDIRECTOS
TEMPERATURA	Alcanza valores superiores a los 750°C	Desde bajas para congelación hasta 550°C
TAMAÑO	Ocupa gran espacio en planta	Ocupa gran espacio en planta
ECONOMÍA	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo menor de combustible por Kg de humedad retirada - Bajo costo de construcción inicial 	<ul style="list-style-type: none"> - Consumo mayor de combustible por Kg de humedad retirada - Mayor costo de construcción inicial
SÓLIDO A SECAR	<ul style="list-style-type: none"> - Sólidos granulados, abrasivos y cristalinos - Seca sólidos finos hasta de gran tamaño 	<ul style="list-style-type: none"> - Láminas u hojas, como papel, celofán, pulpas vegetales, materiales pastosos y sólidos finos
CONTAMINACIÓN DEL SÓLIDO	Utilizado en sólidos que no se afecten sus propiedades por el contacto con gases de combustión o aire caliente	Utilizado en alimentos, pulpas vegetales y sólidos que tengan riesgo de contaminación por el contacto directo con gases de combustión

(Rueda Ordoñez, Yesid Javier; Rueda Ordoñez, Diego Andres, 2009)

2.3.7 Curvas de velocidad de Secado

Para reducir el contenido de humedad en el secado de diversos materiales de proceso, por lo general se estima el tamaño del secador necesario, las diferentes condiciones de operación de humedad y la temperatura del aire empleado, y el tiempo necesario para lograr el grado de secado. No es posible predecir el contenido de humedad de equilibrio de diversos materiales, por lo que es necesario determinarlo por vías experimentales.

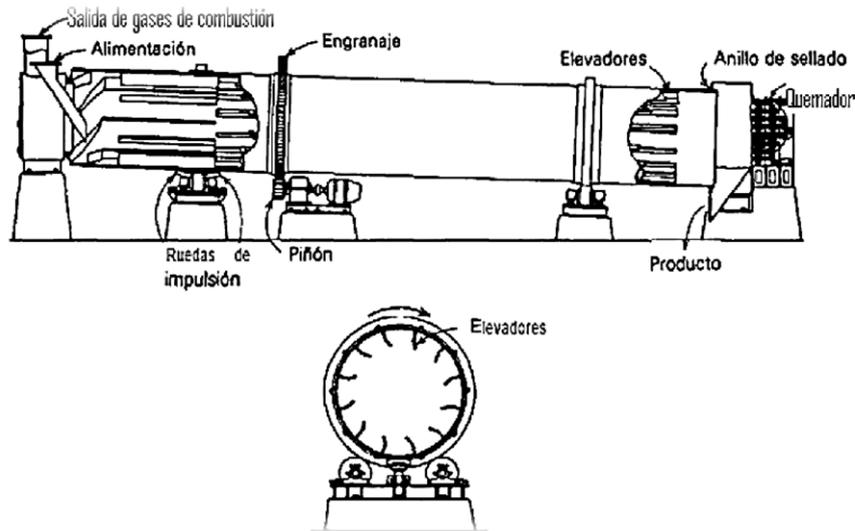


Figura N° 1, Secador rotatorio cilíndrico, (Rueda Ordoñez, Yesid Javier; Rueda Ordoñez, Diego Andres, 2009)

De la misma manera, puesto que el conocimiento de los mecanismos básicos de las velocidades de secado es bastante incompleto, en muchos casos es indispensable obtener algunas mediciones experimentales de las velocidades de secado.

Al realizar experimentos de secado por lotes, deben tomarse ciertas precauciones para obtener datos útiles en condiciones que se semejen lo más posible a las que imperaran en operaciones a gran escala. La muestra no debe ser demasiado pequeña y se debe introducir en una bandeja similar a la que se usará en producción. La velocidad, la humedad, la temperatura y la dirección del aire deben ser las mismas y constantes para simular un secado en condiciones constantes.

a) Curvas de velocidad de secado para condiciones de secado constante.- Los datos experimentales obtenidos en una investigación sobre el efecto de las condiciones externas de secado son el contenido de humedad del producto en función del tiempo, bajo condiciones de secado constantes. Estas se pueden representar como una curva de secado. El término "condiciones de secado constantes" significa que la velocidad del aire, temperatura, humedad y presión se mantienen constantes y que las condiciones del aire de

salida del proceso son sustancialmente las mismas que las de la entrada.

La nomenclatura usada para definir el término humedad es la siguiente :

W : Kg agua/Kg s.s. : Lb agua/lb s.s. (Humedad en base seca)

W : Kg agua/Kg tot. : Lb agua/lb tot. (Humedad total o humedad en base húmeda)

$$\theta t = \frac{W - W_s}{W_s} : \frac{\text{Kg o lb total de agua}}{\text{Kg o lb de solido seco}} \quad (1)$$

La diferenciación de los datos de la curva de secado sea en forma gráfica o numérica, genera la velocidad de secado, término que al ser graficado contra el contenido de humedad o contra el tiempo, genera una representación del tipo de la presentada. La velocidad de secado puede expresarse como :

$$\frac{dW}{Ad\theta} = kg \frac{\text{agua}}{m^2} . kg S.S. hora \quad (2)$$

$$\frac{dW}{d\theta} = Kg \text{ agua} . Kg S.S. hora \quad (3)$$

(Treybal, 1970)

2.3.8 Característica del secado

- a) Humedad inicial.**- El contenido de humedad, es decir la cantidad de agua evaporable existente en un producto se expresa con relación a su masa total o a su masa seca esto es, la masa que se obtiene descontando la masa de agua evaporable que contiene). (Perry, Perry, & Chilton, 1981)

- b) Humedad de equilibrio.-** Después de haber expuesto el sólido un tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio, llega un momento en que dicho sólido tiene un contenido de humedad definido. Este valor se conoce como contenido de humedad de equilibrio del material en las condiciones especificadas de humedad y temperatura del aire. En general, el contenido de humedad se expresa en base seca como kilogramo de agua por kilogramo de sólido sin humedad (completamente seco) En los cálculos de secado, se usa el valor de equilibrio por desecación. (Geankoplis J. , 1998)
- c) Humedad libre.-** El contenido de humedad libre de una muestra es la humedad por encima del contenido de humedad de equilibrio. Esta humedad libre se puede eliminar por secado con las condiciones dadas de porcentajes de humedad relativa. (Geankoplis J. , 1998)
- d) Humedad crítica.-** Es el contenido de humedad que tiene el producto a secarse en el momento que hay una transición de velocidad y secado, es decir, del momento de secado a velocidad constante pasa a velocidad decreciente. El punto en el cual termina la intensidad constante y empieza a disminuir la intensidad de la desecación se llama contenido crítico de humedad. (Perry, Perry, & Chilton, 1981)

2.3.9 Transferencia de calor sobre superficies tubulares

- a) Convección Natural.-** La transferencia de calor por convección natural sobre una superficie depende de la configuración geométrica de ésta, así como de su orientación. También depende de la variación de la temperatura sobre la superficie y de las propiedades termo físicas del fluido que interviene.

Aun cuando comprendemos bien el mecanismo de la convección natural, las complejidades del movimiento del fluido hacen que sea muy difícil obtener relaciones analíticas sencillas para la transferencia de calor mediante la resolución de las ecuaciones que rigen el movimiento y la energía. Las correlaciones empíricas sencillas para el número promedio de Nusselt Nu en la convección natural.

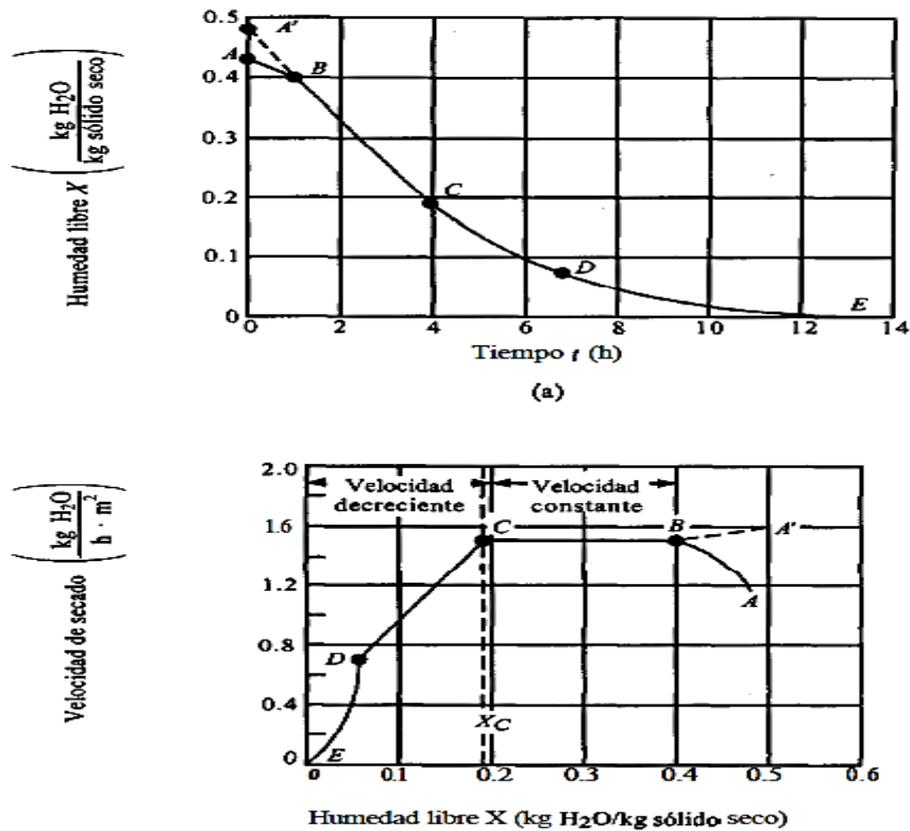


Figura N° 2, Curva de velocidad de secado, Curva típica de velocidad de secado constante: a) gráfica de los datos de humedad libre en función del tiempo. b) curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre (Treybal R. E., 1970)

$$Nu = \frac{hL_c}{k} = C(Gr_L Pr)^n = C Ra_L^n \quad (4)$$

En donde Ra_L es el número de Rayleigh, el cual es el producto de los números de Grashof y de Prandtl :

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_x)L_c^3}{\nu^2} Pr \quad (5)$$

Los valores de las constantes C y n dependen de la configuración geométrica de la superficie y del régimen de flujo, el cual se

caracteriza por el rango del número de Rayleigh. El valor de n suele ser para el flujo laminar y para el turbulento. El valor de la constante C normalmente es menor que 1. En la **Figura Nº 3 (Ver pag. Nº 32)** se dan relaciones simples para el número promedio de Nusselt para varias configuraciones geométricas, junto con esquemas de estas últimas se dan las longitudes características de las configuraciones y los intervalos del número de Rayleigh en los cuales la relación es aplicable. Todas las propiedades del fluido deben evaluarse a la temperatura de película $T_f = \frac{1}{2}(T_s - T_\infty)$ Cuando se conoce el número promedio de Nusselt y , por consiguiente, el coeficiente promedio de convección, la velocidad de la transferencia de calor por convección natural de una superficie sólida que está a una temperatura uniforme T_s hacia el fluido circundante se expresa por la ley de Newton del enfriamiento como (Çengel, 2007)

$$Q_{conv} = h \cdot A_s \cdot (T_s - T_\infty) \quad (6)$$

- b) Convección Natural y forzada Combinadas.**- La presencia de un gradiente de temperatura en un fluido, en un campo de gravedad, siempre da lugar a corrientes de convección natural y, como consecuencia, a transferencia de calor por convección natural. Por lo tanto, la convección forzada siempre viene acompañada por convección natural.

Mencionamos con anterioridad que el coeficiente de transferencia de calor por convección, natural o forzada es fuerte función de la velocidad del fluido. Típicamente, los coeficientes de transferencia de calor en la convección forzada son mucho más altos que los que se encuentran en la convección natural, debido a las velocidades más altas del fluido asociadas con la primera. Como resultado, tendemos a ignorar la convección natural en los análisis de transferencia de calor

en los que interviene la convección forzada, aunque reconocemos que siempre está presente. El error que se comete al ignorar la convección natural es despreciable a altas velocidades, pero puede ser considerable a velocidades bajas. Por lo tanto, resulta conveniente contar con un criterio para valorar la magnitud de la convección natural en presencia de la forzada.

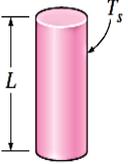
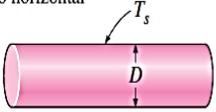
<p>Cilindro vertical</p> 	<p>L</p>		<p>Un cilindro vertical puede tratarse como una placa vertical cuando</p> $D \geq \frac{35L}{Gr_L^{1/4}}$
<p>Cilindro horizontal</p> 	<p>D</p>	<p>$Ra_D \leq 10^{12}$</p>	$Nu = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{[1 + (0.559/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$

Figura N° 3, Correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies, (Çengel, 2007)

Para un fluido dado, se observa que el parámetro Gr/Re^2 representa la importancia de la convección natural en relación con la forzada. Esto no es sorprendente, dado que el coeficiente de transferencia de calor por convección es una fuerte función del número de Reynolds Re en la convección forzada y del de Grashof Gr en la convección natural.

En la **Figura N° 4 (Ver pag. N° 34)** se da un gráfico del coeficiente de transferencia de calor, hecho adimensional, para las convecciones naturales y forzadas combinadas sobre una placa vertical, para fluidos diferentes. Con base de la **Figura N° 4 (Ver pag. N° 34)** se nota que la convección natural es despreciable cuando $Gr/Re^2 < 0,1$, la forzada es despreciable cuando $Gr/Re^2 > 10$ y ninguna de las dos lo es cuando $0,1 < Gr/Re^2 < 10$ Por lo tanto, deben considerarse tanto la convección natural como la forzada en los cálculos de la transferencia

de calor cuando el Gr y Re_2 tienen el mismo orden de magnitud (uno de ellos es menos de 10 veces el otro). Note que la convección forzada es pequeña en relación con la natural sólo en el caso raro de velocidades extremadamente bajas del flujo forzado. La convección natural puede ayudar o perjudicar a la transferencia de calor por convección forzada, dependiendo de las direcciones relativas de los movimientos inducidos por la flotación y la convección forzada. (Çengel, 2007)

2.3.10 Coeficiente de difusión

Muchos autores han propuesto que el principal mecanismo en el secado de sólidos es la difusión del agua. (Fortes & Okos, M. R., 1980), (Geankoplis J. , 1998) La difusión se da en sólidos de estructura fina y en los capilares, poros y pequeños huecos llenos de vapor. El vapor se difunde hacia fuera hasta que alcanza la superficie donde pasa a la corriente global de aire. Desgraciadamente, la teoría de la difusión no tiene en cuenta el encogimiento, casos de endurecimiento o isothermas de adsorción. Siendo además dependiente de la concentración y la temperatura. La Ley de Fick aplicada a un sistema unidimensional como el mostrado en la **Figura N° 6 (Ver pag. N° 35)**

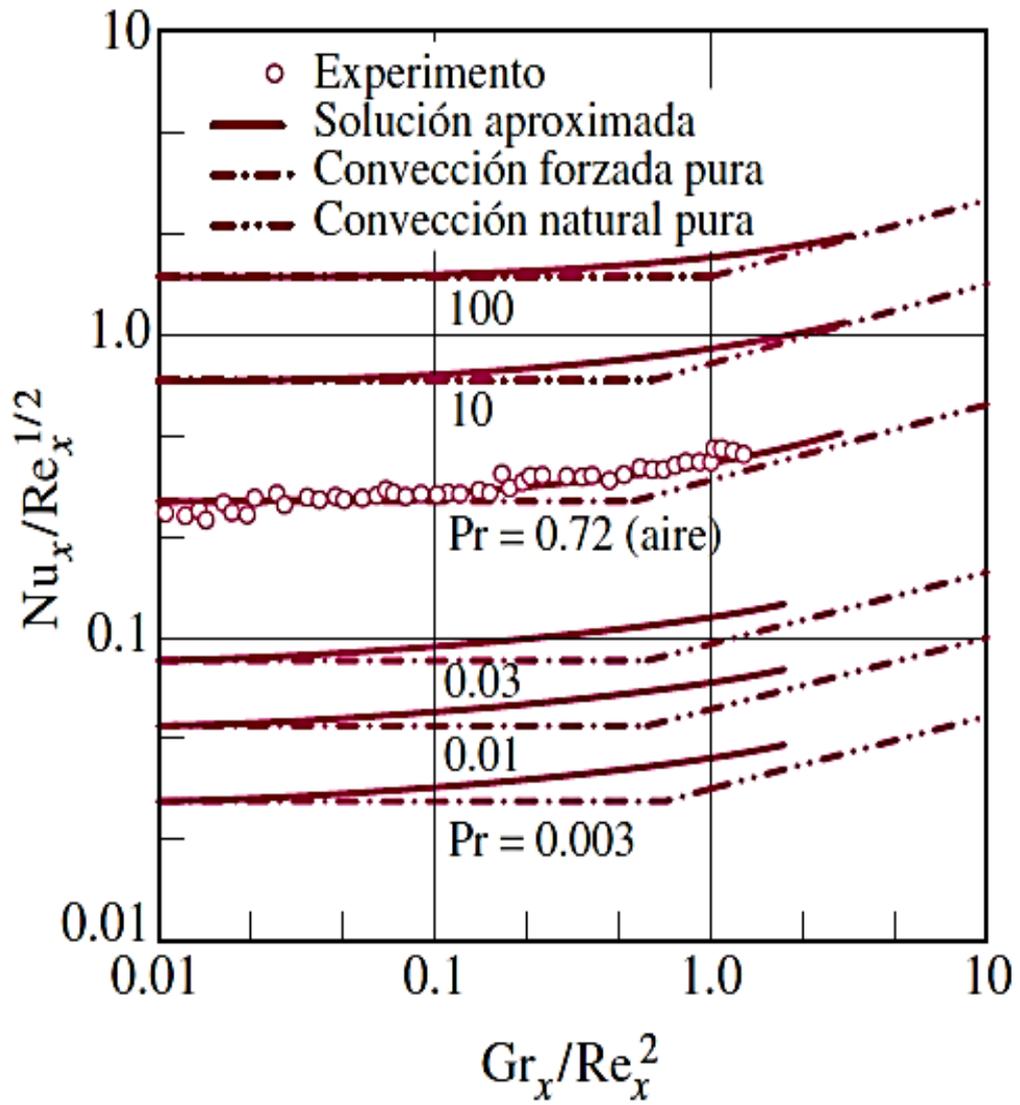


Figura N° 4, Variación del número local de Nusslet, Nu_x , para convecciones naturales y forzadas combinadas desde una placa vertical isotérmica caliente, (Çengel, 2007)

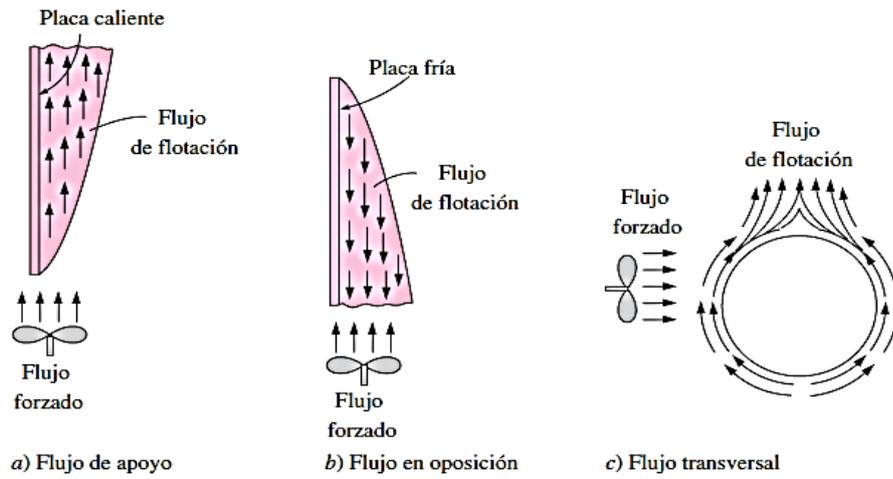


Figura N° 5, La convección natural puede mejorar o inhibir la transferencia de calor, dependiendo de las direcciones relativas del movimiento inducido por la flotación y el movimiento de convección forzada, (Çengel, 2007)

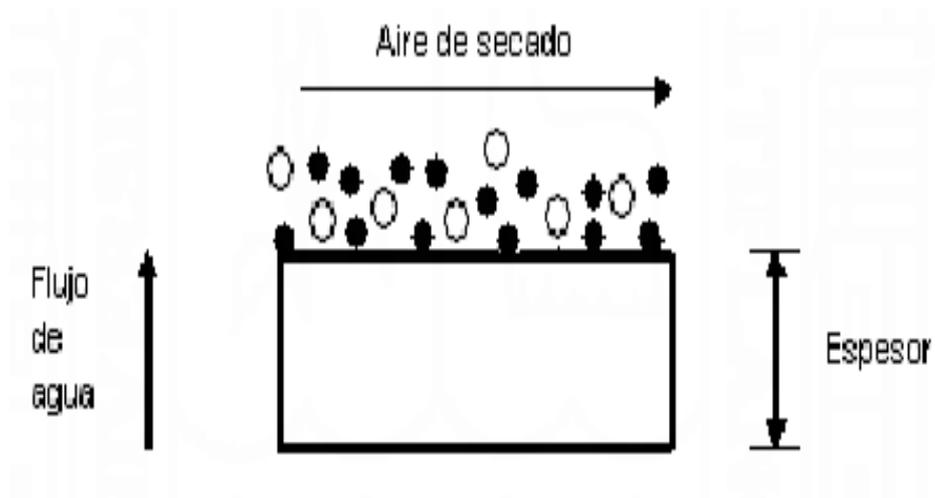


Figura N° 6, Mecanismo de difusión superficial en el transporte de vapor de agua, (Bruin & Luyben, K. , 1980)

Se puede Expresar como :

$$\frac{\partial X}{\partial t} = D_{ef} \frac{\partial X^2}{\partial x^2} \quad (7)$$

2.3.11 Modelamiento matemático

La cantidad total de sustancia difusora que entra o sale de la esfera es dada por: (Crank, 1975)

$$\frac{M_t}{M_\infty} = 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{-n^2 D_{ef} t / r^2} \quad (8)$$

Segunda Ley de Fick modificada para esferas: (Chili Rodriguez & Terrazas Viza, 2010)

$$\frac{X - X_S}{X_0 - X_S} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{\left(\frac{-n^2 D_{ef} t}{r^2}\right)} \quad (9)$$

Dónde :

- D_{ef} : Coeficiente de difusión
- X : Contenido de humedad al tiempo “t”
- X_0 : Contenido de humedad inicial
- X_S : Contenido de humedad en la superficie
- r : Radio de la esfera
- n : Vector unitario

La dependencia del coeficiente de difusión D_{ef} , con la temperatura puede describirse por la ecuación de Arrhenius.

$$D_{ef} = D_0 \exp\left(\frac{E_a}{R_g T}\right) \quad (10)$$

Dónde :

- E_a : Energía de activación
- T : Temperatura de referencia
- R_g : Constante de gases

D_o : Coeficiente de difusión de referencia

Tabla N° 3, Difusividad efectiva de algunos productos alimentarios

Alimentos	T (°C)	D _{ef} (m ² /s)
Leche entera espuma	50	2.0x10 ⁻⁹
	40	1.4x10 ⁻⁹
	35	8.5x10 ⁻¹⁰
Manzana	66	6.40x10 ⁻⁹
Manzana liofilizadas	25	2.43x10 ⁻¹⁰
pasas	25	4.17x10 ⁻¹¹
Patatas	54	2.58x10 ⁻¹¹
	60	3.94x10 ⁻¹¹
	65.5	4.37x10 ⁻¹¹
	68.8	6.36x10 ⁻¹¹
Peras en laminas	66	9.63x10 ⁻¹⁰
Ternera en polvo liofilizada	25	3.07x10 ⁻¹¹
Zanahoria en cubos	40	6.75x10 ⁻¹¹
	60	12.1x10 ⁻¹¹
	80	17.9x10 ⁻¹¹
	100	24.1x10 ⁻¹¹

Fortes & Okos, M. R. - 1980

Ecuación de Page : (Chili Rodriguez & Terrazas Viza, 2010)

$$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \exp(-Kt^N) \quad (11)$$

M : Cantidad de sustancia difusora en un tiempo t y en tiempo infinito

Def : Coeficiente de difusión

X : Contenido de humedad al tiempo t

X_o : Contenido de humedad inicial

X_s : Contenido de humedad en la superficie

X_e : Contenido de humedad equilibrio

R : Radio de la esfera

n : Vector unitario

t : Tiempo

K y N : Parámetros del modelo matemático de Page

2.3.12 Cianobacterias

Aunque la mayoría de las algas son eucariotas, las llamadas algas verde azuladas (cianobacterias) son procariotas. Se encuentran como células independientes o como colonias pluricelulares filamentosas. Comparten con otras bacterias muchas de sus características como la presencia de DNA de doble helicoide y de ribosomas libres de 70 S. La pared celular es semejante a la bacteriana, en concreto a la de las bacterias gramnegativas. Una característica propia, ausente en otras bacterias y que revela un nivel de organización discretamente superior, es la existencia de un metabolismo fotosintético semejante al de las plantas verdes. Además de la clorofila, contienen otro pigmento, la ficobilina, que comprende, a su vez, dos pigmentos: ficocianina (azul) y ficoeritrina (rojo). Separando fracciones por centrifugación, se ha comprobado que la clorofila está dentro de unos sáculos membranosos (laminillas), mientras que la ficobilina se encuentra en gránulos denominados cianosomas adosados a las membranas. Cianosomas y laminillas pueden realizar la fotosíntesis junta, pero no por separado. Estos pigmentos permiten que estas algas puedan desarrollarse en condiciones ambientales extremas de temperatura y concentración salina. Las membranas con clorofila, sin que puedan considerarse verdaderos cloroplastos, constituyen un orgánulo membranoso de células procariotas. Además, las cianobacterias pueden fijar N_2 convirtiéndolo en NH_3 , con el que sintetizan sustancias orgánicas nitrogenadas como aminoácidos o nucleótidos. Pueden vivir prácticamente con sólo luz, N_2 , CO_2 y agua. (Paniagua, y otros, 2007)

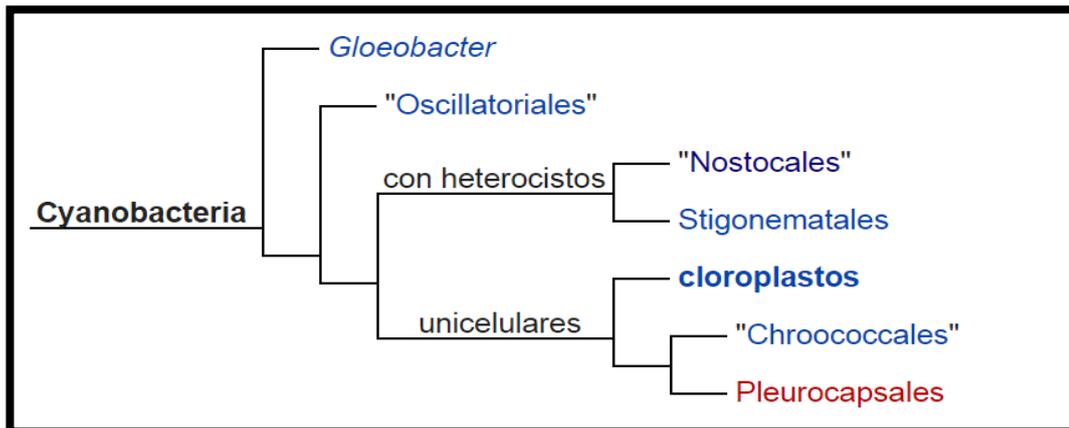


Figura N° 7, Estudio filogenético (2010) con el siguiente resultado, (Falcón LI & Castillo , 2010)

2.3.13 Alga Cushuro (Nostoc Sphaericum)

El Nostoc está formado por colonias de cianobacterias verde azuladas, verde oliva o marrón. El color verde viene de su contenido de clorofila, el azul, de un pigmento denominado Ficocianina, que tiene relación con la fotosíntesis. Algunos contienen Ficoeritrina, pigmento rojo, que al mezclarse con los otros generan la coloración marrón. Corresponden a la familia de las Nostocaceae. Tienen aspecto de uvas, translúcidas, gelatinosas y esféricas, con un diámetro que varía de 10 a 25 mm. También se presenta como colonias laminares de geometría irregular. Estas colonias de bacterias pueden atrapar el nitrógeno del aire y fijarlo en sus células, de allí su importancia en la agricultura como abono natural. Suelen vivir en climas extremos, con temperaturas bajo cero, prosperando en alturas sobre 3 000 m sobre el nivel del mar, habiéndose encontrado hasta 5 000 m en atmosferas pobres en oxígeno. Son resistentes a radiación ultravioleta, lo que favorece su fotosíntesis. Pueden permanecer en estado latente durante años, hasta que las lluvias las rehidratan. Son especies primitivas que se han mantenido desde hace millones de años, su capacidad de supervivencia es única, existiendo desde zonas semidesérticas hasta en glaciares antárticos. En asociación

con hongos forma líquenes. En el mundo hay muchas especies, alrededor de 70 clasificadas. (Científica, 2014)

En la región alto andina peruana se le conoce con el nombre de “Cushuro”, “murmunta”, “Ilullucha”, “crespito” etc. Forman colonias gelatinosas esféricas que flotan libremente por el borde de superficies de lagos, lagunas y ambientes muy húmedos alto andino como en los departamentos de: Ancash, Junín, Cajamarca, Huánuco, Cusco y Puno (Gonzales, 2006)

a) Variedades :

- 1) Nostoc sphaericum.
- 2) Nostoc commune.
- 3) Nostoc pruniforme.
- 4) Nostoc parmelioides.
- 5) Nostoc verrucosum.

Fuente : (Aldave, 1989).

b) Clasificación Taxonómica :

- 1) DIVISIÓN : Cianobacteria : Cyanophyta
- 2) CLASE : Cyanophyceae
- 3) ORDEN : Nos tócales
- 4) FAMILIA : Nostocaceae
- 5) GÉNERO : Nostoc
- 6) ESPECIES : Nostoc sphaericum

(Jurado, y otros, 2014)

2.4 Definición de términos utilizados

- a) Secado.-** El secado es un método de conservación de alimentos y/u otro material consistente en extraer el agua de estos, lo que inhibe la proliferación de microorganismos y dificulta la putrefacción

Tabla N° 4, Análisis químico bromatológico (seco)

COMPISICIÓN QUÍMICA NUTRICIONAL PROMEDIO	%
Proteína	30 – 35
Carbohidratos	50
Lípidos	17
Polisacáridos :	
Ácido galacturónico y Acido glucónico	30
Ramosa	25
Galactosa y glucosa	35

(Gonzales, 2006)

Tabla N° 5, Análisis de metales en los polisacáridos de Nostoc expresados en ppm (N.D. no detectables)

METALES	NOSTOC SPHAERICUM	NOSTOC COMMUNE
Plomo	101,64	N.D.
Cromo	N.D.	N.D.
Cadmio	N.D.	N.D.
Mercurio	18,80	6,71
Arsénico	N.D.	N.D.
Calcio	13 659,55	20 879,53
Hierro	100,09	549,07
Zinc	87,42	246,15
Potasio	24467,88	3 299,58
Magnesio	12010,66	3 817,27
Cobre	96,35	N.D.

(Jurado, y otros, 2014)

- b) Discontinuo.-** Se refiere al proceso no consecutivo o sea batch
- c) Operación.-** Referente al proceso de secado es la acción que se toma para realizar el secado
- d) Secadores.-** Equipos donde se realiza el secado
- e) Humedad.-** Es la relación de la cantidad de agua que contiene un cuerpo y el peso del solido con agua

- f) **Humedad libre.**- Relación de la cantidad de agua contenido en un cuerpo húmedo con respecto al cuerpo de solido seco
- g) **Solido seco.**- Solido que se eliminó casi en su totalidad el contenido de agua
- h) **Velocidad de secado.**- Cantidad de agua que elimina un cuerpo húmedo en un lapso de tiempo
- i) **Algas.**- Grupo de plantas talofitas, unicelulares o pluricelulares, que viven preferentemente en el agua, tanto dulce como marina, y que en general están provistas de clorofila
- j) **Taxonomía.**- Ciencia que trata de los principios, métodos y fines de la clasificación, generalmente científica; se aplica, en especial, dentro de la biología para la ordenación jerarquizada y sistemática de los grupos de animales y de vegetales.
- k) **Cianobacterias.**- Son células independientes o como colonias pluricelulares filamentosas. Comparten con otras bacterias muchas de sus características como la presencia de DNA de doble helicoide y de ribosomas libres.

III. VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Definición de las variables de Investigación

Por su naturaleza, todas las variables son del tipo cuantitativas. Por su dependencia Y es dependiente y las variables X_1 , X_2 , X_3 son independientes.

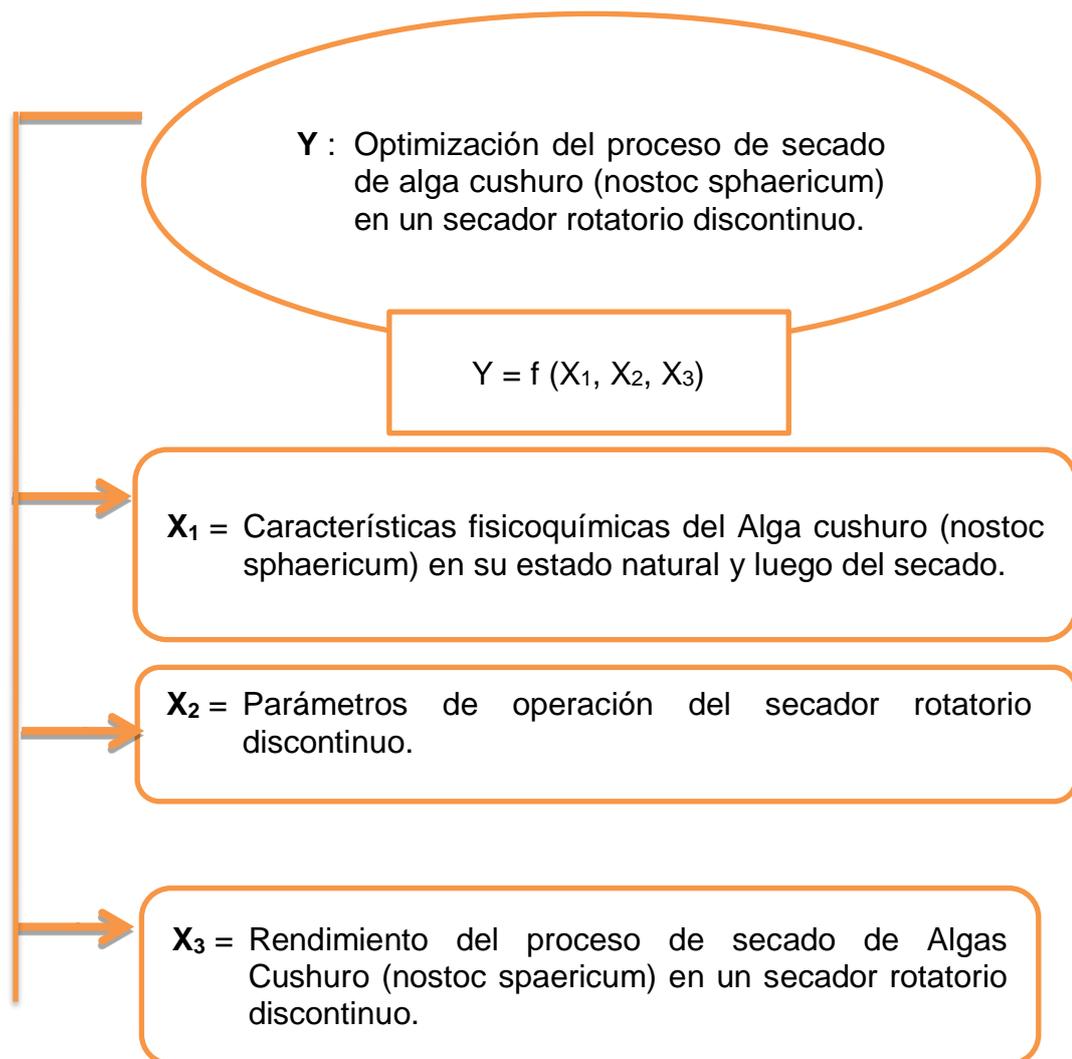


Figura N° 8, Definición de variables

3.2 Operacionalización de Variables

Tabla N° 6, Operacionalización de variables

Variable Dependiente	Dimensiones	Indicadores	Método
Y = Optimización del proceso de secado de alga cushuro (nostoc sphaericum) en un secador rotatorio discontinuo.	Parámetros físicos	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura óptima del secado °C - Tiempo óptimo del secado Seg - Humedad % - Rotación del secador - Flujo de aire m³/s 	Experimental
Variables Independientes	Dimensiones	Indicadores	Método
X ₁ = Características fisicoquímicas del Alga cushuro (nostoc sphaericum) en su estado natural y luego del secado.	Características fisicoquímicas	<ul style="list-style-type: none"> - g/cm³ - Humedad % 	Bibliografía Experimental Análisis de laboratorio
X ₂ = Parámetros de operación del secador rotatorio discontinuo.	Parámetros físicos	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura - Tiempo Seg - Humedad % - Def m²/s - Rotación del Secador. - flujo de aire m³/s 	Experimental
X ₃ = Rendimiento del proceso de secado de Algas Cushuro (Nostoc Spaericum) en un secador rotatorio discontinuo.	Parámetros de secado	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura óptima de secado °C - Tiempo óptimo de secado S.eg - Humedad % - Def m²/s - Rotación del secador. - Flujo de aire m³/s - % de remoción 	Experimental Superficie de Respuestas

3.3 Hipótesis general e Hipótesis específicas

3.3.1 Hipótesis general

La optimización del proceso de secado del Alga Cushuro (Nostoc Sphaericum) es viable utilizando un secador rotatorio discontinuo.

3.3.2 Hipótesis específicas

- 1) La caracterización del alga Cushuro (Nostoc Sphaericum), para el proceso de secado del alga Cushuro en un secador rotatorio discontinua se puede realizar mediante análisis fisicoquímicos.

- 2) Los parámetros de operación del secador rotatorio discontinuo. Para el proceso de secado del alga Cushuro (*Nostoc Sphaericum*), se debe determinar mediante la selección de los parámetros más relevantes.
- 3) El rendimiento del proceso de secado de Algas Cushuro (*Nostoc Sphaericum*) en un secador rotatorio discontinuo. Se debe determinar mediante el análisis de superficie de respuesta o diseño experimental.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Tipo de Investigación

- a)** Por su finalidad la investigación es del tipo aplicada, porque los resultados obtenidos servirán para aplicarlos a la práctica.
- b)** Por su diseño interpretativo es experimental, dado a que la investigación requiere de la observación, registro y análisis de las variables y datos que arroja las corridas en el secador.
- c)** Por el énfasis en la naturaleza de los datos manejados la investigación es cualitativa y cuantitativa, porque las variables presentan carácter cualitativo por análisis de laboratorio y cuantitativa por datos recolectados en la corrida en el secador.
- d)** Por el nivel de estudio es del tipo aplicada, porque busca establecer propuestas para aplicarlos a la práctica como alternativas nutricionales del alga seca, además una opción de optimizar el secado del alga dentro del secador rotatorio discontinuo. Para su posterior industrialización
- e)** Por el ámbito de desarrollo es de laboratorio, porque la investigación se realizará a nivel de laboratorio.

4.2 Diseño de Investigación

El presente trabajo se desarrolló en tres etapas, la cual se muestra a continuación :

PRIMERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN

Identificar "x₁"

Método :

- Revisión de material bibliográfico.
- Revisión de publicaciones sobre alga cushuro (nostoc sphaericum)

SEGUNDA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN

Identificar "x₂"

Método :

- Ensayos de laboratorio
- Revisando estándares de secado.
- Verificando %humedad teórico, experimental.

TERCERA ETAPA DE LA INVESTIGACIÓN

Conocer "y"

Método

- Pruebas de ensayo a nivel de laboratorio relacionando la variable x₁ y la variable x₂

**TESIS
PLANTEADA**

- a) **Primera etapa de la investigación.**- En la primera etapa de la investigación se recurrirá a la revisión de la teoría vinculada a la variable de investigación. Que en este caso será la variable x_1 , con el propósito de identificar algunos argumentos científicos, antecedentes de estudio y bases científicas para el secado del alga cushuro (nostoc sphaericum)
- b) **Segunda etapa de la investigación.**- En la segunda etapa de la investigación se realizará ensayos de laboratorio. En esta etapa la variable será x_2 , con el propósito de identificar las características fisicoquímicas, %humedad del alga cushuro (nostoc sphaericum), flujos de aire y temperatura.
- c) **Tercera etapa de la investigación.**- En esta tercera etapa se analizará el secado de las algas cushuro (nostoc sphaericum) utilizando el secador rotatorio discontinuo. Mediante ensayos de laboratorio se obtendrá un secado de alga cushuro (nostoc sphaericum) Óptimo. Para ello se procederá a la toma de % humedad, % solidos secos a través del tiempo.

4.2.1 Diseño Experimental

Ver **Figura N° 9 (Ver pag. N° 49)**

4.3 Población y muestra

La población para el estudio del secado de alga cushuro (nostoc sphaericum) está representado por 10 Kg de alga cushuro (nostoc sphaericum), tomando 2,5 Kg como la porción de muestra utilizada para las corridas para el secado de alga cushuro (nostoc sphaericum) en el secador rotatorio discontinuo.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1 Lugar de ejecución

El secado del Alga Cushuro (nostoc sphaericum) en un secador rotatorio discontinuo se realizó en el laboratorio de investigación desarrollo e innovación Mario Molina Pasquel, de la Facultad De Ingeniería Química en la Universidad Nacional De Callao.

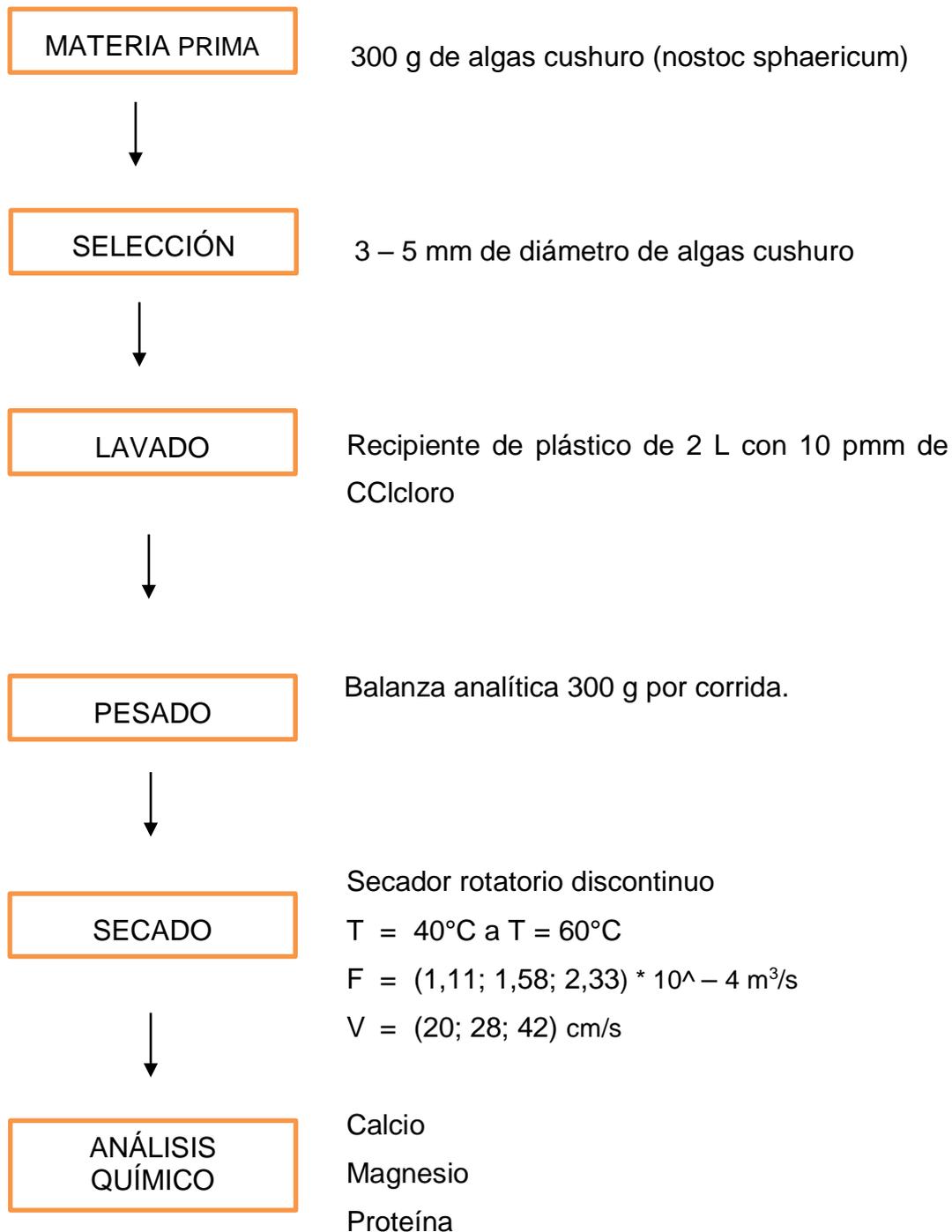


Figura N° 9, Diagrama de flujo para el secado de algas Cushuro (Nostoc Sphaericum)

4.4.2 Materiales, reactivos y equipos

a) Equipos :

- 1) Balanza de mano al 0,01 g de precisión
- 2) Balanza analítica
- 3) Estufa, Temperatura máxima 250°C, sensibilidad 1°C
- 4) Secador rotatorio discontinuo
- 5) Sensor de temperatura Data – Q
- 6) Termómetro digital rangos – 50°C a 300°C
- 7) Vernier 0,02 mm de precisión
- 8) Computadora

b) Materiales :

- 1) Desecador
- 2) Recipientes herméticos de vidrio
- 3) Hoja milimetrada
- 4) Mallas galvanizadas de 5 mm de espesor de rendija
- 5) Pinzas de metal
- 6) Pipetas graduadas
- 7) Placa Petri pírex

c) Insumos :

- 1) Alga cushuro (nostoc sphaericum)

4.5 Procedimiento de Recolección de datos

a) Proceso para el secado de alga cushuro (nostoc sphaericum).-

Las algas cushuro (nostoc sphaericum) fueron sometidos a varias etapas las cuales serán mencionadas a continuación :

- a) **Obtención de la materia prima.-** La materia prima será obtenida del centro terminal pesqueros Villa María del triunfo. Donde el Alga cushuro (nostoc sphaericum) es fresca proveniente de la provincia Huancayo (**Ver Figura N° 9 pag. N° 49**)
- b) **Selección.-** Para cada corrida utilizamos 500 g de algas cushuro (nostoc sphaericum), porque por su forma esférica y diámetros variables se selecciona las algas de 3mm-5mm milímetros de

diámetro para un secado homogéneo. una vez seleccionado nos quedamos con aproximadamente 300 g de muestra de algas cushuro (nostoc sphaericum) por corrida (**Ver Figura N° 10**)

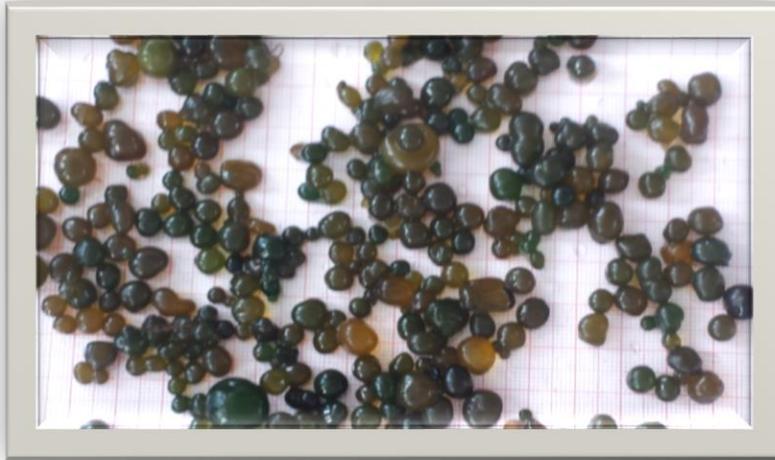


Figura N° 10, Materia prima, Laboratorio de investigación e innovación



Figura N° 11, Selección de algas, Laboratorio de investigación e innovación

- c) Lavado.-** Se procede a lavar con 2 L de agua a las cuales le añadimos 10 ppm de cloro. A las cuales le añadimos los 500 g de algas cushuro (nostoc sphaericum) procedemos a remover

cuidadosamente para poder eliminar cualquier material extraño que puedan afectar en el proceso de secado del alga cushuro (nostoc sphaericum) **(Ver Figura N° 11 pag. N° 51)**



Figura N° 12, Lavado de algas, Laboratorio de investigación e innovación

- d) Pesado.-** Se pesó 300 g de muestra para cada corrida de las cuales se subdividió en 5 mallas metálicas conteniendo cada una 60g aproximadamente de algas cushuro (nostoc sphaericum). utilizando una balanza analítica de capacidad de 1 Kg **(Ver Figura N° 12)**

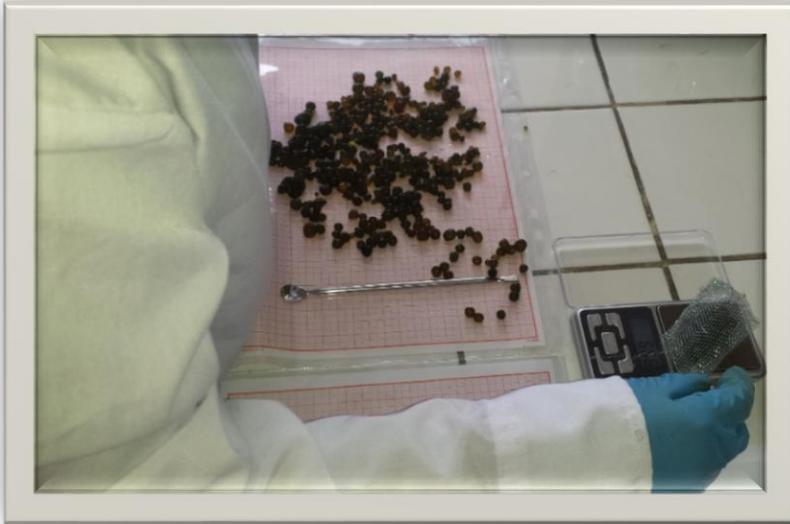


Figura N° 13, Pesado de algas Cushuros, Laboratorio de investigación e innovación

- e) **Proceso de secado.**- El equipo utilizado es un secador rotatorio discontinuo elaborado de vidrio Pírex con medidas de longitud y diámetro aproximadamente de 60 cm con 12 cm respectivamente donde se colocará la muestra de alga cushuro (*nostoc sphaericum*) a temperaturas de 40°C y 60°C , con velocidades de aire caliente de 20, 28 y 42 cm/s y velocidades de rotación del secador rotatorio de 18 rpm a 45 rpm hasta una humedad de 2% a 3% con una variación de tiempo de 30, 60, 90 y 150 minutos **(Ver Figura N° 13)**
- f) **Obtención de resultados.**- Con los datos obtenidos se proyectarán a graficas donde se verá la eficiencia del secado, dependiendo mucho de las variables utilizadas del equipo. Que son el flujo de aire, la velocidad de rotación, el tiempo que se utilizó para el secado y la temperatura interna dentro del secador rotatorio **(Ver Tabla N° 7 pag. N° 55)**



Figura N° 14, Ingreso de muestras de algas Nostoc en secador rotatorio discontinuo, Laboratorio de investigación e innovación



Figura N° 15, Secado de algas Nostoc en secador rotatorio discontinuo, Laboratorio de investigación e innovación

Tabla N° 7, Registro de datos durante el proceso de secado del alga (temperatura y velocidad del aire) entre el tiempo (min) y su respectivo peso (g)

Tiempo (min)	Muestra total (g)
0	W1
1	W2
2	W3
3	W4
4	W5
5	W6
6	W7
t_n	W_n

Propio

Donde :

t_n : Tiempo (min) hasta llegar a una humedad de equilibrio

W_n : Masa (g)



Figura N° 18, Peso de muestras de algas secas a determinados tiempos, Laboratorio de investigación e innovación



Figura N° 19, Algas Cushuro (*nostoc sphaericum*) en su estado seco, Laboratorio de investigación e innovación

V. RESULTADOS

5.1 Caracterización fisicoquímica del Alga cushuro (nostoc sphaericum) seca.

Se realizaron análisis químico bromatológico para muestra de algas cushuro (nostoc sphaericum) estado húmedo como se muestra en la **Tabla N° 7 (Ver pag. N° 55)** y en estado seco también se realizó análisis metálicos utilizando espectrofotómetro de adsorción atómica para identificar los metales presentes en la muestra seca de algas y conocer de este modo el porcentaje de proteína y metales en el contenido de las muestras. Para ello se utilizó 2,5 g de muestra seca.

Los cuales se mandó a analizar a laboratorio Labicer (Análisis Químico, Consultoría e Investigación) emitiéndonos resultados tal como se muestra en la **Tabla N° 8 y Tabla N° 9 (Ver pag. N° 58)**



Figura N° 20, Fotografía del espectrofotómetro de absorción atómica, Labicer (Análisis Químico, Consultoría E Investig)

Tabla N° 8, *Análisis químico bromatológico de algas (nostoc sphaericum) para muestras en base húmeda*

ANÁLISIS QUÍMICO BROMATOLÓGICO (BASE HUMEDA)	Nostoc Sphaericum ppm
humedad	97,59%
proteína	1,15%
ceniza	0,12%
fibra	0,01%
grasa	0,30%
carbohidratos	0,83%
calcio	745 ppm
fósforo	25 ppm

Labicer (Análisis Químico, Consultoría E Investig)

Tabla N° 9, *Análisis de metales en los polisacáridos de algas (nostoc sphaericum), expresados en ppm para muestra seca*

METALES	Nostoc Sphaericum ppm
Calcio	145340,8
Hierro	100,09
Zinc	87,42
Potasio	24467,88
Magnesio	15355,20
Cobre	96,35

Labicer (Análisis Químico, Consultoría E Investig)

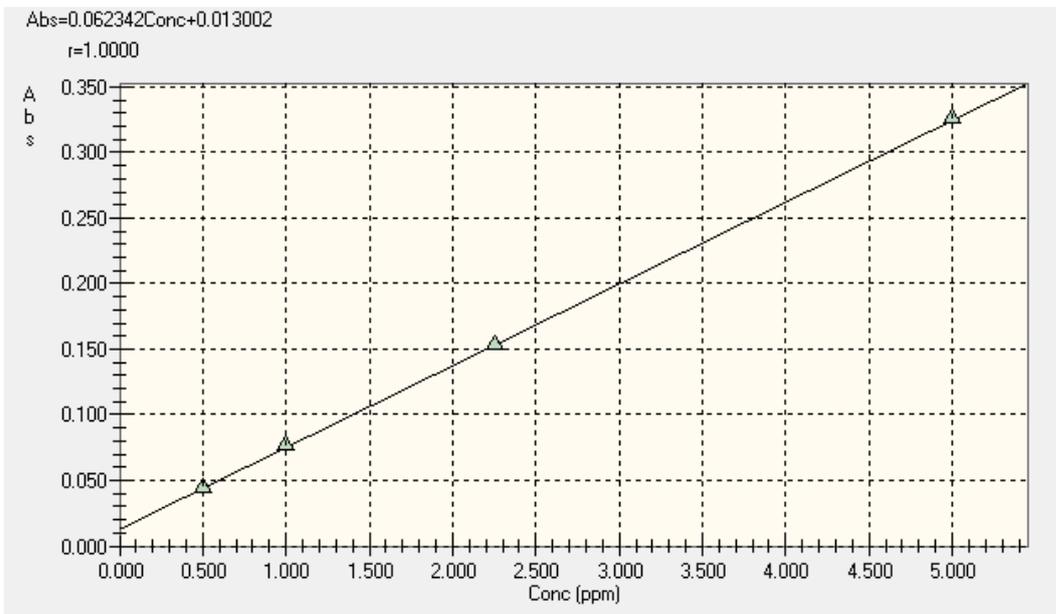


Figura N° 21, Curva de calibración para obtención de calcio, Labicer (Análisis Químico, Consultoría E Investig)



Figura N° 22, Curva de calibración para obtención de magnesio, Labicer (Análisis Químico, Consultoría E Investig)

Tabla N° 10, Análisis químico bromatológico de algas (*nostoc sphaericum*) en % para muestra seca

ANÁLISIS QUÍMICO BROMATOLÓGICO (SECO)	%
Proteína	30,02
lípidos	2,30
ceniza	7,30

Labicer (Análisis Químico, Consultoría E Investig)

5.1.1 Evaluación del proceso de secado y análisis de la humedad obtenido de datos experimentales

Mediante los gráficos de secado corridas con las respectivas variables de estudio a temperaturas de entre 40°C, 60°C, con velocidades de aire caliente de 20, 28 y 42 cm/s y velocidades de rotación del secador rotatorio discontinuo de 18 rpm a 45 rpm, se obtuvieron las siguientes tablas y gráficas obtenidas con datos experimentales.

Donde “F” se refiere al flujo de aire caliente que ingresa al secador rotatorio discontinuo obtenidos aplicando la ecuación de placas de orificio para calcular la velocidad de aire caliente ingresante al secador rotario discontinuo

$$V_B = \frac{C_o}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_B}{D_A}\right)^4}} * \sqrt{\frac{2(P_A - P_B)}{\rho}} \quad m/s \quad (12)$$

$$F = V_B * \pi * R_B^2 \quad m^3/s \quad (13)$$

$$C_o = 0.7835 \left(\frac{D_B}{D_A}\right)^2 - 0.1298 \left(\frac{D_B}{D_A}\right) + 0.9951 \quad (14)$$

- a) F1 : 1,119 x 10⁻⁴ m³/s a velocidad de 20 cm/s
- b) F2 : 1,582 x 10⁻⁴ m³/s a velocidad de 28 cm/s
- c) F3 : 2,328 x 10⁻⁴ m³/s a velocidad de 42 cm/s

5.1.2 Variación de la humedad del secado de algas cushuro (nostoc sphaericum) para temperatura constante de 40°C y variando flujo de aire caliente

Al realizar el secado de algas cushuro (nostoc sphaericum) con nuestra primera variable de estudio temperatura constante de 40°C y variando flujos de aire caliente que ingresa al secador rotatorio discontinuo y con variación de tiempo de secado como se muestra en la **Tabla N° 10 (Ver pag. N° 60)** Para las cuales se obtuvo una variación considerable en la humedad a partir de 120 y 150 minutos con flujo de aire $F2 = 1,582 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ dándonos humedades de 5,644% y 4,591% Respectivamente.

Tabla N° 11, Variación de la humedad variando flujos de aire con temperatura constante de 40°C

TIEMPO MINUTOS	40°C		
	F1	F2	F3
0	98,420%	98,420%	98,420%
30	80,722%	77,493%	85,243%
60	41,759%	39,671%	37,688%
90	16,713%	12,569%	10,055%
120	7,028%	5,644%	5,531%
150	5,154%	4,591%	4,500%

Elaboración propia

5.1.3 Variación de la humedad del secado de algas cushuro (nostoc sphaericum) para temperatura constante de 60°C variando flujo de aire caliente

Al realizar el secado de algas cushuro (nostoc sphaericum) con nuestra segunda variable de estudio temperatura constante de 60°C y variando flujos de aire caliente que ingresa al secador rotatorio discontinuo y con variación de tiempo de secado de 0 a 150 minutos como se muestra en la **Tabla N° 11** Por el cual se obtuvo una variación considerable en la humedad a partir de 90,120 y 150 minutos con flujo de

aire F3 = $2,328 \times 10^{-4}$ m³/s dándonos humedades de 5,428%, 4,060% y 2,995% respectivamente.

Tabla N° 12, Variación de la humedad variando flujos de aire con temperatura constante de 60°C

TIEMPO MINUTOS	60°C		
	F1	F2	F3
0	98,420%	98,420%	98,420%
30	64,148%	60,941%	52,581%
60	29,678%	26,117%	24,326%
90	6,242%	5,680%	5,428%
120	5,279%	4,223%	4,060%
150	3,834%	3,757%	2,995%

Propia

5.1.4 Variación de la humedad del secado de algas cushuro (nostoc sphaericum) para temperatura constante de 40°C variando las revoluciones por minutos del secador rotatorio discontinuo

Al realizar el secado de algas cushuro (nostoc sphaericum) con nuestra tercera variable de estudio temperatura constante de 40°C variando las revoluciones por minutos del secador rotatorio discontinuo y con variación de tiempo de secado de 0 a 150 minutos como se muestra en la **Tabla N° 12** Por el cual se obtuvo una variación considerable en la humedad a partir de 120 y 150 minutos con 45 rpm del secador rotatorio discontinuo dándonos humedades de 3,691% y 2,674% respectivamente.

5.1.1 Variación de la humedad del secado de algas cushuro (nostoc sphaericum) para temperatura constante de 60°C variando las revoluciones por minutos del secador rotatorio discontinuo

Al realizar el secado de algas cushuro (nostoc sphaericum) con nuestra cuarta variable de estudio temperatura constante de 60°C variando las revoluciones por minutos del secador rotatorio discontinuo y con variación de tiempo de secado de 0 a 150 minutos como se muestra

en la **Tabla N° 13** Para las cuales se obtuvo una variación considerable en la humedad a partir de 90 minutos con 45 rpm del secador rotatorio discontinuo dándonos humedades de 1,913% para el resto de tiempo se obtiene humedad constante.

Tabla N° 13, *Variación de la humedad a distintas velocidades de rotación a 40°C*

TIEMPO MINUTOS	40°C		
	18 rpm	30 rpm	45 rpm
0	98,420%	98,420%	98,420%
30	50,077%	73,384%	58,423%
60	30,015%	40,153%	25,879%
90	14,934%	13,928%	6,785%
120	4,440%	4,685%	3,691%
150	5,050%	4,685%	2,674%

Propia

5.2 Evaluación de humedades obtenidas a determinadas variables de estudio

Con los datos experimentales obtenidos para cada una de nuestras variables de estudios que son tiempo, temperatura y flujo de aire. Obtendremos un modelo matemático para calcular la humedad, para ello realizaremos los ajustes matemáticos correspondiente. Para obtener los parámetros óptimos de secado de algas cushuro (*nostoc sphaericum*)

Tabla N° 14, *Variación de la humedad a distintas velocidades de rotación a 60°C*

TIEMPO MINUTOS	60°C		
	18 rpm	30 rpm	45 rpm
0	98,420%	98,420%	98,420%
30	73,384%	50,077%	43,215%
60	40,153%	30,015%	7,839%
90	13,928%	12,445%	1,913%
120	4,685%	1,785%	1,913%

Propia

Para cada flujo de aire caliente obtenidos experimentalmente obtendremos resultados de humedad para el secado de algas cushuro (*Nostoc sphaericum*). Como se muestra en la **Tabla N° 14 (Ver pag. N° 63)**

Tabla N° 15, Variables en estudio (tiempo, flujo y temperatura)

TIEMPO MINUTOS	40°C			60°C		
	F1	F2	F3	F1	F2	F3
0	0,984	0,984	0,984	0,984	0,984	0,984
30	0,807	0,775	0,852	0,641	0,609	0,526
60	0,418	0,397	0,377	0,297	0,261	0,243
90	0,167	0,126	0,101	0,062	0,057	0,054
120	0,070	0,056	0,055	0,053	0,042	0,041
150	0,052	0,046	0,045	0,038	0,038	0,030

Propia

5.2.1 Ajustes matemáticos para obtener ecuación que determine la humedad con respecto al tiempo y flujo de aire

Con los datos experimentales obtenidos realizaremos ajustes correspondientes como se muestra en la **Tabla N° 15** para determinar ecuación matemática para calcular la humedad con respecto al tiempo y flujo de aire caliente que ingresa al secador rotatorio discontinuo.

Tabla N° 16, Ajuste del modelo matemático de la humedad para el secado de alga Cushuro (*Nostoc Sphaericum*)

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	R^2 ajustado
Intercepción	0,891468756	0,090851705	9,81235035	2,5961E – 11	0,848851046
Variable X 1	– 0,006569999	0,000466425	– 14,0858763	1,6364E – 15	
Variable X 2	– 184,2969741	479,4660514	– 0,38437961	0,70316302	

Propia obtenido de datos experimentales

5.2.2 Modelo matemático para cálculo de humedad con respecto al tiempo y flujo de aire

$$Hu = 0,891468756 - 0,00656999 \times t - 184,296974 \times f \quad (15)$$

5.2.3 Evaluación de humedad con respecto al flujo de aire y temperatura constante

A temperatura constante de 60°C, variando flujo de aire caliente del secador rotatorio discontinuo de $F1 = 1,119 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, $F3 = 2,328 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ y con variación de tiempo de 0 a 120 minutos se observa una ligera variación de la humedad como se muestra en el **Gráfico N° 1 (Ver pag. N° 65)**

5.2.4 Humedades obtenidas a partir de evaluaciones en ecuación de humedad con respecto al tiempo y flujo de aire caliente

Evaluando en la **Ecuación (12 Ver pag. N° 60)** del modelo matemático de humedad con respecto al tiempo y flujo de aire caliente se obtienen Humedades como se muestra en la **Tabla N° 16 (Ver pag. N° 64)** para el secado de algas cushuro (*nostoc sphaericum*)

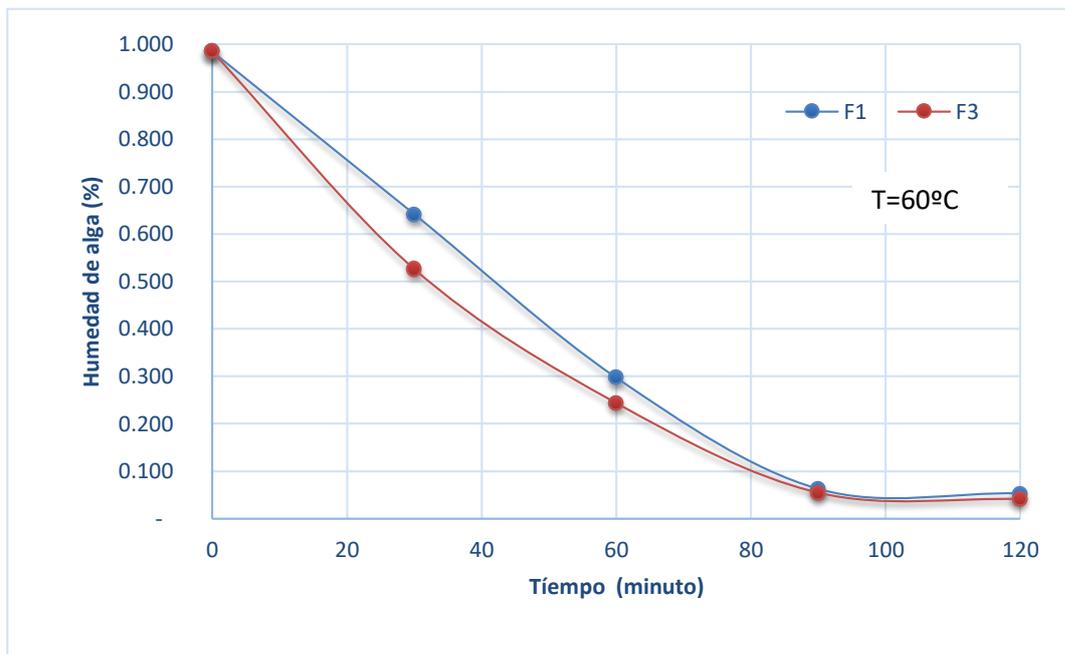


Gráfico N° 1, Variación de humedad con respecto al flujo de aire y temperatura constante. Propia obtenido de datos experimentales

Tabla N° 17, Resultados obtenidos al evaluar

FLUJO : m ³ /s	TIEMPO : minutos				
	0	30	60	90	120
0,00010	0,87304	0,67594	0,47884	0,28174	0,08464
0,00015	0,86382	0,66672	0,46962	0,27252	0,07542
0,00020	0,85461	0,65751	0,46041	0,26331	0,06621
0,00025	0,84539	0,64829	0,45119	0,25409	0,05699
0,00030	0,83618	0,63908	0,44198	0,24488	0,04778

Propia obtenido de datos experimentales

5.3 Ajustes matemáticos para obtener ecuación para determine humedad con respecto al tiempo y temperatura

Con los datos experimentales obtenidos como se muestra en la **Tabla N° 14 (Ver pag. N° 63)** realizaremos ajustes correspondientes como se muestra en la **Tabla N° 17** para determinar una ecuación

matemática para calcular la humedad con respecto al tiempo y temperatura.

Tabla N° 18, *Ajuste del modelo matemático para el secado de alga Cushuro (Nostoc Sphaericum) óptimo*

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	R^2 ajustado
Intercepción	1,048178345	0,122241681	8,57463947	6,5623E – 10	0,859465352
Variable X 1	– 0,006569999	0,000449749	– 14,6081338	5,7836E – 16	
Variable X 2	– 0,003752038	0,00230428	– 1,62829113	0,11297447	

Propia obtenido de datos experimentales

5.3.1 Modelo matemático para cálculo de humedad con respecto al tiempo y la temperatura

Realizando los ajustes correspondientes con datos obtenidos experimentalmente como se muestra en la **Tabla N° 14 (Ver pag. N° 63)**, se obtiene la ecuación matemática para determinar la humedad con respecto a la temperatura y el tiempo. Como se muestra en la **Ecuación 13 (Ver pag. N° 60)**

Ecuación para el cálculo de humedad con respecto al tiempo y la temperatura de aire :

$$Hu = 1,04817835 - 0,00657 * t - 0,003752 * T \quad (16)$$

5.3.2 Evaluación de la gráfica de variación de humedad

A flujo de aire constante $F2 = 1,582 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ variando temperatura de 40°C a 60°C y variación de tiempo de 0 a 120 minutos se observa una variación en la humedad como se muestra en el **Gráfico N° 2 (Ver pag. N° 68)**

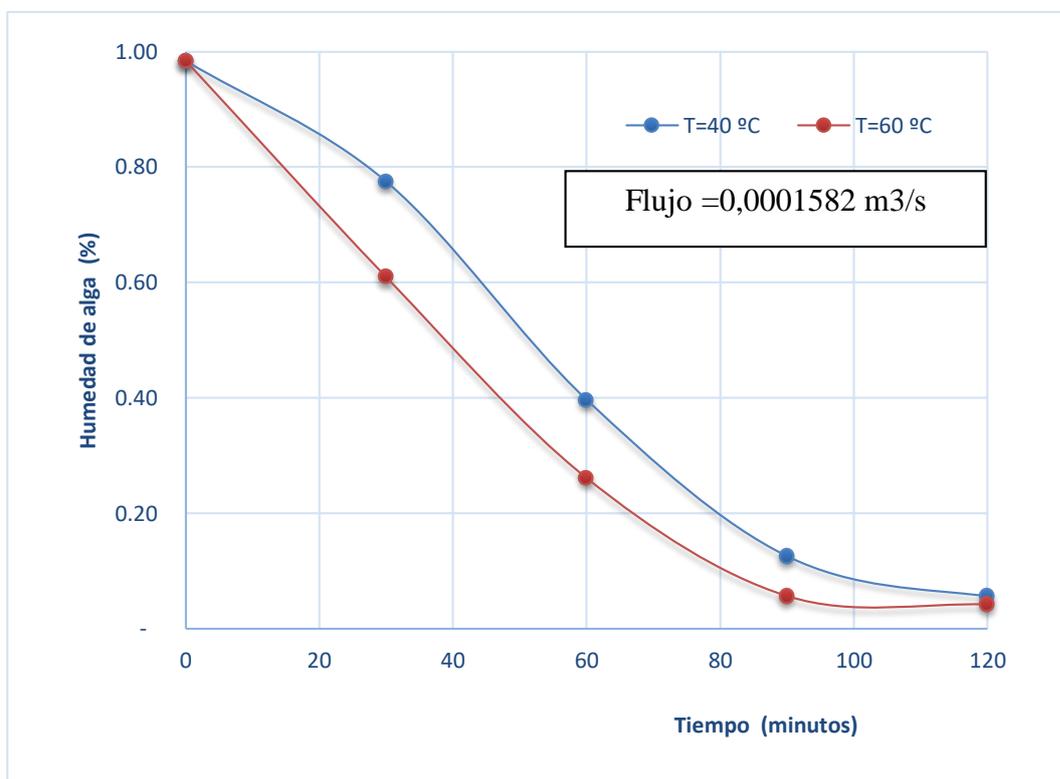


Gráfico N° 2, Variación de humedad con respecto a la temperatura y flujo de aire constante, Propia obtenido de datos experimentales

5.3.3 Humedades obtenidas a partir de evaluaciones en ecuación de humedad con respecto al tiempo la temperatura

Evaluando en la **Ecuación (13 Ver pag. N° 60)** del modelo matemático de humedad con respecto al tiempo y la temperatura se obtienen Humedades como se muestra en la **Tabla N° 19 (Ver pag. N° 67)** para el secado de algas cushuro (*nostoc sphaericum*)

Tabla N° 19, Resultados obtenidos de datos experimentales

TEMPERATURA °C	TIEMPO : minutos				
	0	30	60	90	120
40	0,89810	0,70100	0,50390	0,30680	0,10970
45	0,87934	0,68224	0,48514	0,28804	0,09094
50	0,86058	0,66348	0,46638	0,26928	0,07218
55	0,84182	0,64472	0,44762	0,25052	0,05342
60	0,82306	0,62596	0,42886	0,23176	0,03466

Propia obtenido de datos experimentales

5.4 Evaluación de humedades obtenidos a determinados tiempo temperatura y revoluciones por minutos

Con los datos experimentales obtenidos para cada una de nuestras variables de estudios tiempo, temperatura y revoluciones por minutos del secador rotatorio discontinuo Obtendremos un modelo matemático para calcular la humedad para ello realizaremos los ajustes matemáticos correspondiente. Para obtener los parámetros óptimos de secado de algas cushuro (nostoc sphaericum)

Para 18 rpm, 30 rpm y 45 rpm obtendremos resultados de humedad para el secado de algas cushuro (nostoc sphaericum). Como se muestra en la **Tabla N° 19**

5.4.1 Ajustes matemáticos para obtener ecuación determine humedad con respecto al tiempo y las revoluciones por minutos

Con los datos experimentales obtenidos como se muestra en la **Tabla N° 19** realizaremos ajustes correspondientes como se muestra en la **Tabla N° 20 (Ver pag. N° 70)** para determinar una ecuación matemática que calcule la humedad con respecto al tiempo y las revoluciones por minutos del secador rotatorio discontinuo.

Tabla N° 20, Variables en estudio (tiempo, temperatura y revoluciones por minuto del secador rotatorio)

TIEMPO MINUTOS	40°C			60°C		
	18 rpm	30 rpm	45 rpm	18 rpm	30 rpm	45 rpm
0	0,984	0,984	0,984	0,984	0,984	0,984
30	0,501	0,734	0,584	0,734	0,501	0,432
60	0,300	0,402	0,259	0,402	0,300	0,078
90	0,149	0,139	0,068	0,139	0,124	0,019
120	0,044	0,047	0,037	0,047	0,038	0,019
150	0,051	0,047	0,027	0,047	0,018	0,019

Propia obtenido de datos experimentales

Tabla N° 21, Ajuste del modelo matemático para el secado de alga Cushuro (Nostoc Sphaericum) óptimo

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	R^2 ajustado
Intercepción	0,893241481	0,082412995	10,8385999	2,0751E – 12	0,825577543
Variable X 1	– 0,006245902	0,000484554	– 12,890005	1,9734E – 14	
Variable X 2	– 0,002761952	0,00224764	– 1,22882311	0,22782925	

Propia obtenido de datos experimentales

5.4.2 Modelo matemático para cálculo de humedad con respecto al tiempo y revoluciones por minutos

Realizando los ajustes correspondientes con datos obtenidos experimentalmente se obtiene la ecuación matemática para determinar la humedad con respecto al tiempo y las revoluciones por minutos del secador rotatorio discontinuo. Como se muestra en la **Ecuación (14 Ver pag. N° 60)**

Modelo para cálculo de humedad con respecto al tiempo y tiempo de revoluciones por minuto del secador rotario discontinuo :

$$Hu = 0,89324 - 0,006246 \times t - 0,0022476 \times w \quad (17)$$

5.4.3 Evaluación de la gráfica de variación de humedad

A temperatura constante 60°C variando las revoluciones por minuto del secador rotatorio discontinuo entre 18 rpm y 45 rpm y variado el tiempo de secado de 0 a 120 minutos se observa una mayor variación en la humedad como se muestra en el **Gráfico N° 3**

Para demostrar la mayor variación de la humedad con las variables mencionadas líneas arriba se realiza otro gráfico.

A revoluciones por minuto del secador rotatorio discontinuo de 30 rpm constante. Variado el tiempo de secado de 0 a 120 minutos y variando la temperatura de secado de 40°C a 60°C se observa una menor variación en la humedad como se muestra en el **Gráfico N° 4 (Ver pag. N° 72)**

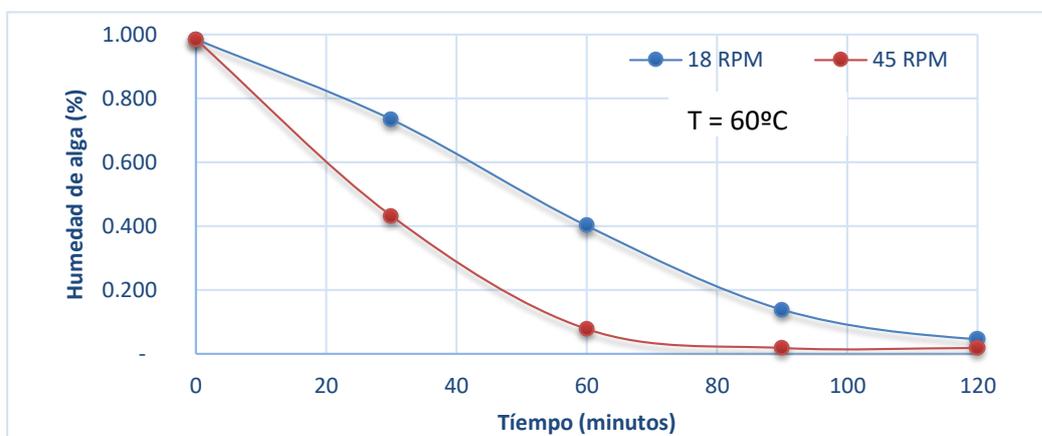


Gráfico N° 3, Variación de humedad con respecto a las revoluciones por minuto del secador rotatorio discontinuo y temperatura constante, Propia obtenido de datos experimentales

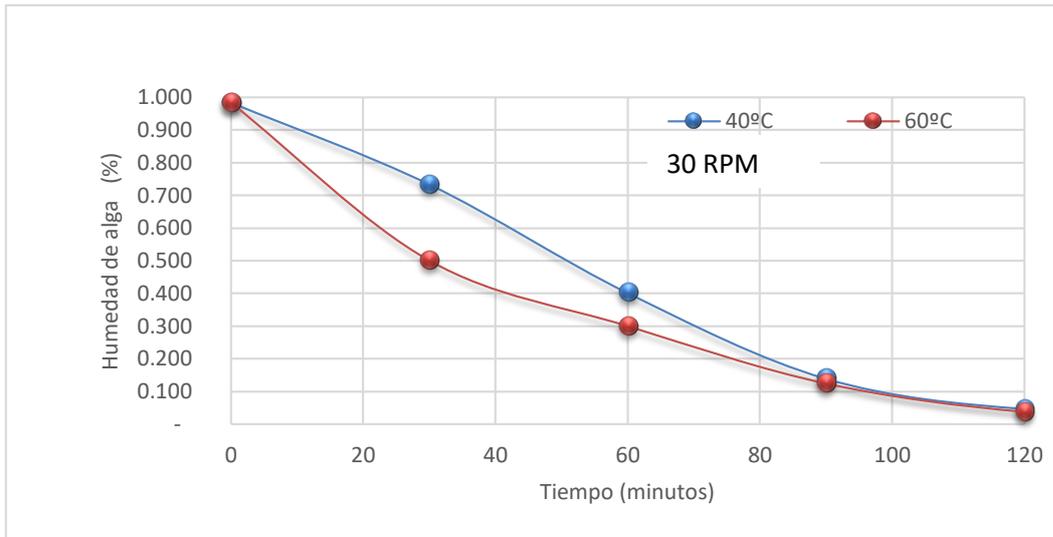


Gráfico N° 4, Variación de humedad con respecto a la temperatura y las revoluciones por minuto del secador rotatorio discontinuo constante, Propia obtenido de datos experimentales

5.4.4 Humedades obtenidas a partir de evaluaciones en ecuación de humedad con respecto al tiempo y rpm

Evaluando en la **Ecuación (14 Ver pag. N° 60)** del modelo matemático de humedad con respecto al tiempo y las revoluciones por minutos del secador rotatorio discontinuo se obtienen Humedades como se muestra en la **Tabla N° 22** para el secado de algas cushuro (*nostoc sphaericum*)

Tabla N° 22, Resultados obtenidos en la evolución

Rpm	TIEMPO (min)				
	0	30	60	90	120
18	0,84352634	0,65614927	0,46877221	0,28139514	0,09401807
28	0,81590681	0,62852975	0,44115268	0,25377561	0,06639855
38	0,78828729	0,60091022	0,41353316	0,22615609	0,03877902
48	0,76066776	0,5732907	0,38591363	0,19853656	0,0111595

Propia obtenido de datos experimentales

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación de Hipótesis con los resultados

6.1.1 Hipótesis General

Se demuestra La optimización del proceso de secado del Alga Cushuro (Nostoc Sphaericum) utilizando secador rotatorio discontinuo. Ya que se logró el secado de las algas Cushuro (Nostoc Sphaericum) hasta una humedad de 1.93% con un tiempo de secado de 90 minutos, temperatura de 60°C a 45 rpm y Flujos de aire de $F1 = 1,119 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ con velocidad de 0,2 m/s Como se demostró experimentalmente.

6.1.2 Hipótesis Especificas

1) Se demuestra que la caracterización del alga Cushuro (Nostoc Sphaericum) luego del proceso de secado del alga Cushuro en un secador rotatorio discontinuo se puede realizar mediante análisis fisicoquímicos como se demostró con los resultados obtenidos como se muestra en la en la **Tabla N° 8** y **Tabla N° 9 (Ver pag. N° 58)** resultados de :

- a) Análisis de metales de muestra de algas cushuro (nostoc sphaericum), expresados en ppm para muestra seca.
- b) Análisis químico bromatológico de algas (nostoc sphaericum) en (%) para muestra seca.

En las que se demuestra la conservación de sus propiedades más importantes como son calcio igual a 145 340,8 ppm, magnesio igual a 15 355,2 y proteína igual a 30,02%

2) Se obtuvo Los parámetros de operación del secador rotatorio discontinuo. Para el proceso de secado del alga Cushuro (Nostoc Sphaericum) con las cuales se obtuvo un menor porcentaje de humedad en el secado de algas Cushuro (Nostoc Sphaericum) que son : $T = 60^\circ\text{C}$, $W = 45 \text{ rpm}$, $t = 90 \text{ minutos}$ y Flujos de aire :

- a) $F1 = 1,119 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ a velocidad de 20 cm/s
- b) $F2 = 1,582 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ a velocidad de 28 cm/s
- c) $F3 = 2,328 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ a velocidad de 42 cm/s

Con las cuales se obtuvo una humedad de 1,913% obtenidos experimentalmente.

- 3) El rendimiento del proceso de secado de Algas Cushuro (*Nostoc Sphaericum*) en un secador rotatorio discontinuo. Se determinó mediante el análisis de superficie de respuesta y diseño experimental. Tal como se muestra en la **Tabla N° 23** y **Tabla N° 24 (Ver pag. N° 75)**
 - a) **Regresión de superficie de respuesta : HU VS. t; F; T_1.-** Los resultados de análisis de varianza que se representan en la **Tabla N° 23 (Ver pag. N° 75)** ANOVA descompone la variabilidad de la humedad en contribuciones debidas a tres factores. De esta tabla se observa que para el efecto A (temperatura), se obtuvo un valor de $P = 0,0000$ menor que $\alpha = 0,05$; y para el efecto B (tiempo), se obtuvo un valor de $P = 0,0000$ menor que $\alpha = 0,05$ por tanto, el tiempo y la temperatura tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la humedad con un 95,0% de nivel de confianza, mientras que el flujo de aire de secado (f) no influye estadísticamente en la humedad, porque $P = 0,3770$ y es mayor que $\alpha = 0,05$
 - b) **Regresión de superficie de respuestas: HU VS. t; T_1; W.-** Los resultados de análisis de varianza se representan en la **Tabla N° 24 (Ver pag. N° 75)** ANOVA descompone la variabilidad de la humedad en contribuciones debidas a tres factores. De esta tabla se observa que para el efecto A (temperatura), se obtuvo un valor de $P = 0,0000$ menor que $\alpha = 0,05$; por tanto, la temperatura tiene un efecto estadísticamente significativo y para el tiempo (t) se tiene $P = 0,0000$ menor que $\alpha = 0,05$ por lo tanto el tiempo también presenta un efecto estadísticamente significativo sobre la variación de la humedad para el secado de algas con un 95,0% de nivel de confianza, mientras que las revoluciones por minutos del secador rotatorio discontinuo $P = 0,0080$ menor que $\alpha = 0,05$

por lo tanto influye en menor proporción estadísticamente en la humedad para el secado de algas.

Tabla N° 23, Análisis de varianza de : HU VS. t; F; T_1

FUENTE	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	4,64988	0,58123	141,79	0,0000
Lineal	3	4,09597	1,36532	333,07	0,0000
t	1	4,04134	4,04134	985,89	0,0000
f	1	0,00330	0,00330	0,81	0,3770
T_1	1	0,05133	0,05133	12,52	0,0000
Cuadrado	2	0,50849	0,25425	62,02	0,0000
t*t	1	0,50804	0,50804	123,94	0,0000
f*f	1	0,00045	0,00045	0,11	0,7430
Interacción de 2 factores	3	0,00858	0,00286	0,70	0,5610
t*f	1	0,00002	0,00002	0	0,9520
t*T_1	1	0,00790	0,00790	1,93	0,1760
f*T_1	1	0,00067	0,00067	0,16	0,6890
Error	27	0,11068	0,00410		
Total, corregido	35	4,76055			

Tabla N° 24, Análisis de varianza de : HU VS. t; W; T_1

FUENTE	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	4,34943	0,54368	142,74	0,0000
Lineal	3	3,71281	1,23760	324,92	0,0000
t	1	3,67399	3,67399	964,56	0,0000
T_1	1	0,00721	0,00721	1,89	0,0000
W	1	0,03161	0,03161	8,30	0,0080
Cuadrado	2	0,60158	0,30079	78,97	0,0000
t*t	1	0,59582	0,59582	156,42	0,0000
W*W	1	0,00577	0,00577	1,51	0,2290
Interacción de 2 factores	3	0,02162	0,00721	1,89	0,1550
t*T_1	1	0,00020	0,00020	0,05	0,8220
t*W	1	0,00084	0,00084	0,22	0,6420
T_1*W	1	0,02057	0,02057	5,40	0,0280
Total, corregido	27	0,10284	0,00381		

6.2 Contrastación de resultados con otros estudios similares

En esta tesis se buscó Optimizar el proceso de secado de alga cushuro (*Nostoc sphaericum*) en un secador rotatorio discontinuo. Logrando secar al alga cushuro hasta una humedad de 1,913% con muestras siguientes variables óptimas. $T = 60^{\circ}\text{C}$, $W = 45 \text{ rpm}$, $t = 90$ minutos y Flujos de aire de $F1 = 1,119 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ con velocidad de 0,2 m/s. obteniendo resultados similares con respecto a la humedad obtenida en el estudio de "Evaluación de la cinética de secado y valor biológico de Cushuro (*Nostoc Sphaericum*)" En la cuales Se determinó las curvas de secado de todos los tratamientos, las que mostraron las mejores curvas de secado para el alga Cushuro fueron a una temperatura de 60°C y velocidades de aire de 1 m/s y 1,5 m/s hasta llegar a una humedad del 0,001 Kg agua/Kg s.s. mostrando estos tiempos de 4 horas cada una, respecto a los demás para ello realizaron el secado en un secador automatizado de lecho fijo con circulación de aire forzado. En nuestro caso utilizamos un secador rotatorio discontinuo con las cuales logramos optimizar ya que conseguimos secar el alga cushuro (*Nostoc sphaericum*) en un tiempo menor de $t = 90$ minutos logrando una humedad semejante.

a) En el estudio realizado por Williams Vicente roldan Carbajal (2015) Lima – Perú que lleva por título "Caracterización y cuantificación del comportamiento reológico del hidrocoloide proveniente del *Nostoc* (*Nostoc sphaericum* V.)" Para tal estudio realizó el Secado de algas *Nostoc* en un secador de bandejas con aire caliente mediante flujo continuo. posterior al secado realizaron la caracterización del alga Cushuro (*Nostoc Sphaericum*) mediante análisis fisicoquímicos siendo el más relevante el de proteína igual a 47,71% en base seca del alga *Nostoc*.

Sin embargo, para nuestro estudio se realizó la caracterización en análisis químico bromatológico de algas (*Nostoc sphaericum*) para muestra seca obtuvimos proteína 30,02% Estas diferencias entre los

contenidos de proteínas nos indican que entre las cianobacterias su contenido de proteínas es muy variable, debido a que estas especies tienen diferentes medios de crecimiento como la altura y temperatura de crecimiento. En las que se demuestra la conservación de sus propiedades más importantes como son calcio igual a 145 340,8 ppm, magnesio 15 355,2 ppm y proteína igual a 30,02%

- b)** Con respecto a Los parámetros de operación del secador rotatorio discontinuo. Según Chili Rodriguez & Terrazas Viza, (2010) “Evaluación de la cinética de secado y valor biológico de Cushuro (Nostoc Sphaericum)” Se determinó que las mejores curvas de secado para el alga Cushuro fueron a una temperatura de 60°C y velocidades de aire de 1 m/s y 1,5 m/s hasta llegar a una humedad del 0,001 Kg agua/Kg s.s. para tiempos de 4 horas.

Para nuestro proceso de secado de alga Cushuro (Nostoc Sphaericum) realizado en un secador rotatorio discontinuo tenemos parámetros de operación con una mayor eficiencia en cuanto a tiempo ya que logramos una humedad de 1,913% para $t = 90$ minutos. $W = 45$ rpm, Flujos de aire de $F1 = 1,119 \times 10^{-4}$ m³/s y velocidad de 0,2 m/s

- c)** Para el rendimiento del proceso de secado de Algas Cushuro (Nostoc Sphaericum). (Maldonado & Pacheco Delahalle, 2003) En el secado de brócoli y coliflor con contenido humedad inicial de 92,11% y 92,2% a temperatura de 60°C, determinó un tiempo de secado aproximado de 4 horas. De igual manera (Carranza, J.; Sanches, M., 2002) reportaron que a una temperatura de 60°C, se obtuvieron los menores tiempos de secado. Pero una exposición prolongada del producto a esta temperatura ocasiona que el producto final presente una pérdida de calidad en cuanto al color debido a la exposición a altas temperaturas. La **Tabla N° 11 (Ver pag. N° 61)**, presenta el análisis de varianza que se obtuvieron, para el tiempo de secado. Las cuales

indica que la temperatura = 60°C presenta 95,0% de nivel de confianza.

Para nuestro proceso de secado de Algas Cushuro (*Nostoc Sphaericum*) en un secador rotatorio discontinuo. Se determinó mediante el análisis de superficie de respuesta, gráfico de contorno y diagrama de Pareto de efectos estandarizados Tal como se muestra en la **Tabla N° 23** y **Tabla N° 24 (Ver pag. N° 75)** Con las cuales obtuvimos como resultados óptimos para el secado de algas Cushuro (*Nostoc Sphaericum*) de $t = 90$ minutos y $T = 60^{\circ}\text{C}$ presentan con un 95,0% de nivel de confianza.

VII. CONCLUSIONES

- 1) Se demostró experimentalmente que el proceso de secado del alga cushuro (*Nostoc sphaericum*) es viable utilizando un secador rotatorio discontinuo con los resultados obtenidos experimentalmente ya que se consiguió un secado de algas cushuro (*Nostoc sphaericum*) hasta una humedad de 1,913% con un tiempo t igual 90 minutos, T igual 60°C, W igual 45 rpm, flujos de aire de f_1 igual a $1,119 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ y velocidad de 0,2 m/s. Con el análisis químico bromatológico de algas (*Nostoc sphaericum*) para muestra seca y análisis de metales para la muestra seca dándonos una cantidad de proteína igual 30,02%, calcio igual 145 340,8 ppm y magnesio igual 15 355,2 ppm demostrando de este modo la preservación de sus propiedades benéficas luego del proceso de secado. Corroborando con análisis de muestra en su estado húmedo como se muestra la **Tabla N° 8 (Ver pag. N° 59)**
- 2) Con datos obtenidos experimentalmente se realizó modelos matemáticos para el cálculo de humedad como se muestra en la **Ecuaciones (15), (16), (17) (Ver pag. N° 65, N° 67 y N° 70)** buscando encontrar los parámetro más relevante para el secado de algas cushuro (*Nostoc sphaericum*) con las que se corroboró que las variables optimas de secado son : tiempo $t = 90$ minutos, $T = 60^\circ\text{C}$, $W = 45$ rpm, flujos de aire de $f_1 = 1,119 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ y velocidad de 0,2 m/s
- 3) El rendimiento del proceso de secado de Algas Cushuro (*Nostoc Sphaericum*) en un secador rotatorio discontinuo. Se determinó mediante el análisis de superficie de respuesta. Análisis de varianza de: hu vs. t ; f ; t_1 ; análisis de varianza de : hu vs. t ; f ; t_1 con las que demostró estadísticamente la eficiencia de secado para $t = 90$ minutos, $T = 60^\circ\text{C}$ con un 95% de nivel de confianza como se visualiza en las gráficas de contorno y Diagrama de Pareto con efectos estandarizados (**Anexo A4 Ver pag. 88**)

VIII. RECOMENDACIONES

- 1) Continuar el proceso en estudio de algas cushuro (*Nostoc Sphaericum*) para obtener la pulverización, granimetría adecuada para conseguir ponerla en el mercado en forma de capsulas de cushuro ya que se ha demostrado sus grandes propiedades benéficas para la salud.
- 2) Modelar los datos experimentales del proceso de secado aplicando modelos matemáticos de (Newton, Henderson – Page, y otros), que puedan simular un mejor ajuste.
- 3) Determinar el contenido de aminoácidos, del cushuro (*Nostoc Sphaericum*) en base húmeda y seca.
- 4) Determinar el comportamiento de la viscosidad de alga cushuro (*Nostoc Sphaericum*) para su aplicación en la reología.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDAVE, P. A. (1989) Algas. Edit. Libertad. Trujillo Perú
- BRUIN, S., & LUYBEN, K. (1980) Drying of food materials. En Advances in drying. Editado por A. S. Mujumdar. Hemisphere
- CARBAJAL WILLIAMS, V. R. (2015) "Caracterización Y Cuantificación Del Comportamiento Reológico Del Hidrocoloide Proveniente Del Nostoc (Nostoc Sphaericum V.)". Lima, Universidad Nacional Agraria
- CARRANZA, J.; SANCHES, M. (2002) Cinética de secado de musa para disiacca L. "platano" y manijod sculenta grantz "yuca" Investigación Alimentaria. Iquitos - Perú : Revista Amazonica de Investigación Alimentaria Investigación Alimentaria.Volumen 2
- CASP, A., & ABRIL, J. (1999) Procesos de conservación de alimentos. Madrid, España: Ediciones Mundi – Prensa
- ÇENGEL, Y. A. (2007) Transferencia de Calor y Masa (tercera edición ed.) Mc GRAW – HILL
- CHILI RODRIGUEZ, E., & TERRAZAS VIZA, I. (2010) EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE SECADO Y VALOR BIOLÓGICO DE CUSHURO (Nostoc Sphaericum) PUNO PERÚ
- gCIENTÍFICA, N. (2014). Nostoc : un alimento diferente y su presencia. Arica – Chile
- CRANK, J. (1975) The mathematical of diffusion (segunda edición ed.) London. Oxford University Press
- FALCÓN LI, M. S., & CASTILLO. (2010) Dating the cyanobacterial ancestor of the chloroplast
- FORTES, M., & OKOS, M. R. (1980) Drying theories. En Advances in Drying (Vol. volumen 1) New York: Editado por A. S. Mujumdar. Hemisphere Publishing
- GAIBOR EGAS, L. E. (2014) DISEÑO DE UN SECADOR DISCONTINUO PARA LA ESPECIE DE ALGAS CHLORELLA. ECUADOR – QUITO
- GEANKOPLIS, J. (1998) Proceso de transporte y operaciones unitarias (Vol. 3). Mexico, 593 - 606 : Edit. Continental, S.A. de C.V.
- GONZALES, S. M. (2006) <https://www.deperu.com/notasdeprensa/231/cushuro-alga-milagrosa-del-alto-andino-peruano>
- HERNADEZ BURGOS , V. E. (2013) ESTUDIO DE LA REDCCION DEL CONTENIDO DE SODIO Y DESHIDRATCION DEL ALGA LUCHE (Porphyria sp) Chile : Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias agrarias
- HOPE, G. (1982) Osmotic dehydration a cheap and simple method of reserving Mangoes, bananas and plantains. Canada
- JURADO, FUERTES, TOMAS, RAMOS , ARROYO, CÁCERES, . . . CÁRDENAS. (2014) Estudio Físicoquímico, microbiológico y toxicológico de los polisacaridos del nostoc commune y nostoc sphaericum

- LIAPIS, A. I., & MARCHELLO, J. M. (1982) Advances in the modelling and control of freeze drying. en advances in drying. New York : Liapis, A. I., & Marchello, J. M. (1982) Advances ieditado por A. S. Mujumdar. Hemisphere Publishing
- LOPEZ, C., ARANEDA, M., & PAREDES, F. (1876) OPERACIONES UNITARIAS, PROCESO DE SECADO. UNIVERSIDAD CATOLICA DE TEMUCO
- MALDONADO, R. J., & PACHECO DELAHALLE. (2003) Curvas de deshidratación de brócoli (*Brassecas oleraceae* L Var. *Italica* plenk) coliflor (*Brassecas*. Caracas Venezuela: Revista de la Facultad de Agronomía
- PANIAGUA, R., NISTAL, M., SESMA, P., ÚRIA , M., FRAILE, B., ANADÓN, R., & SAÉZ, F. (2007) Biología Celular
- PERRY, R. H., PERRY, R. H., & CHILTON, C. (1981) Manual del ingeniero químico. New York. E.E.U.U. : Mc Graw Hill
- RUEDA ORDOÑEZ, YESID JAVIER; RUEDA ORDOÑEZ, DIEGO ANDRES. (2009) DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR ROTATORIO DIRECTO CILÍNDRICO. SANTANDER : UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
- SALAS DE LA CRUZ, N. (2008) Obtencion de k - Carragenano y g- Carragenano . Lima: Universidad Nacional de San Marcos
- SINGH, & HELDMAN. (1998)
- TREYBAL, R. E. (1970) Operaciones de Transferencia de Masa (Segunada edición ed.). Mc GRAW – HILL
- VIVANCO, C., C. ALVAREZ, J., & VODDEN, K. (2011) EXTRACCION DE ALGAS. REVISTA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANEXOS

A1 MATRIZ DE CONSISTENCIA
“OPTIMIZACION DEL PROCESO DE SECADO DE ALGA CUSHURO (Nostoc Sphaericum) EN UN SECADOR ROTATORIO DISCONTINUO”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cómo debe se debe optimizar el proceso de secado del alga Cushuro (Nostoc Sphaericum) en un secador rotatorio discontinuo?	Optimizar el proceso de secado de alga cushuro (nostoc sphaericum) en un secador, para la preservación de las propiedades del alga cushuro	La optimización del proceso de secado de alga cushuro (nostoc sphaericum) es viable utilizando un secador rotatorio discontinuo.	Y = Optimización del proceso de secado de alga cushuro (nostoc sphaericum) en un secador rotatorio discontinuo	Parámetros físicos	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura optima del secado °C - Tiempo optimo del secado Seg. - Humedad % - Rotación del secador - Flujo de aire - m³/s 	Experimental
SUB – PROBLEMA	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODO
¿Cómo se debe caracterizar el Alga cushuro (nostoc sphaericum) en su estado natural y posterior al proceso de secado?	Caracterizar el Alga cushuro (nostoc sphaericum) en su estado natural y posterior al proceso secado en un secador rotatorio discontinuo	La caracterización del alga cushuro (nostoc sphaericum) para el proceso de secado de algas cushuro en un secador rotatorio discontinuo se puede realizar mediante análisis fisicoquímicos	X ₁ = Características fisicoquímicas del Alga cushuro (nostoc sphaericum) en su estado natural y luego del secado	Características fisicoquímicas	<ul style="list-style-type: none"> - g/cm³ - Humedad % 	Bibliografía Experimental Análisis de laboratorio
¿De qué manera se debe determinar los parámetros de operación del secador rotatorio discontinuo? Para el proceso de secado de alga cushuro (nostoc sphaericum)	Determinar los parámetros de operación del secador rotatorio discontinuo. Para el proceso de secado de algas cushuro (nostoc sphaericum).	Los parámetros de operación del secador rotatorio discontinuo. Para el proceso de secado de algas cushuro (nostoc sphaericum).se debe determinar mediante la selección de los parámetros más relevantes.	X ₂ = Parámetros de operación del secador rotatorio discontinuo	Parámetros físicos	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura - Tiempo Seg - Humedad % - Def m²/s - Rotación del secador - Flujo de aire - m³/s 	Experimental
¿Cómo se debe evaluar el rendimiento del proceso de secado Alga Cushuro (Nostoc Spaericum) en un secador rotatorio discontinuo?	Evaluar el rendimiento del proceso de secado de Algas Cushuro (Nostoc Spaericum) en un secador rotatorio discontinuo	El rendimiento del proceso de secado de Algas Cushuro (Nostoc Spaericum) en un secador rotatorio discontinuo. Se debe determinar mediante el análisis de superficie de respuesta o diseño experimental	X ₃ = Rendimiento del proceso de secado de Algas Cushuro (Nostoc Spaericum) en un secador rotatorio discontinuo	Parámetros de secado	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura óptima de secado °C - Tiempo óptimo de secado Seg - Humedad % - Def m²/s - Rotación del secador. - Flujo de aire - m³/s - % de remoción 	Experimental Superficie de Respuestas

RELACION DE VARIABLES Y=f (X₁, X₂, X₃) Y = Optimización del proceso de secado de alga cushuro (nostoc sphaericum) en un secador rotatorio discontinuo. X₁ = Características fisicoquímicas del Alga cushuro (nostoc sphaericum) en su estado natural y luego del secado. X₂= Parámetros de operación del secador rotatorio discontinuo. X₃ = Rendimiento del proceso de secado de Algas Cushuro (Nostoc Spaericum) en un secador rotatorio discontinuo

A2 : INFORME DE ANALISIS QUIMICO DE METALES



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



INFORME TÉCNICO N° 2168 - 18 - LABICER

- 1. DATOS DEL SOLICITANTE**
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : OLGA QUISPE REYES
 - 1.2 D.N.I. : 43014898
- 2. CRONOGRAMA DE FECHAS**
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 13 / 11 / 2018
 - 2.2 FECHA DE ANÁLISIS : 14 / 11 / 2018
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 15 / 11 / 2018
- 3. ANÁLISIS SOLICITADO** : ANÁLISIS DE METALES EN ALGA
- 4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA**
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE ALGA
- 5. LUGAR DE RECEPCIÓN** : LABORATORIO LABICER- FACULTAD DE CIENCIAS
- 6. CONDICIONES AMBIENTALES** : Temperatura: 20 °C; Humedad relativa: 65%
- 7. EQUIPOS UTILIZADOS** : Espectrofotómetro de absorción atómica SHIMADZU AA-7000
- 8. RESULTADOS**

ANÁLISIS	RESULTADO		MÉTODO DE REFERENCIA
	ppm	%	
Calcio (Ca)	3633.52	0.363	AOAC 999.11
Magnesio (Mg)	383.88	0.038	

- 9. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO**

El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.

A3 : INFORME DE ANALISIS DE PROTEINAS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
LABICER (Laboratorio N° 12)
ANÁLISIS QUÍMICO, CONSULTORÍA E INVESTIGACIÓN



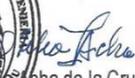
INFORME TÉCNICO N° 2245 - 18 - LABICER

1. DATOS DEL SOLICITANTE
 - 1.1 NOMBRE DEL SOLICITANTE : OLGA QUISPE REYES
 - 1.2 D.N.I. : 43014898
2. CRONOGRAMA DE FECHAS
 - 2.1 FECHA DE RECEPCIÓN : 15 / 11 / 2018
 - 2.2 FECHA DE ANÁLISIS : 17 / 11 / 2018
 - 2.3 FECHA DE EMISIÓN : 22 / 11 / 2018
3. ANÁLISIS SOLICITADO : ANÁLISIS DE NITRÓGENO EN ALGA
4. DATOS REFERENCIALES DE LA MUESTRA
 - 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA : 01 MUESTRA DE ALGA
5. LUGAR DE RECEPCIÓN : LABORATORIO LABICER- FACULTAD DE CIENCIAS
6. CONDICIONES AMBIENTALES : Temperatura: 22 °C; Humedad relativa: 61%
7. RESULTADOS

ANÁLISIS	RESULTADO (%)	MÉTODO DE REFERENCIA
Nitrógeno total (N)	4,83	MÉTODO KJELDAHL

8. VALIDEZ DEL INFORME TÉCNICO
El Informe técnico es válido solo para la muestra y las condiciones indicadas en los ítems del uno (1) al cuatro (4) del presente informe técnico.


Bach. Jesús Utano Reyes
Analista Químico
LABICER – UNI

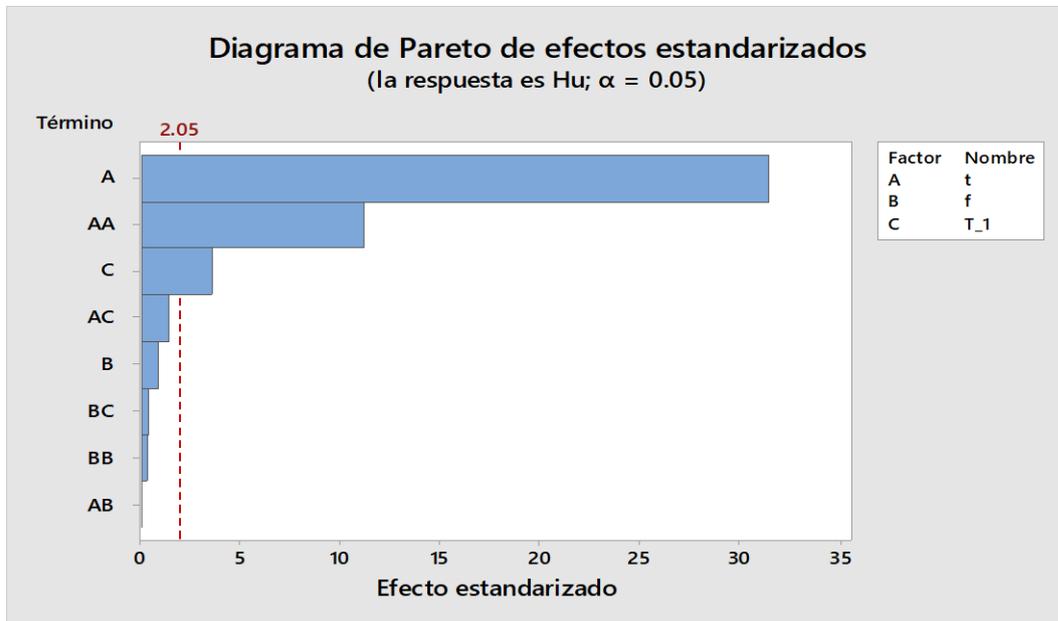


Patricia de la Cruz
Responsable de Análisis
Jefa de Laboratorio
CQP 202

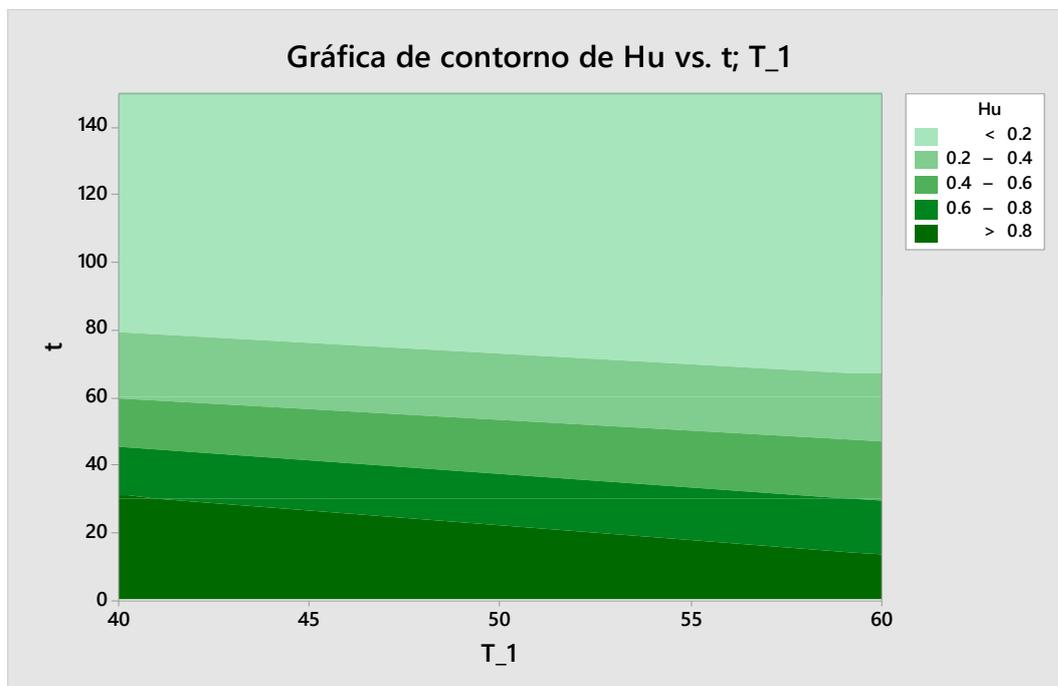
El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.

A4 : GRÁFICA DE INTERACCIÓN

a) Influencia del tiempo, temperatura durante el secado

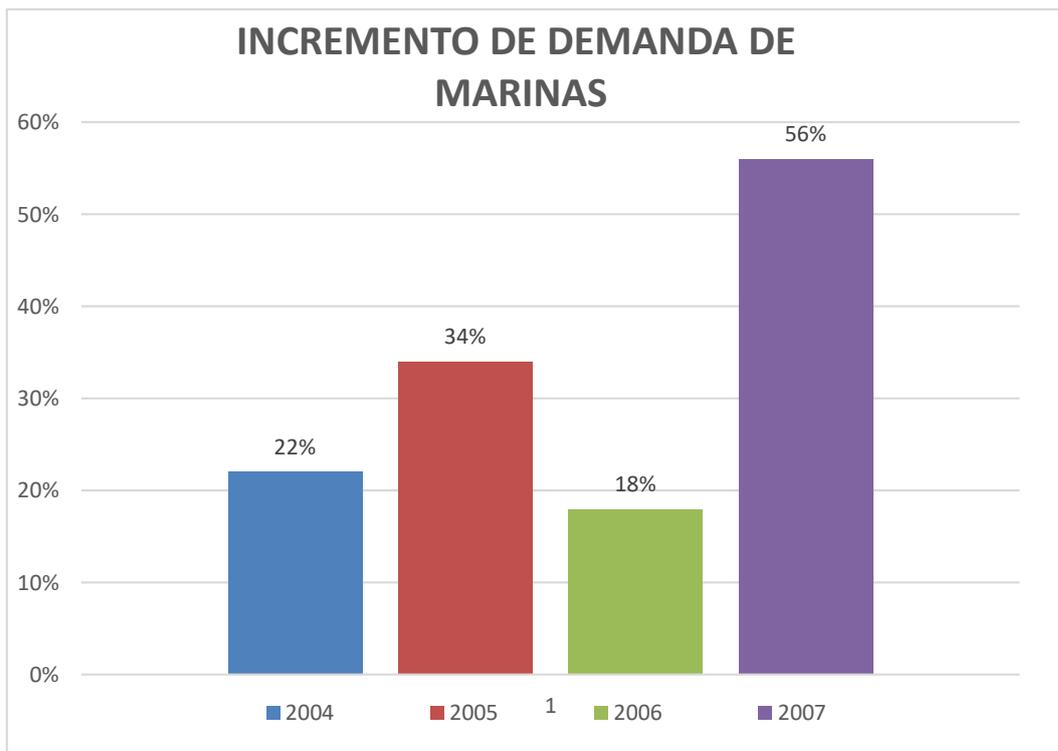
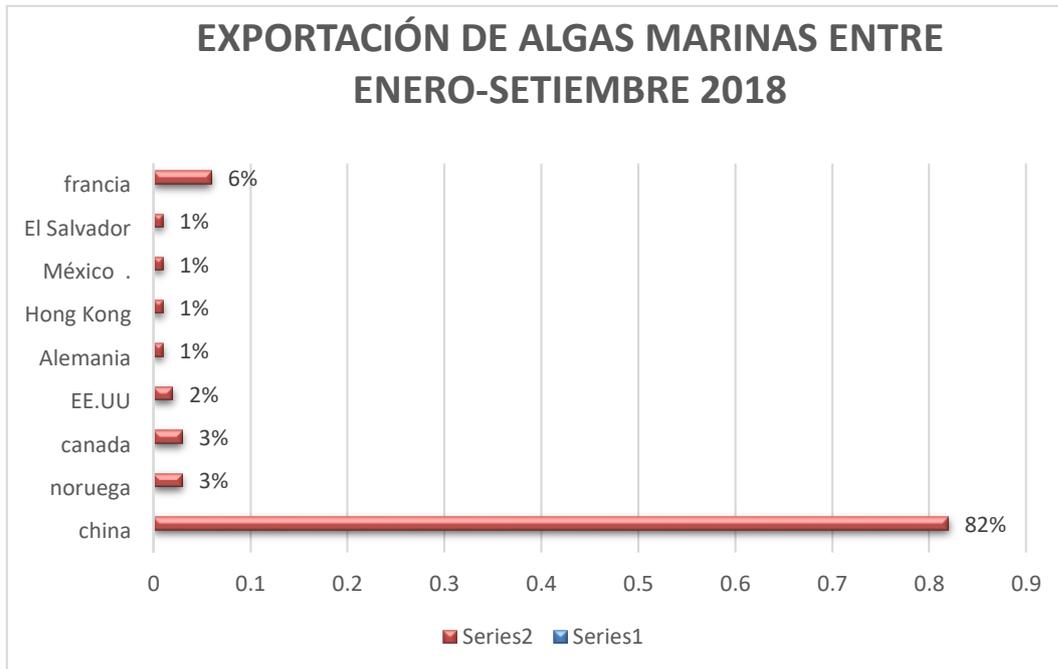


b) Gráfico de contorno optimización del secado



Propia

A5 : EXPORTACIÓN Y DEMANDA MUNDIAL DE ALGAS MARINAS



Informe de la Asociación de Exportadores (ADEX)