

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
PESQUERA Y ALIMENTOS**



**“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO CON  
RADIACIÓN MICROONDAS DE LANGOSTINO (*Litopenaeus  
vannamei*) APLICANDO EL MÉTODO DE SUPERFICIE DE  
RESPUESTA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

**Autor**

**ERICK GERMAN ALBERDI VALLE**

**Asesor**

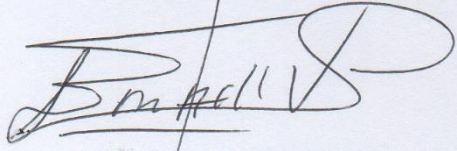
**DOMINGO JAVIER NIETO FREIRE**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**Callao, 2023**

**PERÚ**

Por medio de la presente autorizo la publicacion de esta tesis en el repositorio de la Universidad Nacional del Callao



ERICK GERMAN ALBERDI VALLE

TESISTA

## **INFORMACIÓN BÁSICA**

### **FACULTAD**

INGENIERIA PESQUERA Y ALIMENTOS

### **UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
PESQUERA Y ALIMENTOS

### **TÍTULO**

“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO CON RADIACIÓN  
MICROONDAS DE LANGOSTINO *Litopenaeus vannamei* APLICANDO EL  
MÉTODO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA”

### **AUTOR**

ERICK GERMAN ALBERDI VALLE      DNI 09850095

### **ASESOR**

DOMINGO JAVIER NIETO FREIRE

### **LUGAR DE EJECUCIÓN**

LABORATORIO DE INGENIERIA DE PROCESOS Y OPERACIONES  
UNITARIAS (LIPOU-FIPA) DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA  
PESQUERA Y ALIMENTOS

### **UNIDADES DE ANÁLISIS**

COLAS DE LANGOSTINO

### **TIPO DE INVESTIGACIÓN**

EXPERIMENTAL

### **TEMA OCDE**

INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA PESQUERA Y DE ALIMENTOS

UNIDAD DE POSGRADO

*"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"*

**Nº 004-2023-UPG-FIPA**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL  
GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

A los 23 días del mes de Mayo del año 2023, siendo las 10:30 horas, en la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos- UNAC, Sala de sesiones del Consejo de Facultad (Segundo piso del Edificio de la FIPA) se reunió el **JURADO DE SUSTENTACIÓN** de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos conformado por los docentes de la Universidad Nacional del Callao:

- |                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| • Dr. JUVENCIO BRIOS AVENDAÑO,,   | Presidente |
| • Mg. CARLOS CHINCHAY BARRAGÁN    | Secretario |
| • Dr. DAVID VIVANCO PEZANTES      | Vocal      |
| • Mg. WALTER ALVITES RUESTA       | Vocal      |
| • Mg. DOMINGO JAVIER NIETO FREIRE | Asesor     |

Con el fin de dar inicio a la Sustentación de la Tesis de la Bachiller **ERICK GERMAN ALBERDI VALLE**, quien habiendo cumplido los requisitos para optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería de Alimentos al sustentar la tesis titulada "OPTIMIZACIÓN DEL PROCEDO DE SECADO CON RADIACIÓN MICROONDAS DE LANGOSTINOS (*Litopenaeus vannamei*) APLICANDO EL MÉTODO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA".

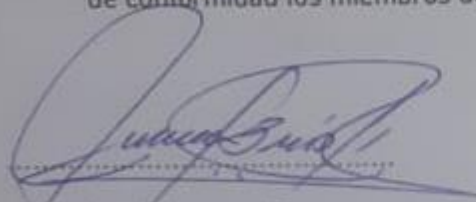
Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la exposición, de conformidad con lo establecido en el Reglamento General de Estudios de Posgrado vigente. Luego de las preguntas formuladas y efectuadas las deliberaciones pertinentes, dio por **...APROBADO...** con el Calificativo Cualitativo de **MUY BUENO** y Calificativo Cuantitativo de



18... (cheuco) a el Bachiller:

**ERICK GERMAN ALBERDI VALLE**

Siendo las 11:30 horas del 23 de Mayo del año 2023, firmamos en señal de conformidad los miembros del jurado examinador.



Dr. Juvencio Bríos Avendaño

Presidente



Mg. Carlos Chinchay Barragán

Secretario



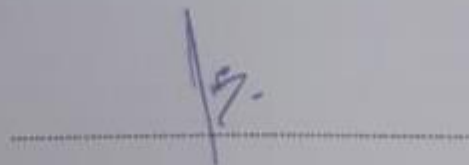
Dr. David Vivanco Pezantes

Vocal



Mg. Walter Alvites Ruesta

Vocal



Mg. Domingo Javier Nieto Freire

Asesor



## **DEDICATORIA**

A mi querida abuela “mima”  
cuyo extraordinario ejemplo de  
vida se mantiene incólume y  
continúa guiando mi destino.

## ÍNDICE

Índice de contenidos	7
Resumen	9
Abstract	10
<b>I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
1.1. Descripción de la realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Objetivos	12
1.4. Justificación	13
1.5. Delimitantes de la investigación	14
<b>II. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1. Antecedentes del estudio	15
2.2. Bases teóricas	17
2.2.1 Langostino	17
2.2.2 Operación de secado	20
2.2.3 Secado con microondas	21
2.2.4 Rehidratación de alimentos	23
2.2.5 Optimización de procesos	25
2.2.6 Metodología Superficie de respuesta	26
2.2.7 Relación modelo-diseño	30
2.2.8 Función Deseabilidad	32
2.3. Marco conceptual	33
2.4. Definiciones de términos básicos	33

<b>III. HIPÓTESIS Y VARIABLES</b>	
3.1. Hipótesis	37
3.2. Operacionalización de variables	37
<b>IV. METODOLOGÍA DEL PROYECTO</b>	
4.1. Diseño metodológico	39
4.2. Método de Investigación	41
4.3. Población y muestra	47
4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado	50
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	50
4.6. Análisis y procesamiento de datos	50
4.7. Aspectos éticos en investigación	51
<b>V. RESULTADOS</b>	52
<b>VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	65
<b>VII. CONCLUSIONES</b>	68
<b>VIII. RECOMENDACIONES</b>	69
<b>IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	70
1. Matriz de consistencia	
2. Tabla de Características físico - organolépticas de crustáceos.	
3. Determinación experimental de la potencia microondas	
4. Niveles de potencia del DCC y niveles de potencia experimentales.	
5. Tiempos de secado y humedad final según nivel de potencia y masa	
6. Validación experimental	
7. Ficha de registro de datos experimentales	
8. Ficha de caracterización física de la materia prima – Análisis Proximal	
9. Fotos del proceso de secado y rehidratado	



## RESUMEN

El langostino (*Litopenaeus vannamei*) es un crustáceo marino de alto valor nutricional que destaca por su alto contenido de Proteínas, Ácidos grasos Omega 3, Vitaminas del complejo B, Hierro, entre otros nutrientes esenciales que forman parte importante de una dieta equilibrada y saludable.

Su comercialización mayoritariamente se lleva a cabo en su estado fresco-refrigerado o congelado estando aun poco difundida su presentación deshidratada debido a que ésta -en general- se desarrolla de manera artesanal y bajo condiciones que impiden su industrialización. En ese sentido, el objetivo de la presente investigación fue identificar condiciones óptimas del secado con radiación microondas que permitan conseguir la mayor capacidad de rehidratación del producto final colas secas de langostino de forma que posibilite su procesamiento con mayor valor agregado. Los parámetros del proceso fueron optimizados mediante la metodología de superficie de respuesta (MSR) llevándose adelante una experimentación de tipo secuencial la misma que se inicia con un diseño con arreglo factorial  $2^k$  para luego ir escalando introduciendo puntos centrales al modelo a fin de determinar la presencia de curvatura para la aplicación de un diseño de composición central de optimización mediante superficies de respuesta y analizar el efecto del tratamiento sobre la rehidratación. Trozos de músculo de langostino (colas) de 1, 2 y 3 cm de ancho con pesos de 08, 12 y 16 gramos respectivamente se deshidrataron por microondas entre 209 y 696 watts de potencia. La capacidad de rehidratación (CR) se vio incrementada con el aumento de la potencia en el tratamiento microondas y con la reducción de la masa de la muestra ( $p < 0.05$ ). Un nivel alto de potencia y el nivel bajo de la masa presentaron la mayor capacidad de rehidratación de 1.36 gramos de langostino rehidratado / gramos de langostino seco. Los cambios en la humedad no fueron significativos logrando valores de 14%, en promedio. característica aceptable para este producto seco.

Las condiciones óptimas del proceso obtenidas mediante la función deseabilidad fueron: masa 6.34 gramos. potencia 796.86 watts, para obtener una CR de 1.5437, mientras que la validación experimental alcanzó una capacidad de rehidratación de  $1.36 \pm 0.03$ , valor cercano al predicho. Estos resultados demuestran que la metodología de superficie de respuesta es un instrumento válido para el establecimiento de las condiciones óptimas de la operación de secado microondas de colas de langostino *Litopennaeus vannamei*.

*Palabras clave:* Langostino; *Litopenaeus vannamei*; deshidratación; rehidratación; optimización, secado en microondas, MSR

## ABSTRACT

The prawn (*Litopenaeus vannamei*) is a marine crustacean of high nutritional value that stands out for its high content of Proteins, Omega 3 fatty acids, B-complex vitamins, Iron, among other essential nutrients that are an important part of a balanced and healthy diet.

Its commercialization is mainly carried out in its fresh-refrigerated or frozen state, its dehydrated presentation being still little spread because it -in general- is developed in an artisanal way and under conditions that prevent its industrialization. In this sense, the objective of the present investigation was to identify optimal drying conditions with microwave radiation that allow to achieve the highest rehydration capacity of the final dried shrimp tails product so that it can be processed with greater added value. The process parameters were optimized using the response surface methodology (MSR), carrying out a sequential type of experimentation, which begins with a design with a 2K factorial arrangement and then scaling by introducing central points to the model in order to determine the presence of curvature for the application of a central composition design of optimization by means of response surfaces and to analyze the effect of the treatment on rehydration. Pieces of prawn muscle (tails) of 1, 2 and 3 cm wide with weights of 08, 12 and 16 grams respectively were dehydrated by microwaves between 209 and 696 watts of power. The rehydration capacity (CR) was increased with the increase of the power in the microwave treatment and with the reduction of the mass of the sample ( $p < 0.05$ ). A high power level and a low dough level had the highest rehydration capacity of 1.36 grams of rehydrated shrimp / grams of dried shrimp. The changes in humidity were not significant, achieving values of 14%, on average. acceptable characteristic for this dry product.

The optimal conditions of the process obtained by means of the desirability function were: mass 6.34 grams. power 796.86 watts, to obtain a CR of 1.5437, while the experimental validation reached a rehydration capacity of  $1.36 \pm 0.03$ , a value close to that predicted. These results demonstrate that the response surface methodology is a valid instrument for establishing the optimal conditions for the microwave drying operation of *Litopennaeus vannamei* shrimp tails.

Keywords: Prawn; *Litopenaeus vannamei*; dehydration; rehydration; optimization, microwave drying, MSR

# I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Descripción de la realidad problemática

Con la creciente tendencia mundial de incluir alimentos saludables en la dieta diaria se pronostica que el mercado global de alimentos deshidratados (frutas y verduras secas, lácteos secos, carnes y mariscos secos, entre otros.) registrará un crecimiento de 4.8% para el periodo comprendido entre el 2022 y el 2027.(mordorintelligence, 2022).

Nuestro país cuenta con una gran cantidad y variedad de mariscos tales como langostinos, camarones, calamares, pulpos, almejas, conchas de abanico, chitones, chanques, lapas, choros, erizos, caracoles, pepinos de mar, etc. que en su mayor parte son comercializados al estado fresco-refrigerado o congelado. Estos mariscos se caracterizan por ser altamente perecederos y sus procesamientos producen impactos ambientales tanto en términos de uso del agua como del volumen y tipo de efluentes generados. Los impactos varían según el tipo de operación y los productos que se producen. Por lo general, el efluente del procesamiento de mariscos está muy cargado de nitrógeno, proteínas y micronutrientes, por lo que se podrían deshidratar (al vacío o microondas) de manera alternativa como forma de aumentar sus posibilidades de consumo en la gastronomía peruana minimizando los impactos en el medio ambiente. El secado de alimentos provee una importante reducción de costos tanto en el empaque y transporte como en su almacenamiento debido al menor peso y volumen del producto seco.

Los investigadores están en constante proceso de innovación tecnológica siempre a la búsqueda de nuevas formas para perfeccionar el secado de los alimentos y en este esfuerzo, resulta un objetivo clave el reducir el tiempo y la temperatura de secado a fin de obtener un alimento seco que en lo posible mantenga las principales características nutricionales y sensoriales del fresco original con un bajo consumo energético.

Se conoce que los tratamientos térmicos tienden a afectar en mayor o menor medida las propiedades físicas, nutricionales y funcionales de los alimentos deshidratados. Una forma para medir este impacto suele ser la determinación de la capacidad de rehidratación del alimento seco. En consecuencia, el problema consiste en optimizar los parámetros del proceso de secado con microondas de tal manera que se logre maximizar la capacidad de rehidratación del producto final: colas secas de langostino *Litopenaeus vannamei*

## **1.2 Formulación del Problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿En qué medida el método de superficie de respuesta permitirá optimizar el proceso de secado con radiación microondas de langostino a fin de maximizar la capacidad de rehidratación del producto final?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuál será la condición óptima para la masa de cola de langostino que maximiza la rehidratación del producto final?
- ¿Cuál será el nivel de potencia óptimo para un adecuado deshidratado del músculo de langostino que logre maximizar la rehidratación del producto final?
- ¿Qué modelo matemático pronosticará con mayor ajuste la condición óptima de los factores y maximizará la capacidad de rehidratación del producto final?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Optimizar el proceso de secado con radiación microondas de langostino *Litopenaeus vannamei* a través del método de superficie de respuesta, a fin de maximizar la capacidad de rehidratación del producto final.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar la condición óptima de la masa de cola de langostino que permita maximizar la capacidad de rehidratación del producto final.
- Establecer el nivel de potencia óptimo para un adecuado secado del músculo de langostino que logre maximizar la capacidad de rehidratación del producto final.
- Determinar un modelo matemático para el proceso de secado por radiación microondas de colas de langostino que maximice la capacidad de rehidratación del producto final

## 1.4 Justificación

### 1.4.1 Justificación Técnica

La investigación aspira a servir de base tecnológica a la industria de productos hidrobiológicos deshidratados ya que proporcionará información relevante acerca de los parámetros óptimos del proceso de secado microondas de colas de langostino que permita maximizar la capacidad de rehidratación del producto final. Los camarones secos o la pasta de camarones son productos altamente demandados por la industria (SIICEX, 2019), se conoce que este producto seco es utilizado como insumo importante en la elaboración de sopas y guisos instantáneos, debido a ello, su capacidad para rehidratar resulta un atributo de calidad fundamental a la hora de presentar el producto (insumo) colas secas de langostino.



### 1.4.2 Justificación Económica

El estudio de las condiciones y factores que intervienen en el proceso de secado microondas podrán ser utilizados por los distintos agentes económicos del rubro deshidratados hidrobiológicos a fin de optimizar sus productos.

### 1.4.3 Justificación legal

El presente estudio se encuentra enmarcado dentro de las disposiciones normativas que promueven el desarrollo de la investigación científica en las universidades en amparo de la ley Universitaria N°30220

### 1.4.4 Justificación personal

La presente investigación además de constituir un aporte para el conocimiento científico me posibilitará optar el grado académico de magister en ingeniería de alimentos.

## **1.5 Delimitantes de la investigación**

Entre las principales limitantes que tuvo que enfrentar la presente investigación se cuentan:

- El acceso restringido para la obtención de datos e información debido a la pandemia del COVID-19.
- Insuficientes investigaciones previas específicas sobre el tema (secado microondas en productos hidrobiológicos) es por esta razón que los antecedentes versan acerca de la optimización del proceso de secado, el secado microondas de otras materias primas y el secado convectivo de camarones y otros productos hidrobiológicos como respuesta a la limitada o nula investigación existente sobre el tema.
- La imposibilidad de contar con un equipo de radiación microondas que permita regular con mayor eficacia los niveles de potencia.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

Se presentan a continuación investigaciones realizadas tanto en el exterior como en el interior del país que son relevantes de mencionar debido a que guardan estrecha relación con las variables del presente estudio.

#### 2.1.1 Investigaciones Internacionales

**(Roberti Perez D, 2011)**, cuyo estudio tuvo como objetivo “Determinar la cinética del secado convectivo del camarón dulceacuícola *Macrobrachium jelski*. Determinando que la temperatura del proceso es el factor más influyente sobre el tiempo de secado. A su vez, los parámetros más idóneos encontrados fueron: temperatura de 70°C y la velocidad del aire de 3 m/s”.

**(Vuarant C, 2014)**, en su investigación “Optimizó el secado de arándanos por radiación infrarroja llegando a la conclusión que temperaturas entre 105-115 °C permitieron lograr un 60% de retención de antocianinas durante 114 minutos de tiempo de secado, esto sin haber realizado ningún tipo de pretratamiento del fruto. Como resultado se obtuvieron pasas de arándanos con un contenido en antocianinas superior al logrado con el proceso habitual de secado por aire caliente, en un lapso no mayor a dos horas entre el momento de la cosecha y el producto final envasado”.

**(García-Mogollón C, 2015)**, en su estudio “Deshidrató y rehidrató chips de yuca de 0.4 cm de ancho con peso de 20, 35 y 50 g y diámetro de 2, 3 y 4 cm. La deshidratación se realizó por microondas a 140W, 280W y 560W respectivamente. Se aplicó un diseño completamente al azar con arreglo factorial para evaluar su efecto sobre la rehidratación y el color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y  $a^*/b^*$ ). Resultando que la capacidad de rehidratación fue mejorada con la reducción de la potencia en el tratamiento por microondas y de la masa de la muestra ( $p < 0.05$ )”

#### 2.1.2 Investigaciones Nacionales

**(Díaz Viteri J, 2003)** en su estudio se avocó a “encontrar parámetros para la deshidratación de músculo de camarón gigante de Malasia (*Macrobrachium rosenbergii*) determinando a partir de un análisis sensorial que el mejor pre tratamiento consistió en colocar el camarón en agua a 90°C por 90 segundos y luego deshidratarlo osmóticamente en solución de sacarosa y NaCl (20% + 20% en peso) con agitación por 30 minutos”.

“La ecuación GAB describió las isotermas de adsorción de músculo de camarón pre tratado térmica y osmóticamente, con buen grado de ajuste (alto coeficiente de determinación  $R^2$  y valor bajo para el Error medio

relativo) mientras que la ecuación de Fick para cilindro infinito permitió modelar adecuadamente la cinética de secado con aire caliente del músculo de camarón gigante hasta alcanzar aproximadamente el 8 % de humedad final en base seca resultando un rendimiento de músculo deshidratado de 8.50%”

**(García Vásquez Y, 2003)**, cuya investigación tuvo como objetivo “Determinar los parámetros adecuados para la deshidratación de la pulpa de almejas de agua dulce (*Anodontites trapesialis*) utilizando Temperaturas de 40°C, 50°C y 60°C; y Velocidades de aire de secado de 0.5m/s, 0.8m/s, 1.1m/s”. Luego de realizado el análisis sensorial del producto rehidratado resultó como “mejor tratamiento la pre cocción a 90°C por 3 min. y posterior secado a 50°C y 0.8 m/s.”

**(Tello Panduro B, 2003)**, con su estudio buscó “Determinar las condiciones de secado adecuadas para filetes de tilapia (*Oreochromis* sp.). encontrando luego del análisis sensorial que la Temperatura de 40 °C y Velocidad de aire de 1.1 m/s. resultaron la mejor condición de secado. Además, la ecuación GAB reprodujo de manera más fidedigna los datos experimentales de Isotermas de adsorción”.

**(Nieto Freire D, 2015)**, con su investigación buscó “optimizar la cinética de secado por microondas de láminas de Jengibre(*Zingiber officinale*), encontrando como modelo óptimo de mejor ajuste a la ecuación de Page con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0,9957.” Además, mediante la metodología de superficie de respuesta (MSR) “se determinó que el espesor medio de 3,5 mm y la potencia de 918W tuvieron un efecto significativo en el modelado resultando como valores óptimos, un tiempo aproximado de 4,00 minutos, un espesor de 3,5 mm y una potencia de 918W.”

**(Masgo Acha C, 2014)**, en su estudio se dedicó a “Determinar la condición optima del proceso de secado por atomización del extracto tánico de las vainas de Tara (*Caesalpinia spinosa*) para lo cual aplica los métodos Taguchi y Superficie de Respuesta. Encontrando la condición optima a partir de una Temperatura del aire de secado de 160,8°C, Velocidad del aire de secado de 5,0m/s, Velocidad de alimentación de 0,16 l/h y Concentración de encapsulante 40% p/p. con estas condiciones obtuvo 59,38% de Rendimiento del producto final y 5,34% de degradación térmica de Taninos”.

Esta situación hizo que se maximizara el rendimiento del producto final y a su vez minimizó la degradación térmica de taninos al obtenerse una función Deseabilidad Global de 0,9254.



## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Langostino

#### Clasificación Taxonómica

Dominio:	Eukarya
Reino:	Animalia
Phyllum:	Arthropoda
Subphyllum:	Crustacea
Clase:	Malacostraca
Orden:	Decapoda
Suborden:	Natantia
Familia:	Penaeidae
Género:	Litopenaeus
Especie:	<i>L. vannamei</i> (Zamorano 1986)
N. común:	Langostino
N. en Ingles:	White Shrimp

#### **Información básica**

El langostino es un crustáceo decápodo macruro nadador perteneciente a la familia Penaeidae muy apreciado por su alto valor nutricional. Actualmente existen 10 géneros y múltiples especies que habitan el mar del norte peruano. En las costas tumbesinas, los langostinos blancos y azules son captados en aguas de 1 a 30 metros de profundidad, mientras que los de color café y rojo se presentan en mayor abundancia en aguas más profundas entre los 30 a 50 metros. (Peruinfo, 2018)

El langostino blanco "*Litopenaeus vannamei*, es la principal especie cultivada en el Perú, es nativo de la costa oriental del Océano Pacífico y se distribuye desde Sonora en el norte de México, pasando por Centro y Sudamérica llegando hasta Tumbes en Perú, en aguas cuya temperatura es normalmente superior a 20 °C durante todo el año. (FAO,2018)

#### **Ciclo biológico**

*Litopenaeus vannamei* se encuentra en hábitats marinos tropicales pasando su vida adulta en el fondo marino, alimentándose y reproduciéndose en mar abierto. Las hembras migran y desovan en

determinadas zonas así las larvas son arrastradas por las corrientes hasta alcanzar la etapa de post-larva (PL), en esta fase se dirigen a las desembocaduras de las costas a pasar la fase juvenil bentónica refugiándose en estuarios, lagunas costeras y manglares para luego regresar a aguas oceánicas. Los machos maduran a partir de los 20 g. y las hembras a partir de los 30 g. a una edad entre 6 y 7 meses. Cuando *Litopenaeus vannamei* pesa entre 30 y 45 g libera entre 100 000 y 250 000 huevos de aproximadamente 0,22 mm de diámetro. La incubación ocurre aproximadamente 16 horas después del desove y la fertilización. En la primera etapa, la larva denominada nauplio, nada intermitentemente y es fototáctica positiva. Los nauplios no requieren alimentación, sino que se nutren de su reserva embrionaria. Las siguientes etapas larvarias (protozoa, mysis y postlarva temprana respectivamente) continúan siendo planctónicas por algún tiempo y son transportados a la costa por las corrientes mareales, en el trayecto se alimentan de fitoplancton y zooplancton. Las postlarvas tempranas cambian sus hábitos planctónicos unos 5 días después de su metamorfosis a PL y al trasladarse a la costa empiezan a alimentarse de detritos bénticos, gusanos, bivalvos y crustáceos. (FAO, 2018).

### **Composición química**

El Langostino es un alimento de alto valor para nuestro organismo Su consumo aporta una gran proporción de nutrientes esenciales, siendo ricos en proteínas y agua, y bajos en grasas, hidratos de carbono y calorías. También contienen vitaminas como B3, B9, B12, E y minerales. Adicionalmente aportan ácidos grasos como omega 3 y también constituye una fuente importante de hierro para el organismo. (Peruinfo,2018)

100 gramos de este alimento aporta 110 kcal de calorías, además de los siguientes micronutrientes:

- ✓ 24,30 g. de proteína
- ✓ 3,30 mg. de hierro
- ✓ 90 mg. de yodo
- ✓ 115 mg. de calcio
- ✓ 221 mg. de potasio
- ✓ 1,10 mg. de zinc
- ✓ 1,50 g. de carbohidratos
- ✓ 69 mg. de magnesio
- ✓ 305 mg. de sodio
- ✓ 215 mg. de fósforo
- ✓ 185 mg. de colesterol
- ✓ 0,80 g. de grasa
- ✓ 1,50 g. de azúcar
- ✓ 0,02 mg. de vitamina B1

- ✓ 0,02 mg. de vitamina B2
- ✓ 3,20 mg. de vitamina B3
- ✓ 0,28 mg. de vitamina B5
- ✓ 0,06 mg. de vitamina B6
- ✓ 2,0 ug. de vitamina B9
- ✓ 1,90 ug. de vitamina B12
- ✓ 1,50 mg. de vitamina E
- ✓ 0,04 ug. de vitamina K.

Fuente: alimentos.org.es

Figura 2.1: Composición química del músculo de Langostino

CÓDIGO	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Carboh. (%)	Ceniza (%)
21/25	77.64	19.00	1.14	0.60	1.62
41/50	77.62	18.98	1.11	0.58	1.60
71/90	77.59	18.91	1.09	0.57	1.58
Promedio	77.62	18.96	1.11	0.58	1.60

Fuente: Tomado de Purizaca, 2015

### Beneficios para la salud

Incrementar el consumo de langostino resulta prioritario para lograr una dieta equilibrada y saludable. Destaca su aporte en proteínas y micronutrientes tales como el omega 3, “ácido graso que sirve para la prevención de enfermedades cardiovasculares, inmunológicas y de vital importancia en el desarrollo del cerebro”. (Castro-Gonzales María, 2002). Por otro lado, “contiene vitamina B3 (niacina), nutriente que participa en el aprovechamiento de la energía que aportan las proteínas, carbohidratos y grasas; así como en la producción de hormonas sexuales y el equilibrio de la glucosa. Asimismo, aporta vitaminas B9 y B12, las que ayudan en el proceso de gestación y maduración de glóbulos rojos, respectivamente. La vitamina E, sirve como un potente antioxidante, dado que reduce el envejecimiento de la piel y previene enfermedades cancerígenas. En cuanto a minerales el aporte de magnesio que refuerza el sistema óseo y protege las paredes de los vasos sanguíneos; selenio, que sirve para estimular el sistema inmunológico; y hierro que previene y trata la anemia”. (Peruinfo, 2018).

Su alto contenido de Hierro (3.3 mg. por cada 100 g. de músculo) es fundamental debido a que el Hierro es el mineral que participa en la producción de hemoglobina, componente principal de los glóbulos rojos. La disminución de la hemoglobina genera la peligrosa anemia. En niños menores de 3 años la anemia daña el cerebro no permitiendo su adecuado desarrollo siendo lamentablemente irreversible si no es tratada a tiempo (Programa Nacional A COMER PESCADO, 2017)

El Perú aún mantiene tasas muy elevadas de anemia infantil, alrededor del 43% de niños menores de tres años sufre de anemia. La anemia en niños provoca bajo rendimiento intelectual, dificultades de aprendizaje y disminución en su desempeño cognitivo. Los niños con anemia también se muestran menos afectuosos y presentan más trastornos de conducta. Se recomienda un consumo mínimo de 10 miligramos de hierro al día para evitar la anemia. (Programa Nacional A COMER PESCADO, 2017)

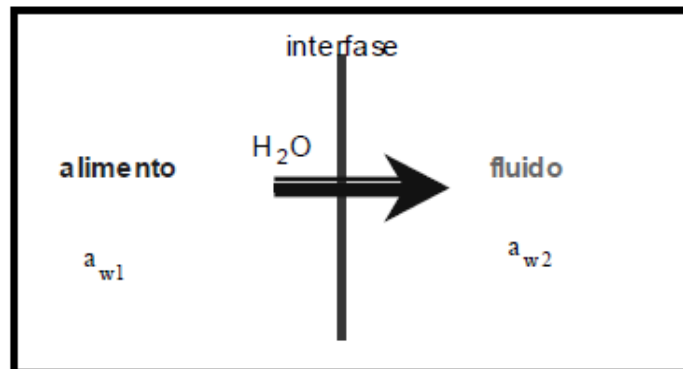
### **2.2.2 Operación de secado.**

El secado es una operación unitaria que conlleva necesariamente una transferencia simultánea de masa y energía entre un gas y un sólido donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa (Perry, 1984). Esta transferencia de materia y energía se produce de la siguiente manera:

Durante la *Transferencia de energía* el aire se calienta y transmite su calor a un sólido mientras que durante la *Transferencia de materia* la presión de vapor del agua del sólido resulta mayor que en el aire, y para alcanzar el equilibrio este último se lleva la materia ocasionando la eliminación total o parcial del agua de la sustancia que la contiene. Esta definición puede ser aplicada a sólidos, líquidos o gases y tal como esta expresada puede servir para describir varias operaciones unitarias como la evaporación superficial, la liofilización, la deshidratación osmótica, la adsorción, etc. Sin embargo su tratamiento teórico y la tecnología empleada las diferencian completamente. (Fito et al, 2016)

La mayoría de productos alimentarios son sólidos por lo que se define mejor la deshidratación como la operación básica por la que el agua que contiene un sólido o una disolución (generalmente concentrada) se transfiere a la fase fluida que lo rodea debido a los gradientes de actividad de agua ( $a_w$ ) entre ambas fases. (Fito et al, 2016)

Figura 2.2 Fase alimento-fluido donde se produce el transporte de agua durante la deshidratación debido a un gradiente de  $a_w$



Fuente: Tomado de Fito et al, 2016

El secado es la operación que más se utiliza para conservar productos, ya que logra reducir el contenido de agua, inhibiendo el desarrollo de microorganismos y una serie de reacciones características de los productos con actividad de agua elevada. Los costos del secado son compensados por un producto final de mayor valor agregado que presenta menores costos de transporte y almacenaje debido a un menor volumen y peso del producto seco. (G.C. Honorato, 2005)

El secado de alimentos tanto de origen animal como vegetal requiere un estudio minucioso de las condiciones de operación, teniendo en cuenta las características deseadas en el producto final. La cinética del secado debe ser bien definida con relación a los efectos de las propiedades del material y del medio de secado, en particular por medio de las propiedades de transporte, como conductividad y difusividad térmica, difusividad másica, coeficientes de transferencia de calor y masa. (Sokhansanj, 1984)

El procesamiento térmico de alimentos a elevadas temperaturas si bien elimina la posibilidad de daño microbiológico y reduce la actividad enzimática, afecta la calidad del producto, produciendo pérdida de componentes termolábiles y termosensibles responsables de las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos (Acevedo et al., 2002).

Para la elaboración de pescado seco “el proceso deberá continuar hasta que el producto alcance un contenido de humedad final inferior al 10% o la actividad acuosa sea inferior a 0,75”. (Codex Alimentarius, 2003)

### 2.2.3 Secado con microondas

El secado por radiación microondas se fundamenta en la incorporación de energía adicional absorbida preferentemente por los disolventes presentes

en el proceso logrando una mejor evaporación. Las microondas son una forma de energía electromagnética, generada por magnetrones sometidos a la fuerza combinada de campos perpendiculares eléctricos y magnéticos. La penetración de la energía radiante permite que el calor se genere de manera uniforme al interior del alimento lográndose un secado más rápido y a más bajas temperaturas evitando el daño celular. (Fito et al, 2016).

En el campo eléctrico generado por las microondas, los materiales polares se orientan y reorientan por sí mismos en función de las direcciones del campo haciendo posible una alternancia rápida. Así, por ejemplo, a 2450 MHz la orientación del campo cambia 2450 millones de veces por segundo, provocando una reorientación rápida de las moléculas lo que a su vez genera fricción y calor. (GEA Group, 2014).

Son parámetros que gobiernan al calentamiento con radiación microondas, la masa del material, su calor específico, sus propiedades dieléctricas, su geometría, los mecanismos de pérdida de calor y la eficiencia acoplada, es decir la relación entre la potencia aplicada y la potencia absorbida por el material. (Fito et al, 2016)

Dentro de las principales ventajas del calentamiento por radiación microondas podemos enumerar:

- ❖ La rapidez del proceso
- ❖ El calentamiento uniforme
- ❖ La eficiencia de conversión de energía, ya que no se gasta energía en calentar el aire o las paredes del horno u otros elementos.
- ❖ La eficiencia en el control del proceso de calentamiento
- ❖ El requerimiento de menores espacios
- ❖ El calentamiento selectivo, ya que el campo electromagnético generalmente interacciona con el disolvente, no con el sustrato. Por lo tanto, es el agua lo que se calienta y elimina, mientras que el sustrato es calentado principalmente por conducción. Esto evita el calentamiento del aire, paredes del horno, etc.
- ❖ La calidad de los productos puede ser mejorada dado que no se generan altas temperaturas en la superficie, no tienen lugar sobrecalentamientos y encostramientos, tan frecuentes en los métodos de calentamiento convencionales.
- ❖ Muchas reacciones químicas deseables y efectos físicos son promovidos por el calor generado por este método de cara a procesos como: el ahumado, secado, mezclado, desnaturalizado de proteínas, almidón, gelatinización y similares. (Fito et al, 2016).

#### **2.2.4 Rehidratación de alimentos deshidratados**

La rehidratación de alimentos no resulta ser simplemente el proceso inverso a la deshidratación debido a que ambos fenómenos presentan diferentes mecanismos de transferencia de materia y dependen a su vez de distintos factores. “Las operaciones previas a la deshidratación, comúnmente llamadas pretratamientos, logran tener una marcada influencia sobre las características y la composición del producto finalmente rehidratado” (Marín, 2006)

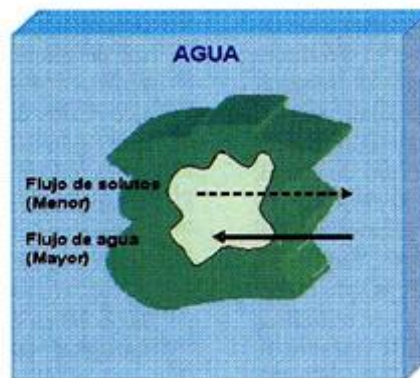
Varios autores proponen que los niveles de rehidratación pueden establecerse como medida del daño en el alimento durante la operación de secado considerando a la rehidratación como un complejo proceso que ayuda a restaurar las propiedades del alimento fresco (Toledo, 1994). “En algunos casos la velocidad de rehidratación sirve como medida de la calidad del producto deshidratado, siendo los alimentos deshidratados en condiciones óptimas, los que se deterioran menos y se rehidratan de mejor forma” (Weerts, 2006).

Los alimentos secos deben rehidratarse lo más rápido posible y mostrar características estructurales, químicas, nutricionales y sensoriales muy cercanas a la del alimento fresco (Vega,2003).

Dentro de los medios de rehidratación más utilizados en alimentos tenemos a la inmersión en agua como la más simple, así como también la inmersión en soluciones azucaradas (glucosa, sacarosa, trehalosa), leche, yogur, jugos de frutas y verduras, entre otras. Los períodos de inmersión deben ser breves, y los medios de rehidratación deben coadyuvar a conseguir un producto de características similares al fresco. (Rastogi et al, 2004).

En cuanto a la transferencia de materia ocurrida durante la rehidratación (figura 2.5), se puede mencionar que el agua (o solución hidratante) es absorbida más rápidamente al inicio del proceso para luego disminuir gradualmente hasta que el contenido de humedad alcance un equilibrio, es decir, que todos los espacios inter o intracelulares queden saturados con agua o con la solución hidratante. De esta manera la absorción de agua por parte de los tejidos del alimento deshidratado aumenta sucesivamente el volumen del mismo, propiciando una salida de los sólidos desde el interior de estos tejidos” (Krokida et al, 2003)

Figura 2.5 Transferencia de materia durante la rehidratación de un alimento seco



Fuente: Tomado de Marín 2006

Durante el fenómeno de rehidratación se dan cita tres procesos simultáneos:

- a) La absorción de agua dentro del material deshidratado
- b) La lixiviación de solutos
- c) El hinchamiento del material (Lewicki, 1998).

Y donde el cambio de volumen del producto deshidratado es proporcional a las cantidades de agua absorbida, aumentado o recuperando su tamaño y volumen inicial. Las variables operacionales del secado (temperatura, velocidad de aire, humedad relativa y tiempo) afectan significativamente la calidad final del producto rehidratado, por lo que es común utilizar índices numéricos para observar este efecto. La capacidad de rehidratación y la capacidad de retención de agua, que tienen que ver con la estructura, el tejido y la capacidad de mantener el agua absorbida por el alimento son ejemplos de estos índices. Estos pueden disminuir o aumentar, ya sea por una desnaturalización y/o agregación de proteínas bajo el efecto calor, concentración de sales, desorción de agua, destrucción de pectinas y membranas celulares. (Sanjuan, 2001).

Cabe mencionar que los factores que influyen en los mecanismos de transferencia de materia ocurridos durante el fenómeno de rehidratación de alimentos, se encuentran los factores propios del proceso de deshidratación (pretratamiento, método de secado, temperatura y velocidad de secado, almacenamiento) y las condiciones de rehidratación a utilizar (Lewicki, 1998).

Es posible mejorar las características de calidad de un alimento deshidratado que ha sido rehidratado si se aplican pretratamientos antes del proceso de secado, por ejemplo, deshidratación osmótica por inmersión en distintas concentraciones de soluciones azucaradas, salinas (NaCl) o



ácidas (ácido cítrico y/o ascórbico), escaldado, microondas, entre otros. (Aguilera,2001)

Son atributos de calidad de un alimento seco que ha sido rehidratado, sus propiedades estructurales (densidad, porosidad, tamaño poro, volumen específico), sus propiedades ópticas (color y apariencia), sus propiedades texturales (fuerza de compresión, relajación, tensión), sus propiedades mecánicas (estado del producto: cristalino, elástico, vítreo), sus propiedades sensoriales (aroma, sabor, color) y sus propiedades nutricionales (contenido de vitaminas, proteínas, azúcares, entre otras). La evaluación de todas o solo algunas de estas propiedades va a depender del nicho de mercado hacia donde se dirija el alimento (Vega, 2003).

### **2.2.5 Optimización de procesos**

Un proceso industrial no es otra cosa que el conjunto de actividades u operaciones que tienden a modificar las propiedades de las materias primas con el fin de obtener productos que sirvan para cubrir las necesidades y expectativas de un segmento específico de la sociedad. Estas modificaciones que se realizan a las materias primas naturales van encaminadas a la obtención de productos que tengan una mayor aceptación en el mercado, o que presenten mayores posibilidades de almacenamiento o transporte (Ibarz 2005)

Los procesos que tienen lugar durante la elaboración de alimentos son extremadamente complejos y diversos; sin embargo, un análisis cuidadoso permite establecer que todos ellos se componen de un número reducido de operaciones básicas que actúan como nexos comunes y que dependen de principios físicos definidos. A manera de ejemplo, durante la elaboración, de prácticamente todos los productos alimenticios estos son calentados o enfriados, por lo tanto, desde el punto de vista de la ingeniería resulta fundamental la cantidad de calor necesario y las condiciones en que se intercambia. En consecuencia, la transferencia de calor resulta siendo la operación básica y la energía térmica pasando en forma espontánea desde los cuerpos más calientes hacia los más fríos, el principio físico que lo fundamenta (Ibarz 2005)

La Ingeniería de procesos alimentarios busca aplicar los conocimientos de las ciencias físicas, químicas y biológicas a los productos de tal forma que experimenten diversas modificaciones en su composición, contenido energético o estado físico. (Alvarado 2013).

La optimización de un proceso resulta ser “la búsqueda de la mejor manera de llevarlo a cabo” (Real Academia Española, 2014). En ese sentido un diseño experimental solo tiene como objetivo localizar un tratamiento ganador de entre todos aquellos que son probados mientras que la

optimización pretende localizar condiciones superiores de operación de un determinado proceso y que muchas veces se encuentran alejados de la región experimental. Esta situación plantea un reto mucho más difícil para el investigador ya que lo obliga a desplegar una estrategia más completa, que incluya la posibilidad de efectuar varios experimentos secuenciales y el uso de técnicas matemáticas más avanzadas. (Gutiérrez Pulido, 2008)

La mejora de los procesos implica el estudio pormenorizado de todos los elementos de este partiendo desde la secuencia de actividades considerando sus entradas y salidas de tal modo que al dimensionarlo en todos sus detalles sea factible de optimizarse por tanto se trata de lograr la eliminación de todo desperdicio reduciendo los costos e incrementando la calidad del producto y con ello la satisfacción del cliente. (Krajewski, 2008)

La mejora continua de los procesos, es una estrategia de gestión que se basa en el desarrollo de mecanismos que permitan mejorar el desempeño de los procesos con el objetivo de elevar la satisfacción de los clientes (Bonilla, 2010)

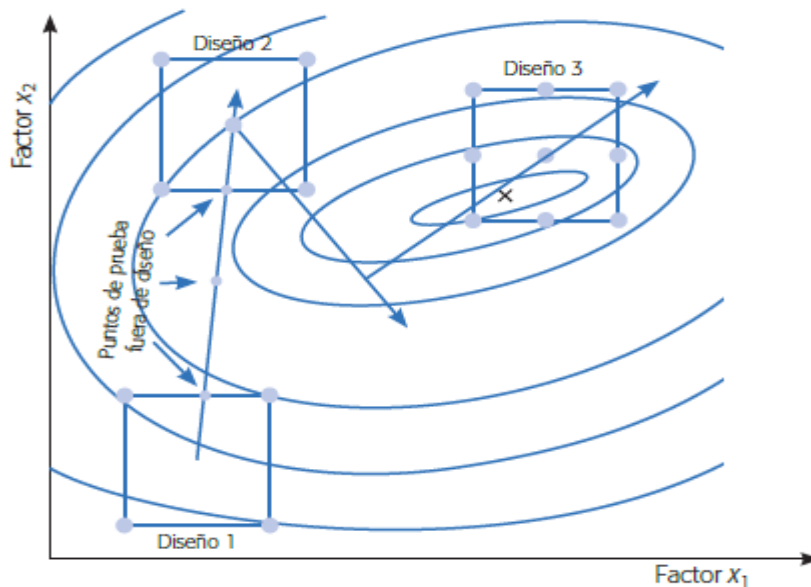
### **2.2.6 Metodología de Superficie de Respuesta (MSR)**

La Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) es un modelo matemático planteado por los estadísticos George Box y K. B. Wilson en 1951 y que debido principalmente a los avances en el procesamiento computacional de los últimos 20 años ha cobrado notoria relevancia tanto en los aspectos teóricos como en sus múltiples aplicaciones. Entre las publicaciones más significativas destacan Myers y Montgomery (1995), Box y Draper (1987), Khuri y Cornell (1987) y Cornell (2002)” (Gutiérrez Pulido, 2008).

Este método permite al investigador inspeccionar una respuesta que se puede mostrar como una superficie en la medida que los experimentos van probando el efecto que tiene el variar factores cuantitativos en los valores que toma la variable dependiente o respuesta.

Como ejemplo de esto se puede mencionar el estudio de los valores de temperatura y presión que afectan la tasa de una determinada reacción química y tras este estudio tratar de hallar los valores que optimicen esta respuesta encontrando los valores óptimos para las variables independientes que maximizan, minimizan o cumplen ciertas restricciones en la variable respuesta. (Figuroa 2003).

Figura 2.5 Visión gráfica de la metodología de superficie de respuesta



Fuente: Tomado de Gutiérrez Pulido (2008)

Es factible utilizar el diseño de experimentos a través de métodos de superficie de respuesta para lograr optimizar un determinado proceso teniéndose en cuenta que se trata de un conjunto de técnicas matemáticas utilizadas para el tratamiento de problemas en donde una respuesta de interés está influenciada por varios factores de carácter cuantitativo, siendo el objetivo principal la optimización de esa respuesta.

En ese sentido la respuesta podría expresarse como la función de distintos factores más un ruido que tendría carácter experimental

$$Y = n + \varepsilon = f(x_1, x_2 \dots \dots x_k) + \varepsilon$$

En la mayoría de problemas donde se utiliza la metodología de superficie de respuesta se desconoce la relación entre la respuesta y las variables independientes, es por esta razón que se podrían ajustar distintos modelos:

a) Modelo de primer orden

Donde la respuesta es una función lineal de cada uno de los factores

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \varepsilon$$

b) Modelo de segundo orden

En donde aparecen los términos cuadráticos y los productos cruzados

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \varepsilon$$

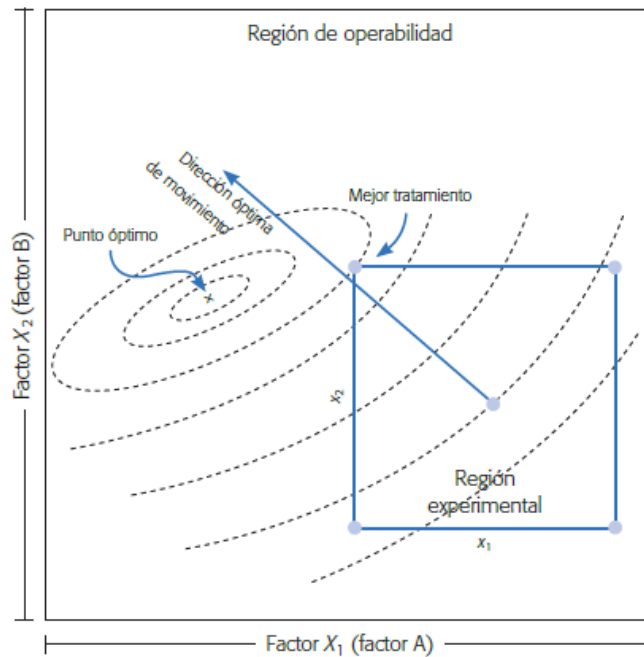
Resulta evidente que si nos encontramos cerca de un óptimo local tendríamos que usar un modelo de segundo orden debido a la presencia de un máximo y un mínimo.

Es importante advertir que la MSR resulta ser un procedimiento de tipo secuencial, si estamos en una zona en donde realizamos un diseño de experimentos alejado de un óptimo, lo que tendremos es una curvatura muy moderada de la superficie de respuesta y por tanto en esta zona sería factible emplear un modelo de primer orden.

Sin embargo, cuando estamos cerca del óptimo se presenta un aumento de la curvatura y por lo tanto el modelo de ajuste corresponderá a uno de segundo orden.

Para llegar desde la situación actual (condiciones de operación actual) a una zona cercana a un óptimo local se utiliza la metodología denominada de "Ascenso de la Colina" y se trata de moverse por la trayectoria de mayor pendiente o de ascenso más pronunciado desde la zona de experimentación, lo que se traduce en la búsqueda de nuevos ensayos hasta llegar a una zona en donde veamos que estamos cercanos al óptimo.

Figura 2.6 Mejor tratamiento y punto óptimo, región experimental y región de operabilidad



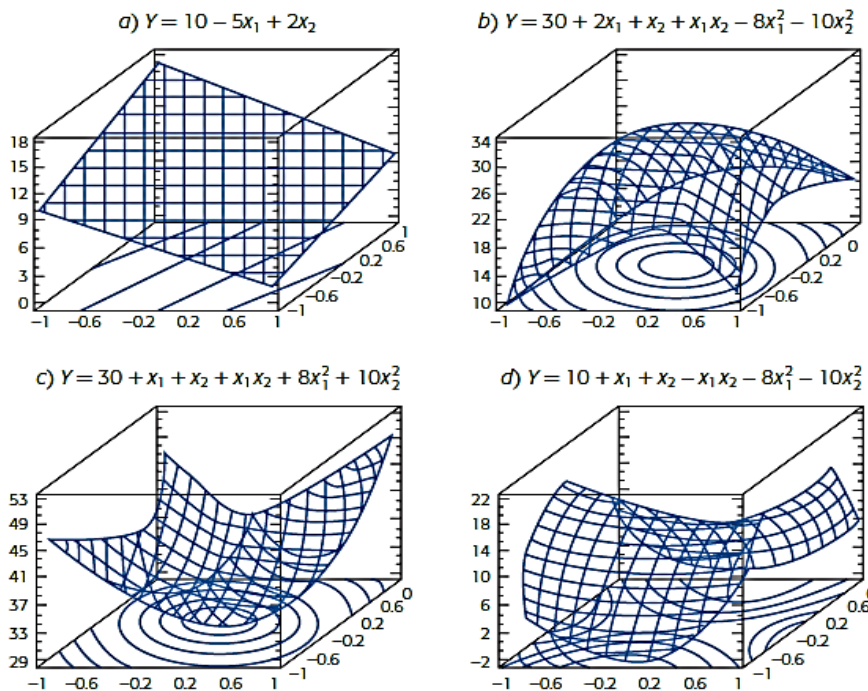
Fuente: Tomado de Gutiérrez Pulido (2008)

Los pasos de la trayectoria son proporcionales a los coeficientes de regresión del modelo lineal y el tamaño real del paso lo determina el experimentador con su experiencia.

Es posible utilizar el análisis canónico para caracterizar la superficie de respuesta por medio de la identificación de los valores propios, cuando estos sean negativos se concluye que es un punto estacionario máximo, si son positivos es un mínimo y con signos diferentes se trataría de puntos de silla.

como es sabido las superficies de respuesta se caracterizan ajustando un modelo a los datos experimentales y para este caso se usan básicamente polinomios.

Figura 2.7 Superficies de respuesta a) descritas por un modelo de primer orden. b), c), d) descritas por modelos de segundo orden



Fuente: Tomado de Gutiérrez pulido (2008)

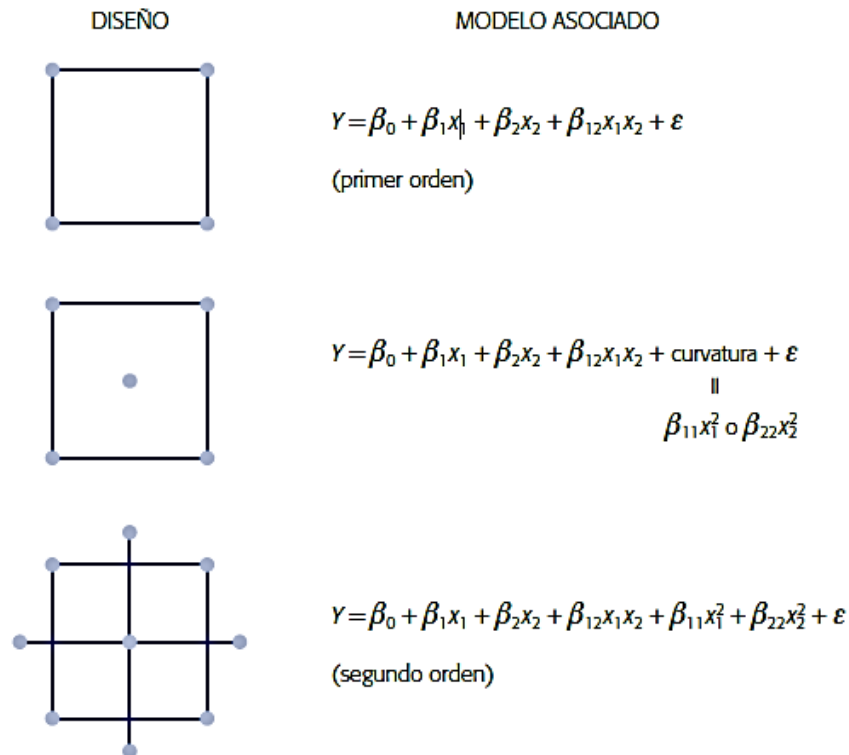
En conclusión, la metodología superficie respuesta permite:

- a) Sistematizar la búsqueda de un óptimo local mediante diseño de experimentos
- b) Lejos del óptimo la superficie de respuesta se adapta a un modelo de primer orden
- c) Un algoritmo eficiente de búsqueda es la trayectoria de máxima pendiente
- d) En los entornos del óptimo se puede aplicar un modelo de segundo orden y caracterizar el óptimo local

### 2.2.7 Relación Modelo - Diseño

Existe una relación entre el tipo de modelo que se pretende ajustar y el tipo de diseño que se debe de correr. Por ejemplo, a un diseño factorial le corresponde un modelo de primer orden, a uno factorial con puntos centrales le corresponde un modelo de primer orden más el efecto de la curvatura y a un diseño de composición central le corresponde un modelo de segundo orden.

Figura 2.8 Relación Modelo-Diseño



Fuente: Tomado de Gutiérrez Pulido (2008)

Cuando se plantean diseños de primer orden se sobreentiende que son importantes solo los efectos principales usando como criterio valido para la selección del diseño, que la varianza de la respuesta predicha sea mínima. los diseños que cumplen con este criterio son los que tiene la propiedad de ortogonalidad y entre los más empleados están:

- ❖ Diseños factoriales  $2^k$
- ❖ Diseños factoriales fraccionados  $2^{k-p}$
- ❖ Diseños de Plackett-Burman
- ❖ Diseños simplex

Se denominan diseños de segundo orden, aquellos que permiten ajustar un modelo curvo y así estudiar, además de los efectos lineales y de interacción, los efectos cuadráticos o de curvatura, por consiguiente, estos diseños se emplean para explorar una región que se espera sea más compleja o cuando se cree que el punto óptimo ya no se encuentra dentro de la región experimental. (Gutiérrez y Pulido, 2008).

Los diseños de segundo orden más recomendados son:

- ❖ Diseño de Box-Behnken
- ❖ Diseño de composición central

Es preciso resaltar que los diseños factoriales  $3^K$  también sirven para ajustar modelos de segundo orden, pero no son los más recomendados ya que requieren de más corridas experimentales.

### **Diseño de Composición Central (DCC)**

Es altamente utilizado cuando se detecta curvatura en el comportamiento de la variable de respuesta debido a que se puede construir en forma modular permitiendo recurrir a la experimentación secuencial la cual es una estrategia eficiente que reduce tiempos y costos.

La suma de los puntos factoriales y los puntos centrales más los puntos axiales conforman al diseño de composición central, justamente son los puntos axiales lo que garantizan la rotabilidad del diseño ya que están a una distancia alfa ( $\alpha$ ) del cero. Este valor alfa depende de la cantidad de puntos factoriales (número de tratamientos) que se tengan en el diseño.

Tabla 2.1 Valores de Alfa en función de los puntos factoriales

<b>F: Número de Puntos factoriales</b>	<b><math>\alpha = F^{1/4}</math></b>
4	1.414
8	1.682
16	2.000
32	2.378
64	2.828
128	3.364
256	4.000

Fuente: Elaboración propia

### **2.2.8 Función de Deseabilidad**

Es aquella función de los factores de control que transforma los valores predichos por el modelo a una escala [0, 1], para indicar qué tan deseables son. Este método fue propuesto originalmente por Harrington (1965) y después fue mejorado por Derringer y Suich (1980) y Derringer (1994). Consiste en definir una función en el espacio de factores que estima la deseabilidad global (DG) del producto en cada punto, de esta forma, convierte el problema de optimización multivariado en un problema de optimización univariado. Basta maximizar DG para obtener el punto óptimo buscado. Siendo la deseabilidad global, la que mide la deseabilidad



promedio de todas las respuestas en cada combinación de los factores y se obtiene hallando la media geométrica de las deseabilidades individuales (Gutiérrez Pulido, 2008)

### **2.3 Marco Conceptual**

La teoría del secado de los alimentos se fundamenta en la eliminación de la humedad contenida en materiales sólidos debido a la acción del calor siendo este transferido por convección, conducción o radiación logrando producir alimentos en condiciones máximas de estabilidad.

En la investigación se busca optimizar el secado del langostino con microondas debido a que la penetración de la energía radiante permite que el calor se genere de manera más uniforme al interior del alimento logrando un secado en mucho menor tiempo y a más bajas temperaturas minimizándose el daño celular en los tejidos.

Los otros métodos de secado deshidratan los alimentos desde el exterior endureciendo la superficie, dificultando la eliminación de agua y prolongando el proceso de secado disminuyendo de esta manera su valor nutritivo y sensorial mientras que las microondas alcanzan el interior del alimento consiguiendo evaporar el agua que contienen produciendo alimentos deshidratados de mayor calidad.

### **2.4 Definición de términos básicos**

#### **Actividad de agua**

Es la cantidad de agua libre que está disponible en los alimentos para el crecimiento microbiano, se simboliza  $a_w$  (activity of water) y se mide en valores que van desde el 0 hasta el 1, cuanto más bajo sea el valor significa que ese alimento cuenta con una menor cantidad de agua disponible para el crecimiento microbiano.

Todo alimento contiene una determinada cantidad de agua, una fracción de esta compone su estructura molecular y la otra se encuentra libre y es precisamente esta última la que usan los microorganismos para su desarrollo

#### **Agua libre**

También denominada agua congelable, es la proporción de agua de un alimento que se congela primero, se volatiliza rápidamente, se pierde en el calentamiento y es la responsable de la actividad del agua. Está disponible para actuar como solvente con azúcares y sales.

### **Agua ligada**

Es la que forma parte de la estructura molecular del alimento (combinada químicamente a la proteína o como agua de cristalización en los hidratos) y que por lo tanto no está disponible para actuar como solvente. No congela a -20°C

### **Alimento funcional**

Son aquellos que además de cumplir su papel nutricional, proporcionan un beneficio fisiológico adicional que puede disminuir el riesgo de algunas enfermedades y por lo tanto son necesarios para una vida saludable

### **Análisis canónico**

El análisis de correlación canónica es un método de análisis multivariante desarrollado por Harold Hotelling. Su objetivo es buscar las relaciones que pueda haber entre dos grupos de variables y la validez de las mismas.

Se diferencia del análisis de correlación múltiple en que éste solo predice una variable dependiente a partir de múltiples independientes, mientras que la correlación canónica predice múltiples variables dependientes a partir de múltiples independientes.

### **Deshidratación**

Deshidratar consiste en eliminar la mayor concentración posible de agua presente en un producto. El deshidratado a baja temperatura conserva la gran mayoría de los alimentos con las mismas vitaminas y minerales, nutrientes y enzimas que su equivalente fresco, y con sabores más concentrados.

### **Humedad de alimentos**

La humedad es el agua que se impregna en un cuerpo y en los alimentos es un parámetro de importancia tanto desde el punto de vista económico, como de la calidad organoléptica y nutricional. Debido a ello su medición está incluida dentro del Análisis Químico Proximal en el cual se mide principalmente el contenido de humedad, grasas, proteínas y cenizas

### **Modelo matemático**

Es uno de los tipos de modelos científicos que emplea algún tipo de formulismo matemático para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables de las operaciones, para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad.

## **Modelo polinomial**

Cuando la relación entre las variables dependientes e independientes es no lineal, es útil incluir términos polinomiales para ayudar a explicar la variación de nuestra variable dependiente.

la regresión polinomial es una forma de regresión lineal en la que la relación entre la variable independiente "x" y la variable dependiente "y" es modelada como un polinomio de grado "n" en "x"

## **Ortogonalidad**

El concepto de ortogonalidad es importante en el diseño de experimentos, porque dice algo acerca de la independencia. un experimento diseñado es ortogonal si los efectos de cualquier factor se equilibran (suman cero) con los efectos de los otros factores. Por lo tanto, La ortogonalidad garantiza que el efecto de un factor o interacción pueda estimarse de manera independiente del efecto de cualquier otro factor o interacción presente en el modelo.

## **Potencia de microondas**

Mayor o menor emisión de energía que llega a tener contacto con el material. Se dice que una potencia es máxima o del 100% si asegura la emisión de ondas de manera ininterrumpida durante un minuto de exposición, mientras que será media o del 75% si solo logra emitir ondas durante tres cuartas partes de cada minuto. Una potencia baja o del 50% garantiza emisión de microondas durante la mitad de cada minuto y durante la otra mitad no.

## **Propiedad funcional**

Característica de un alimento que, por estar formado por un número muy grande de sustancias químicas complejas, contienen compuestos fisiológicamente activos –bioactivos- tales como el licopeno, el resveratrol, los lignanos, los taninos, los indoles, omega 3, carotenoides, etc. que ayudan a disminuir el riesgo de padecer ciertas enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo (enfermedad coronaria, infarto cerebral, diabetes, obesidad, algunos cánceres, enfermedades neurodegenerativas, etc.).

## **Propiedad nutricional**

Cualquier representación que afirme, sugiera o implique que un alimento posee propiedades nutritivas particulares especiales, no sólo en relación con su valor energético y contenido de proteínas, grasas y carbohidratos, sino además con su contenido de vitaminas y minerales.

## **Propiedades físicas de los alimentos**

Las podemos ver y medir sin alterar su composición. Son el resultado de las interacciones fisicoquímicas en el sistema. (propiedades geométricas, térmicas, ópticas, reológicas y texturales )

### **Radiación**

Es el calor emitido por un cuerpo debido a su temperatura, en este caso no existe contacto entre los cuerpos, ni fluidos intermedios que transporten el calor. Simplemente por existir un cuerpo A (sólido o líquido) a una temperatura mayor que un cuerpo B existirá una transferencia de calor por radiación de A a B.

### **Región experimental**

Es el espacio delimitado por los rangos de experimentación utilizados con cada factor.

### **Región de operabilidad**

Está delimitada por el conjunto de puntos o condiciones donde el equipo o proceso puede ser operado

### **Rehidratación de alimentos**

Es la transferencia de materia ocurrida debido a la absorción de agua hasta alcanzar la humedad de equilibrio. Esto produce en el alimento aumento de volumen y salida de sólidos.

### **Tratamiento térmico**

Se conoce como tratamiento térmico al conjunto de operaciones de calentamiento y enfriamiento, bajo condiciones controladas de temperatura, tiempo de permanencia, velocidad y presión

### **Vida útil**

Es el tiempo que transcurre desde la producción o envasado de un producto hasta el punto en el que este pierde sus propiedades fisicoquímicas, microbiológicas u organolépticas. Este plazo es definido por la empresa que lo fabrica basado en estudios específicos.

### **III. HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1 Hipótesis general**

Si se aplica un diseño de composición central de superficie de respuesta para el proceso de secado microondas de colas de langostino efectuando cambios en las condiciones de potencia y masa, entonces se logrará caracterizar la zona óptima de proceso que permita maximizar la capacidad de rehidratación del producto final.

#### **Hipótesis específicas**

- Efectuando cambios en la masa de cola del langostino entre 08 y 16 gramos(g) se conseguirá hallar la zona óptima del proceso que permita maximizar la capacidad de rehidratación del producto final.
- Realizando variaciones en la potencia del microondas entre 209 y 696 W. se logrará hallar la zona óptima del proceso que consiga maximizar la capacidad de rehidratación del producto final.
- Aplicando la metodología de superficie de respuesta determinaremos el modelo matemático de mejor ajuste para el proceso que permita maximizar la capacidad de rehidratación del producto final y que por tratarse de un óptimo local deberá ser caracterizado por una ecuación de segundo orden.

#### **3.1.1 Operacionalización de variables**

##### **Variable Independiente**

- **Nivel de potencia de microondas.**

Mayor o menor emisión de energía que llega a tener contacto con el alimento. Se probarán tres niveles de potencia: Alta (696 W.), Media (487 W.), Baja (209 W.). Se mide directamente usando el temporizador del horno

- **Masa de cola**

Mayor o menor cantidad de músculo (abdomen) de langostino obtenido por separación manual del cefalotórax, se determina directamente con una balanza digital analítica. Se utilizaron "colas" de 08,12 y 16 gramos (g) respectivamente. (La densidad de carga del producto variará entre 0.57 a 1.15 kg/m<sup>2</sup>)

## Variable Dependiente

### Capacidad de Rehidratación (CR)

- Es la razón entre la masa en gramos de cola de langostino rehidratada y la masa en gramos de cola de langostino seca. Este indicador expresa un atributo de calidad del producto seco a rehidratarse. Se determina a partir de la ecuación (1)

$$Cr = \frac{Wr}{Ws} \quad (1)$$

Dónde  $Wr$  es el peso total al final de la rehidratación y  $Ws$  es el peso del material seco.

Tabla 3.1 Operacionalización de Variables

VARIABLES	TIPO DE VARIABLE	INDICADORES	INSTRUMENTO
Potencia de microondas	Independiente	Nivel de intensidad de la energía durante un lapso determinado de tiempo, medida en watts 209 - 696 W	Reloj Temporizador
Masa de cola	Independiente	Cantidad de músculo de langostino medido en gramos 08 - 16 (g) Densidad de carga ( 0.57 - 1.15 kg/m <sup>2</sup> )	Balanza Digital Analítica
Capacidad de rehidratación	Dependiente	Razón entre la masa en gramos de langostino rehidratada y la masa de langostino seca	Balanza Digital Analítica

Fuente: Elaboración Propia

## IV METODOLOGÍA DEL PROYECTO

### 4.1 Diseño metodológico

La investigación que presentamos es:

**Aplicada**, porque nos interesa generar métodos con la finalidad de optimizar la operación de secado microondas de langostinos que permita obtener un producto con mayor valor agregado para el sector pesquero.

**Sincrónica**, porque se estudiaron fenómenos durante un periodo corto de 4 meses

**Explicativa**, porque además de medir la variable dependiente capacidad de rehidratación, evaluó las relaciones de influencia de las variables independientes potencia de microondas y masa de cola de langostino.

**Microgrupo**, porque se hizo referencia al estudio de variables y sus relaciones en grupos pequeños

**Primaria**, porque los datos fueron recogidos por el investigador para la investigación

**Cuantitativa**, porque se va midió objetivamente y se demostró la causalidad de las variables independientes

**De laboratorio**, porque la investigación siguió un procedimiento técnico, sistemático y analítico en un laboratorio piloto de procesamiento.

**Experimental**, porque el investigador tiene control de las variables independientes potencia de microondas y masa de cola, las cuales se hicieron variar en la forma más apropiada y de acuerdo a los objetivos de la investigación.

Un diseño es la estructura que adopta el investigador para relacionar y controlar las variables de estudio. Es el instrumento que le permite determinar los pasos a seguir a fin de encontrar posibles soluciones al problema.

El diseño de investigación tiene dos propósitos básicos:

- Proporcionar respuestas a las preguntas de investigación
- Controlar la varianza

En esta investigación se empleó el arreglo factorial  $2^2$  como punto de partida a fin de tener una idea de la significancia de los factores y sus efectos principales en la variable de respuesta.

Debido a que los factores estudiados admitían un nivel intermedio se corrieron los puntos centrales a fin de generar replicas y determinar la

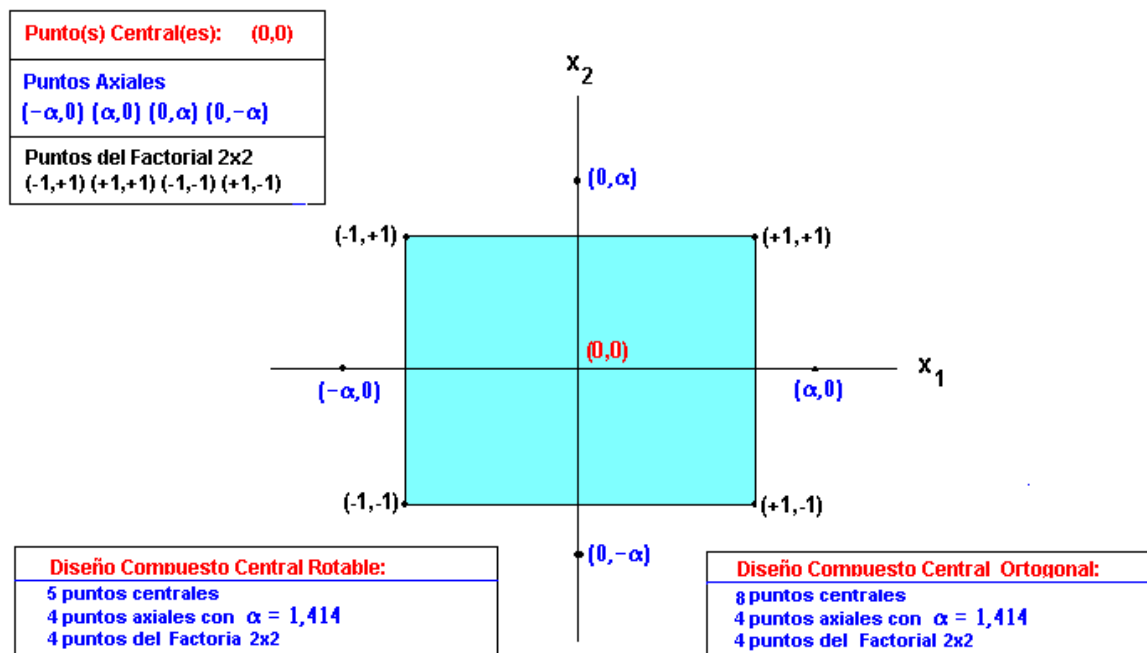
presencia de curvatura en el comportamiento de la variable de respuesta para realizar un análisis más detallado de la influencia de los factores.

Si la curvatura resulta significativa, entonces la variable de respuesta dejaría de tener un comportamiento lineal para manifestar un comportamiento curvo o cuadrático, caso contrario se deberá de mantener el modelo de primer orden.

Luego del análisis del diseño factorial con puntos centrales al verificar la significancia de la curvatura se debe escalar en el modelo hacia un diseño de composición central rotatable (DCC), para lo cual se precisan correr los puntos axiales del diseño.

El DCC es un diseño para superficie de respuesta que permite ajustar una regresión de segundo orden siendo el más utilizado a la hora de optimizar la respuesta o múltiples respuestas debido a que es factible construirlo de manera modular pudiéndose recurrir a la experimentación secuencial, una estrategia eficiente que reduce tiempo y costos en la experimentación.

Figura 4.1: Diseño de Composición Central



Fuente: <http://ula.ve/economia/sinha/supresp.htm>



## 4.2 Método de investigación

La investigación fue diseñada para ser llevada a cabo en cinco etapas que a continuación se describen.

### Fase 1: Determinación de Tiempos de secado y Humedad final

Debido a que se desconocía el comportamiento del proceso de secado con microondas de colas de langostino se planteó la realización de pruebas previas cuantitativas con la finalidad de observar el resultado sobre la humedad final del producto.

El objetivo de estas pruebas fue obtener tiempos de secado para cada nivel de potencia y masa que permitan alcanzar una humedad final promedio del 14% en base húmeda para el producto deshidratado y a partir de allí ir encontrando los parámetros óptimos que maximicen la capacidad de rehidratación. (Jiménez Gómez, 2020)

Es bueno recordar que el secado es el proceso a través del cual se elimina la mayor parte del agua que contienen los alimentos con la finalidad de prolongar su vida útil aumentando así su conveniencia y valor.

La pérdida de humedad en el langostino se obtendrá usando la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{(W_i - W_f)}{W_i} \times 100$$

Donde  $\%H$  es el porcentaje de humedad,  $W_i$  es la masa en gramos de la muestra al inicio del proceso y  $W_f$  es la masa de la muestra luego de un tiempo determinado.

El secado se realizó a capa simple y se utilizó un porta muestra circular de 415.5 cm<sup>2</sup> de superficie, las colas fueron pesadas periódicamente en la balanza digital analítica hasta alcanzar la humedad final descrita líneas arriba.

### Fase 2: Determinación de factores significativos

En esta etapa se analizaron los efectos principales de los factores, las interacciones y su significancia en el proceso. En esta fase se utilizó un diseño con arreglo factorial 2<sup>2</sup> el mismo que permite ajustar un modelo de primer orden.

A continuación, se muestra el arreglo factorial 2<sup>2</sup> con los niveles alto (1) y bajo (-1) de los factores masa (A) y potencia(B). Se efectuarán dos replicas para puntos factoriales obteniéndose un total de 08 corridas experimentales.

Cuadro 4.1 Arreglo factorial 2<sup>2</sup> con variables codificadas

A	B	Y
-1	-1	Y1
1	-1	Y2
1	1	Y3
-1	1	Y4

Y: Variable respuesta

Resumen del diseño

Factores:	2	Diseño de la base:	2, 4
Corridas:	8	Réplicas:	2
Bloques:	1	Puntos centrales (total):	0

Elaboración propia

**Fase 3: Determinación de la presencia de curvatura**

Debido a que los factores estudiados admiten un nivel intermedio es factible correr los puntos centrales en el diseño, es decir generar replicas en el punto central para determinar la presencia de curvatura en el comportamiento de la variable de respuesta capacidad de rehidratación. Para esto se propuso usar un diseño con arreglo factorial 2<sup>2</sup> con 5 réplicas en el punto central, permitiendo de esta manera el desarrollo de una experimentación secuencial.

Cuadro 4.2 Diseño con arreglo factorial 2<sup>2</sup> con repeticiones en el punto central

OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Masa (g)	Potencia(w)	Y
1	1	1	-1	-1	Y1
2	2	1	1	-1	Y2
3	3	1	-1	1	Y3
4	4	1	1	1	Y4
5	5	1	-1	-1	Y5
6	6	1	1	-1	Y6
7	7	1	-1	1	Y7
8	8	1	1	1	Y8
9	9	0	0	0	Y9
10	10	0	0	0	Y10
11	11	0	0	0	Y11
12	12	0	0	0	Y12
13	13	0	0	0	Y13

Y: Variable respuesta

#### Fase 4: Determinación del modelo de mejor ajuste

Luego de analizar el diseño factorial con puntos centrales y al comprobarse la significancia de la curvatura, se debe escalar en el modelo hacia un diseño de composición central rotatable el cual es un diseño para superficie de respuesta que permite ajustar una regresión de segundo orden debiéndose para ello añadir al modelo los puntos axiales. Se utilizó un valor de alfa de 1.414 debido a la presencia de 4 tratamientos factoriales con un total de 13 corridas experimentales.

Cuadro 4.3 Diseño de composición central

OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Masa (g)	Potencia (w)	Y
1	1	1	-1	-1	Y1
2	2	1	1	-1	Y2
3	3	1	-1	1	Y3
4	4	1	1	1	Y4
5	5	-1	-1.41421	0	Y5
6	6	-1	1.41421	0	Y6
7	7	-1	0	-1.41421	Y7
8	8	-1	0	1.41421	Y8
9	9	0	0	0	Y9
10	10	0	0	0	Y10
11	11	0	0	0	Y11
12	12	0	0	0	Y12
13	13	0	0	0	Y13

Fuente: Elaboración propia

#### Fase 5: Determinación de la condición óptima y validación del modelo

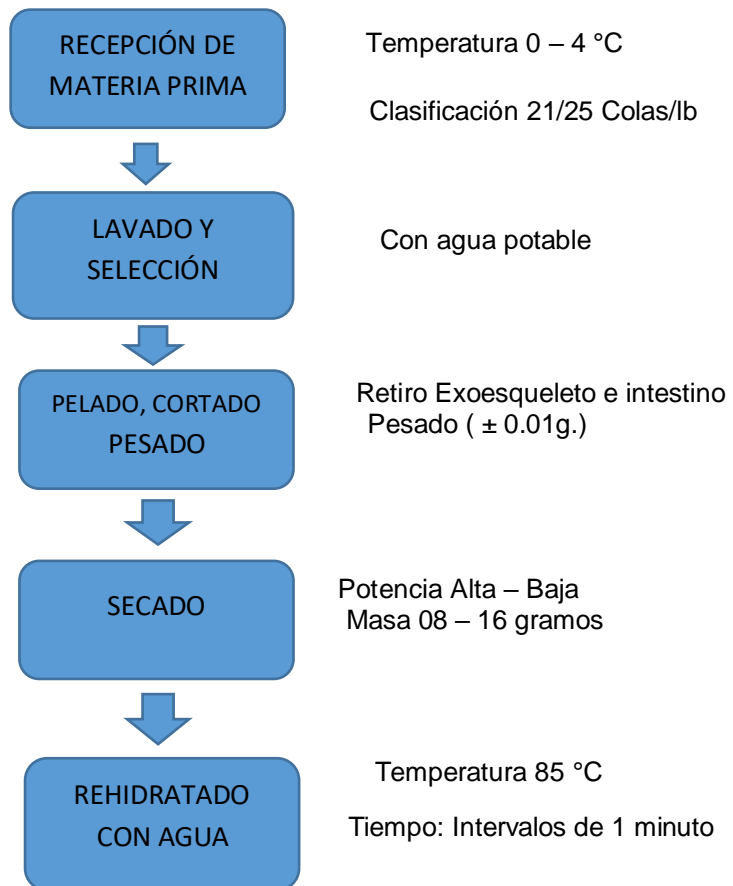
Una vez establecido el modelo de mejor ajuste se procede a encontrar la condición que maximiza la capacidad de rehidratación del producto final usándose para este fin el método de la función de deseabilidad.

La bondad del modelo matemático generado para predecir la máxima capacidad de rehidratación se valida experimentalmente usando las condiciones determinadas por la función de deseabilidad global.

## Descripción general del proceso

Este proyecto se llevó a cabo en “Laboratorio de Ingeniería de Procesos y Operaciones Unitarias” de la Facultad de Ingeniería Pesquera y Alimentos (LIPOU-FIPA) cumpliendo el orden del flujo de operaciones que se muestra a continuación.

Figura 4.2: Flujo de operaciones para la obtención de colas secas de langostino



## Materia prima

El langostino blanco *Litopenaeus vannamei* procedente de los departamentos de Tumbes y Piura fue adquirido en el Terminal Pesquero de Ventanilla (clasificación 21/25 colas por libra) y se transportó refrigerado a temperaturas  $\leq 4.4^{\circ}\text{C}$  hasta el “Laboratorio de Ingeniería de Procesos y Operaciones Unitarias” de la Facultad de Ingeniería Pesquera y Alimentos (LIPOU-FIPA) de la Universidad Nacional del Callao.

La evaluación físico-organoléptica (olor, color y textura) se realizó de acuerdo con la tabla de evaluación sensorial del Manual de Indicadores o criterios de seguridad alimentaria e higiene para alimentos y piensos de origen pesquero y acuícola (SANIPES, 2010).

El criterio de aceptación de la materia prima estuvo dado por el cumplimiento de la categoría de fresca EXTRA (puntajes 9,8,7) y A (puntajes 6,5).

A la par de realizo el control de temperatura cuyos valores se mantuvieron en  $\leq 4.4$  °C además de verificarse la ausencia de parásitos o de lubricantes y combustibles.

### **Selección**

Se realizó la separación de las colas que presenten daño físico producto de la estiba y manipulación

### **Lavado**

Se realizo manualmente con agua potable a fin de eliminar impurezas y materiales extraños.

### **Pelado - Desvenado - Cortado**

Se procedió a retirar el exoesqueleto de cada una de las colas, se removió el intestino y se efectuaron los cortes respectivos.

### **Pesado**

Se pesaron individualmente los trozos de cola de langostino en una balanza analítica con  $\pm 0.01$ g. de incertidumbre

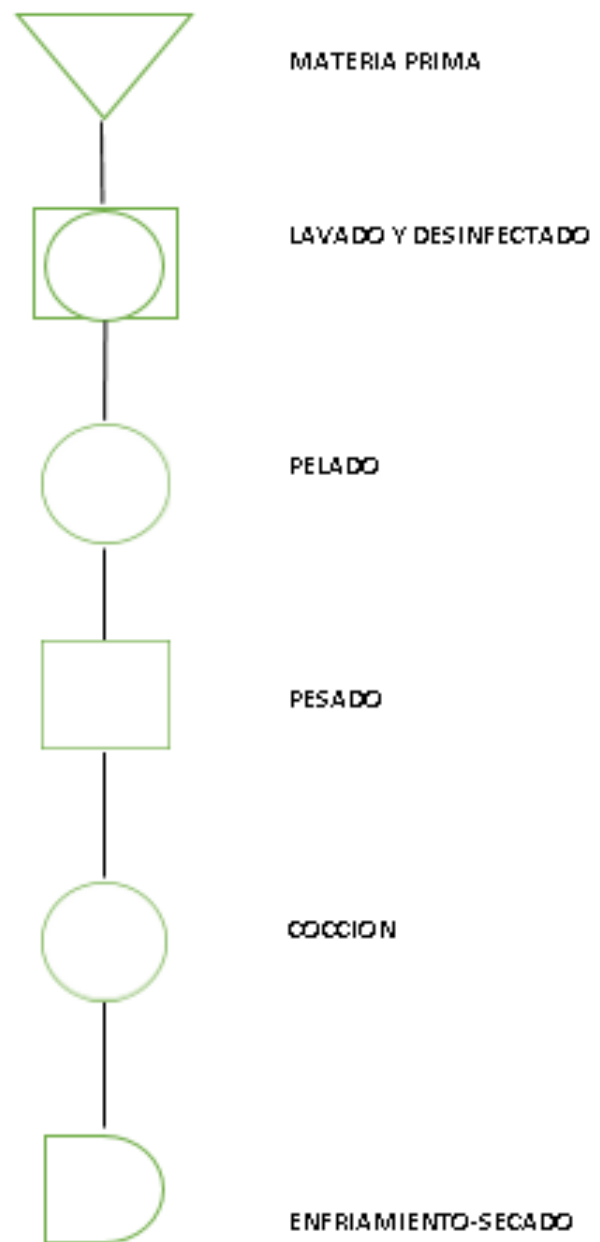
### **Secado**

Se utilizaron dos equipos microondas de 52.3 x 30.9 x 47.98 cm y 32 litros de capacidad con 03 y 09 niveles de potencia respectivamente, hasta llegar a un nivel de peso constante.

### **Rehidratado**

Se controla la Temperatura del agua en 85°C, se sumergieron las muestras secas y los cambios en el peso se registraron cada minuto durante un intervalo de 1 a 10 minutos.

## Diagrama de Operaciones de Proceso (DOP)



	ALMACENAMIENTO
	COMBINADA
	OPERACION
	INSPECCION
	ALMACENAMIENTO TEMPORAL

## 4.3 Población y muestra

### 4.3.1 Población

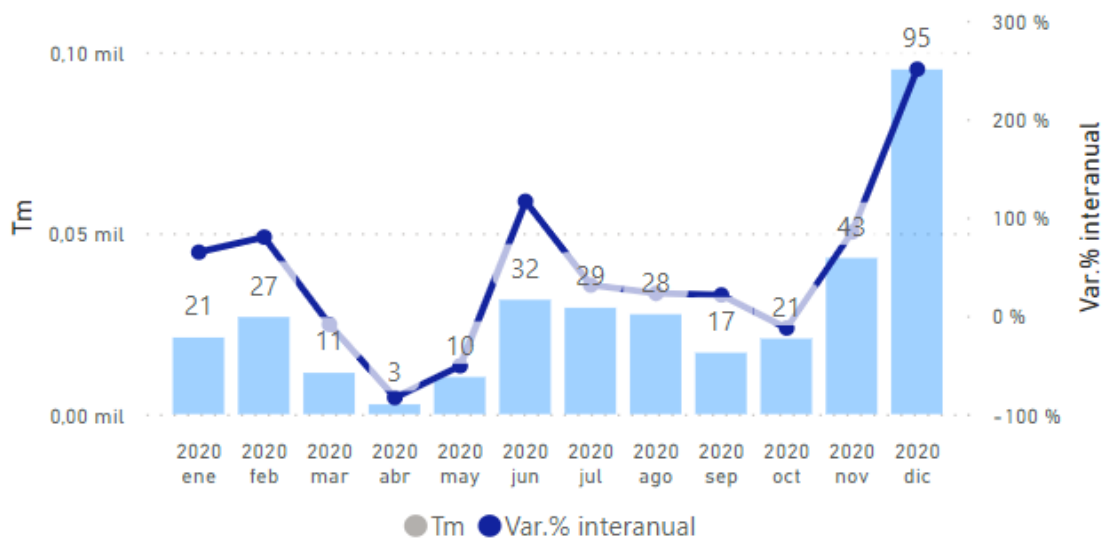
Todo estudio estadístico tiene como propósito extraer conclusiones acerca de la naturaleza de una determinada población ya que al ser esta muy grande e inaccesible de ser estudiada en su integridad las conclusiones obtenidas deberán basarse en el estudio de solamente una fracción de esta, es decir se deberá de examinar una muestra como medio para acercarse al conocimiento cabal de la población.

Esta muestra debe de cumplir dos requisitos indispensables: la representatividad y la inferencia.

Para la presente investigación la población está determinada por la totalidad de toneladas de langostino que se comercializan en el Terminal Pesquero de Ventanilla en un determinado día.

Durante el 2020 ingresaron a este terminal 337 toneladas de este recurso existiendo gran variabilidad entre los volúmenes ingresados mes a mes tal como lo demuestra la siguiente figura.

Figura 4.3: Volumen de langostino ingresado al mercado VMT 2020 (TM)



Fuente: Tablero BI Abastecimiento Diario Mercados Mayoristas Pesqueros

## Características de la población de langostinos (colas)

Cuadro 4.4 Características de la Población

Característica	Unidades
Longitud	7 cm
Masa	20,24 g.
Calorias	85,72 Kcal/100g.
Proteinas	18,90%
Grasa	0,56%
Humedad	78,25%

Fuente: Elaboración Propia

### Delimitación de la Población

La característica escogida para delimitar a la población fue el Peso en gramos de las colas de langostino.

### Ubicación espacio – tiempo de la población

La muestra extraída en la Región Callao, Provincia del Callao, distrito de Ventanilla: Mercado Mayorista Pesquero, fue conformada en julio del 2019.

### 4.3.2 Muestra

Los métodos de muestreo probabilísticos son aquellos que se basan en el principio de equiprobabilidad es decir, aquellos en los que todos los individuos tienen la misma probabilidad de ser elegidos para formar parte de la muestra y, consiguientemente, todas las posibles muestras de tamaño “n” tienen la misma probabilidad de ser elegidas. Sólo estos métodos de muestreo probabilísticos nos aseguran la representatividad para la muestra extraída y son, por tanto, los más recomendables.

El propósito final del muestreo es elegir un conjunto de elementos de una población de modo tal que la descripción de dichos elementos (estadísticos) represente en forma precisa los parámetros de la población de la que fueron tomados. Un muestreo probabilístico aumenta la probabilidad de alcanzar este objetivo.



## Tamaño de la muestra

A la hora de determinar el tamaño que debe alcanzar una muestra se tomaron en cuenta factores como: el tipo de muestreo, el parámetro a estimar, el error muestral admisible, la varianza poblacional y el nivel de confianza.

Para determinar el tamaño de la muestra cuando se desea investigar un solo parámetro se usa la siguiente fórmula:

$$n = \frac{t^2 s^2}{d^2}$$

$n$ : Tamaño de la muestra

$t^2$ : correspondiente a un nivel de confianza seleccionado por el investigador  
 $Z=(1.645)^2$

$\sigma^2$ : Varianza del parámetro poblacional que se desea estimar

$d^2$ : Error permisible al cuadrado en la estimación del Parámetro  $(0.05)^2$

Cuadro 4.5 Estimación de la varianza

Unidades Experimentales (Colas de langostino)	Masa (g.)
1	18,90
2	19,00
3	19,20
4	19,25
5	19,10
6	21,30
7	21,60
8	21,90
9	19,90
10	20,20
11	20,30
12	20,45
13	20,60
14	20,90
15	21,00
Total	303,60
Promedio	20,24
Desvest	0,99
Varianza	0,915

Fuente: Elaboración Propia

Se determino el tamaño en peso de una muestra de langostinos, empleando un coeficiente de confianza de 0.90, y asegurándose que la estimación del muestreo esta entre  $\pm 5\%$  de la proporción poblacional

$$\frac{(1.645)^2 (0.915)^2}{(0.05)^2}$$

El tamaño en peso de la muestra de langostinos fue de **906.22** gramos

#### **4.4 Lugar de estudio**

La presente investigación se realizó en el “Laboratorio de Ingeniería de Procesos y Operaciones Unitarias” de la Facultad de Ingeniería Pesquera y de Alimentos (LIPOU-FIPA) de la Universidad Nacional del Callao entre los meses de julio a setiembre del 2019.

#### **4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información**

##### **4.5.1 Técnicas para la recolección de datos**

- La observación de los fenómenos con el fin de obtener la información necesaria para la investigación.
- La experimentación inicial para el estudio de un fenómeno, reproducido generalmente en un laboratorio, en las condiciones particulares de estudio que interesan, eliminando o introduciendo aquellas variables que puedan influir en él.
- Las entrevistas con especialistas
- La revisión de artículos científicos y documentación asociada

##### **4.5.2. Instrumentos de recolección de datos**

- Fichas técnicas que detallen las características de todos los productos involucrados tales como análisis físicos, fisicoquímicos bioquímicos y sensoriales
- Registros de procesamiento, que den cuenta de los datos que se van generando a partir de las corridas experimentales, los parámetros y operaciones unitarias involucradas.
- Formatos para registrar información de las compras de materia prima costos fijos y variables.

#### **4.6 Análisis y procesamiento de datos**

Para determinar el diseño factorial  $2^k$ , el arreglo factorial con puntos centrales, el diseño de composición central, así como la optimización de la

respuesta vía la función deseabilidad global se empleó el programa estadístico Minitab 19 statistical software

La relevancia de cada factor se llegó a determinar mediante el diagrama de Pareto, el diagrama de efectos principales y el análisis de varianza.

El análisis de varianza es una técnica donde la variación total presente en el conjunto de datos se divide en varias componentes, cada una de las cuales tiene asociada una fuente de variación específica de manera que en el análisis es posible conocer la magnitud de las contribuciones de cada fuente de variabilidad a la variación total.

#### **4.7 Aspectos éticos en investigación**

Una investigación científica debe llevarse a cabo respetando las normas éticas que la misma ciencia impone. Sin embargo, debido a múltiples razones, en algunas ocasiones se ha recurrido al ocultamiento de información, a la apropiación de la autoría o incluso a la falsificación de resultados.

Existen principios éticos generalmente aceptados que rigen a la actividad científica los cuales definen un conjunto de valores compartidos por esta comunidad. La transgresión de estos principios se penalizada con severidad.

En ese sentido afirmo que en la elaboración del presente proyecto de investigación se ha respetado escrupulosamente las normas internacionales de citas y referencias para la bibliografía consultada por lo tanto no ha sido plagiado ni en parte ni en todo.

## V RESULTADOS

### 5.1 Resultados descriptivos

#### 5.1.1 Análisis Físico

Se llevó a cabo el análisis físico de las colas frescas de langostino *Litopenaeus vannamei* que se utilizaron en la presente investigación.

Cuadro 5.1 Características físicas de colas frescas de langostino *Litopenaeus vannamei*

Forma	Exoesqueleto	Olor	Pulpa	Peso (g)	Diámetro (mm)
				$x \pm \sigma$	$x \pm \sigma$
Cilíndrica	Rosaceo	A mar-neutro	Blanca-nacarada	20,24 ± 0,99	11,5 ± 0,95

Fuente: Elaboración propia

#### 5.1.2 Análisis Proximal

Cuadro 5.2 Resultados del análisis proximal del langostino fresco *Litopenaeus Vannamei*

Determinación	Resultado	Unidades
Ceniza	1,02	%
Grasa	0,56	%
Humedad	78,25	%
Proteínas	18,90	%
Energía Total	85,72	Kcal/100g.
Carbohidratos Totales	1,27	%

Fuente: Elaboración propia (realizado en CERTIFICAL SAC)

### 5.1.3: Determinación de Tiempos de secado y Humedad final

Debido a que se desconocía el comportamiento del proceso de secado con microondas de colas de langostino se efectuaron pruebas previas cuantitativas con la finalidad de observar el resultado sobre la humedad final del producto.

El objetivo de estas pruebas era obtener tiempos de secado para cada nivel de potencia y masa que permitan alcanzar una humedad final promedio del 14% en base húmeda para el producto deshidratado y a partir de allí ir encontrando los parámetros óptimos que maximicen la capacidad de rehidratación. (Jiménez Gómez, 2020).

La pérdida de humedad en el langostino se obtuvo usando la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{(W_i - W_f)}{W_i} \times 100$$

Donde %H es el porcentaje de humedad,  $W_i$  es la masa en gramos de la muestra al inicio del proceso y  $W_f$  es la masa de la muestra luego de un tiempo determinado.

El secado se realizó a capa simple utilizando un porta muestra circular de 415.5 cm<sup>2</sup> de superficie, las colas fueron pesadas periódicamente en la balanza digital analítica hasta alcanzar la humedad final descrita líneas arriba.

Cuadro 5.3: Tiempos de secado según nivel de potencia y masa

Potencia propuesta por el DCC (W)	Potencia empleada experimentalmente (W)	Masa (g)	Tiempo (s)	Humedad (%)	CR
209 (-1)	209	8 (-1)	540	14,93	1,09
696 (1)	696	8 (-1)	90	14,78	1,30
209 (-1)	209	16 (1)	660	14,45	1,11
696 (1)	696	16 (1)	110	14,76	1,13
452,5 (0)	487	6,34 (-1,41421)	95	14,88	1,30
452,5 (0)	487	17,65 (1,41421)	145	14,56	1,11
108,139 (-1,41421)	139	12 (0)	600	14,88	1,10
796,861 (1,41421)	696	12 (0)	100	14,66	1,22
452,5 (0)	487	12 (0)	105	14,24	1,04

Elaboración propia

## 5.2 Resultados inferenciales

### Determinación de factores significativos

Se efectuó el arreglo factorial  $2^2$  con los niveles alto (1) y bajo (-1) de los factores masa(A) y potencia(B). Se efectuaron dos replicas para puntos factoriales obteniéndose un total de 08 corridas experimentales.

Cuadro 5.4 Arreglo factorial  $2^2$  con variables codificadas

A	B
-1	-1
1	-1
1	1
-1	1

#### Resumen del diseño

Factores:	2	Diseño de la base:	2, 4
Corridas:	8	Réplicas:	2
Bloques:	1	Puntos centrales (total):	0

Elaboración propia

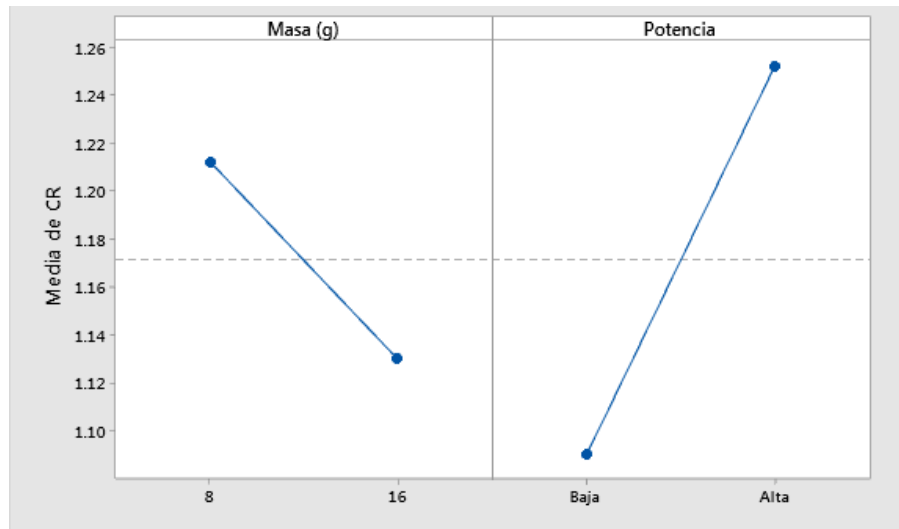
Cuadro 5.5: Arreglo factorial  $2^2$  con variables codificadas y respuesta experimental

OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Masa (g)	Potencia(w)	CR
1	1	1	-1	-1	1.09
2	2	1	1	-1	1.11
3	3	1	-1	1	1.3
4	4	1	1	1	1.13
5	5	1	-1	-1	1.14
6	6	1	1	-1	1.02
7	7	1	-1	1	1.32
8	8	1	1	1	1.26

Elaboración propia

Al evaluar los efectos principales y su influencia sobre la capacidad de rehidratación del producto final se observó que la potencia presenta un efecto superior al pasar de su nivel bajo al alto.

Figura 5.1 Efectos principales de los factores sobre la Capacidad de Rehidratación



Fuente: Elaboración propia

Los análisis de varianza para el promedio de los factores sobre la capacidad de rehidratación del producto final se observan en el cuadro 5.6 la significancia de los factores en el ANOVA fue determinada por los valores “p” y de acuerdo con los resultados, la potencia resultó siendo significativa ( $p < 0,05$ ). Siendo el modelo de primer orden el más indicado para explicar el comportamiento de los factores.

Cuadro 5.6 Resultados del análisis de varianza del diseño factorial 2<sup>2</sup>

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	0.068538	0.022846	6.55	0.050
Lineal	2	0.066425	0.033213	9.52	<b>0.030</b>
Masa (g)	1	0.013612	0.013612	3.90	0.119
<b>Potencia</b>	1	0.052813	0.052813	15.14	<b>0.018</b>
Interacciones de 2 términos	1	0.002113	0.002113	0.61	0.480
Masa (g)*Potencia	1	0.002113	0.002113	0.61	0.480
Error	4	0.013950	0.003488		
Total	7	0.082488			

Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro 5.7 se muestra el resumen del modelo presentándose niveles aceptables en los valores de los coeficientes de determinación R<sup>2</sup> ajustado, aunque con un bajo nivel de predicción

Cuadro 5.7 Resumen del modelo factorial 2<sup>2</sup>

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0590551	83.09%	70.40%	32.35%

Fuente: Elaboración propia

### Determinación de la presencia de curvatura

Como el nivel de potencia y la masa son factores que admitían un nivel intermedio, se decidió correr puntos centrales, es decir generar replicas en el punto central para determinar la presencia de curvatura en el comportamiento de la variable de respuesta capacidad de rehidratación. En el cuadro 5.8 se muestra el diseño con arreglo factorial 2<sup>2</sup> con 5 réplicas en el punto central, permitiendo de esta manera la realización de una experimentación secuencial con 13 corridas experimentales.

Cuadro 5.8 Diseño con arreglo factorial 2<sup>2</sup> con repeticiones en el punto central

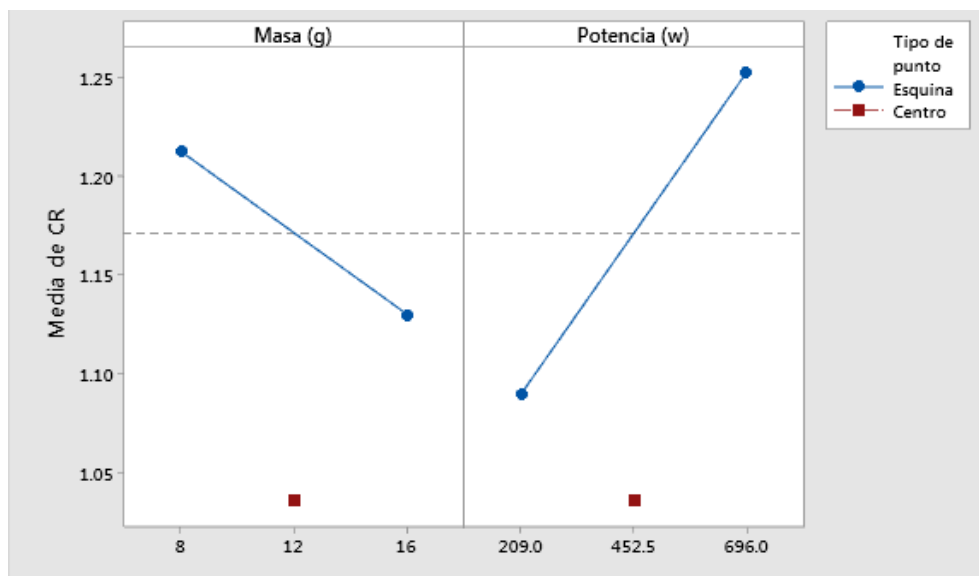
OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Masa (g)	Potencia(w)	CR
1	1	1	-1	-1	1.09
2	2	1	1	-1	1.11
3	3	1	-1	1	1.3
4	4	1	1	1	1.13
5	5	1	-1	-1	1.14
6	6	1	1	-1	1.02
7	7	1	-1	1	1.32
8	8	1	1	1	1.26
9	9	0	0	0	1.04
10	10	0	0	0	1.01
11	11	0	0	0	1.04
12	12	0	0	0	1.06
13	13	0	0	0	1.03

Fuente: Elaboración propia

La Figura 5.2 muestra los efectos principales de los factores en donde se aprecia que los promedios de las repeticiones en el punto central permitirían discriminar la presencia de curvatura en el comportamiento de la variable de respuesta.



Figura 5.2 Efectos principales puntos factoriales y punto central y capacidad de rehidratación



Fuente: Elaboración propia

El análisis de varianza que se muestra en el cuadro 5.9 indica que tanto la masa como la potencia presentan efectos significativos, además de determinar significancia en la curvatura.

Cuadro 5.9 Resultados del análisis de varianza del diseño factorial  $2^2$  con repeticiones en el punto central

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	4	0.124822	0.031206	16.35	0.001
Lineal	2	0.066425	0.033212	17.40	0.001
Masa (g)	1	0.013613	0.013613	7.13	<b>0.028</b>
Potencia (w)	1	0.052812	0.052812	27.67	<b>0.001</b>
Interacciones de 2 términos	1	0.002113	0.002113	1.11	0.324
Masa (g)*Potencia (w)	1	0.002113	0.002113	1.11	0.324
Curvatura	1	0.056285	0.056285	29.49	<b>0.001</b>
Error	8	0.015270	0.001909		
Total	12	0.140092			

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 5.10 se muestra el resumen del modelo presentándose niveles satisfactorios en los valores de los coeficientes de determinación  $R^2$  ajustado y con un nivel de predicción más alto que en el diseño factorial puro.

Cuadro 5.10 Resumen del modelo factorial 2<sup>2</sup> con repeticiones en el punto central

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0436892	89.10%	83.65%	58.70%

Fuente: Elaboración propia

### Determinación del modelo de mejor ajuste

Luego de analizar el diseño factorial con puntos centrales y habiéndose comprobado la significancia de la curvatura se escaló en el modelo hacia un diseño de composición central rotatable, que se presenta en el cuadro 5.11 el cual es un diseño para superficie de respuesta que nos permitió ajustar una regresión de segundo orden, para lo cual se tuvieron que correr puntos axiales. Se utilizó un valor de alfa de 1.414 correspondiente a los 4 tratamientos factoriales presentes en el modelo.

Cuadro 5.11 Resultados experimentales del diseño de composición central referido a la capacidad de rehidratación

OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Masa (g)	Potencia (w)	CR
1	1	1	-1	-1	1.09
2	2	1	1	-1	1.11
3	3	1	-1	1	1.30
4	4	1	1	1	1.13
5	5	-1	-1.41421	0	1.30
6	6	-1	1.41421	0	1.11
7	7	-1	0	-1.41421	1.10
8	8	-1	0	1.41421	1.22
9	9	0	0	0	1.04
10	10	0	0	0	1.01
11	11	0	0	0	1.04
12	12	0	0	0	1.06
13	13	0	0	0	1.03

Fuente: Elaboración propia

En el análisis de varianza del cuadro 5.12 se verifica que el factor masa y potencia, sus interacciones y componentes cuadráticos tienen un efecto significativo sobre la capacidad de rehidratación del producto final. ( $p < 0,05$ )

La no significancia de la falta de ajuste ( $p > 0.05$ ) es un indicador de que tan bien el modelo predice los valores experimentales de la variable respuesta, por lo tanto, el modelo desarrollado representaría de manera idónea la relación entre las variables elegidas.

Cuadro 5.12 Resultado del análisis de varianza para el modelo cuadrático de MSR correspondiente a la capacidad de rehidratación

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0.108184	0.021637	31.65	0.000
Lineal	2	0.041884	0.020942	30.63	0.000
Masa(g)	1	0.021914	0.021914	32.05	<b>0.001</b>
Potencia(w)	1	0.019971	0.019971	29.21	<b>0.001</b>
Cuadrado	2	0.057274	0.028637	41.89	0.000
Masa(g)*Masa(g)	1	0.042595	0.042595	62.30	<b>0.000</b>
Potencia(w)*Potencia(w)	1	0.021621	0.021621	31.63	<b>0.001</b>
Interacción de 2 factores	1	0.009025	0.009025	13.20	0.008
Masa(g)*Potencia(w)	1	0.009025	0.009025	13.20	<b>0.008</b>
Error	7	0.004786	0.000684		
Falta de ajuste	3	0.003466	0.001155	3.50	<b>0.129</b>
Error puro	4	0.001320	0.000330		
Total	12	0.112969			

Fuente: Elaboración propia

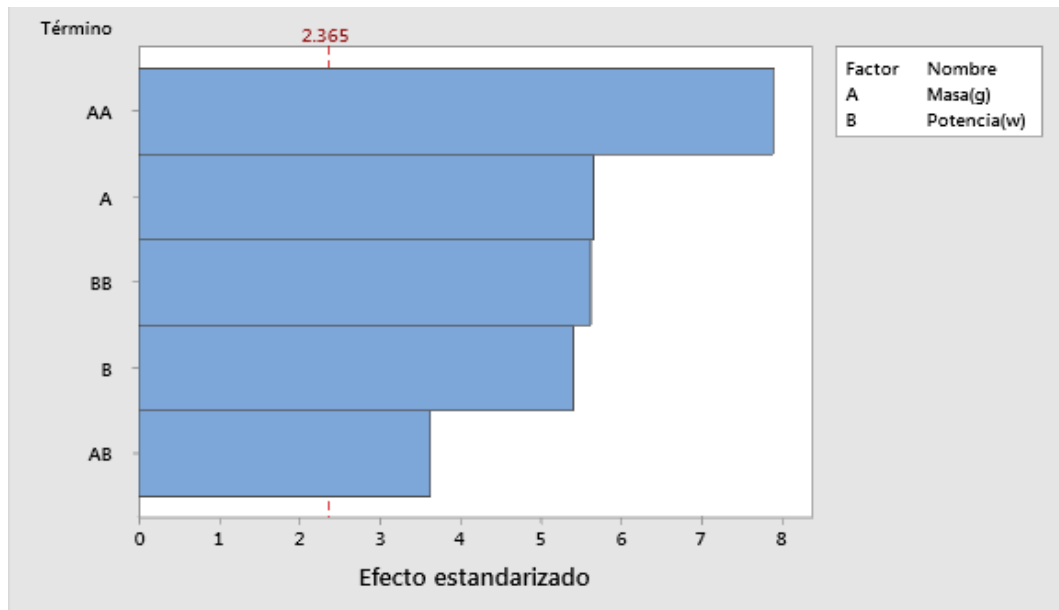
La relevancia de cada factor se muestra también de manera explícita en el diagrama de Pareto estandarizado de la figura 5.3 donde se presenta la influencia de los diferentes factores evaluados en orden decreciente, el tamaño de cada barra es proporcional al impacto de cada factor en la variable de respuesta.

Cualquier barra que supere la línea vertical que representa al nivel de significancia determinado (5%), es estadísticamente significativa.

Se comprueba gráficamente los efectos significativos de los factores masa, potencia, sus interacciones y componentes cuadráticos sobre la capacidad de rehidratación del producto final siendo el componente cuadrático de la masa el que presenta una mayor significancia de tal manera que:

$$Masa^2 > Masa > Potencia^2 > Potencia > Masa.Potencia$$

Figura 5.3 Diagrama de Pareto Estandarizado del DCC para la Capacidad de Rehidratación



Fuente: Elaboración propia

El cuadro 5.13 muestra que la variabilidad total de los resultados de la respuesta, capacidad de rehidratación de colas secas de langostino, sería explicada en un 92.74% ( $R^2$  ajustado) por el modelo seleccionado, presentando esta vez un alto poder predictivo.

Cuadro 5.13 Resumen del modelo para el diseño de composición central etapa de optimización

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0261470	95.76%	92.74%	76.36%

Fuente: Elaboración propia

La aplicación de la metodología de superficie de respuesta originó una ecuación de regresión la misma que establece la relación entre la capacidad de rehidratación y los factores evaluados. Esta ecuación de regresión en unidades no codificadas se expresa de la siguiente manera:

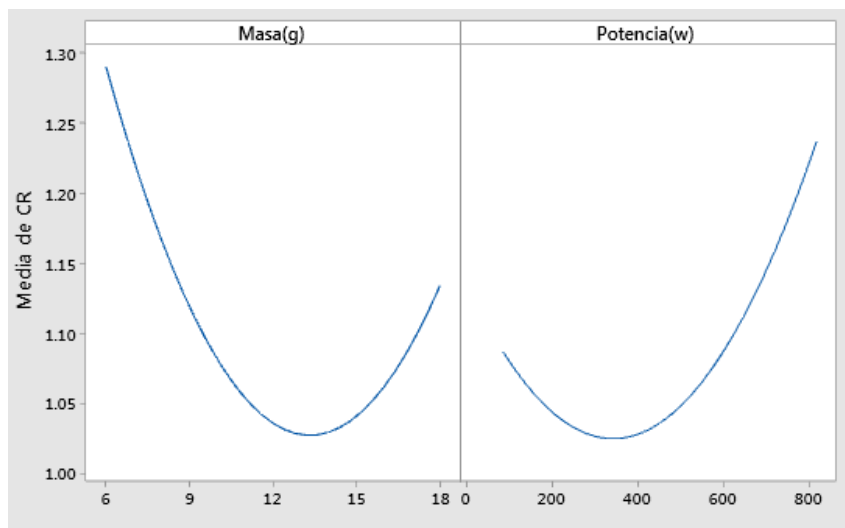
$$\begin{aligned} \text{Capacidad de} & 1.732 - 0.1084 M - 0.000061 P + 0.004891 M^*M \\ \text{Rehidratación} & = + 0.000001 P^*P - 0.000049 M^*P \\ \text{(CR)} & \end{aligned}$$

M: Masa en gramos (g)

P: Potencia en (W)

La grafica de efectos principales que se muestra en la figura 5.4 permite analizar el efecto curvo de los factores masa y potencia, además de predecir como los niveles más bajos de masa y más altos de potencia estarían produciendo mayores impactos para obtener la máxima capacidad de rehidratación del producto colas secas de langostino.

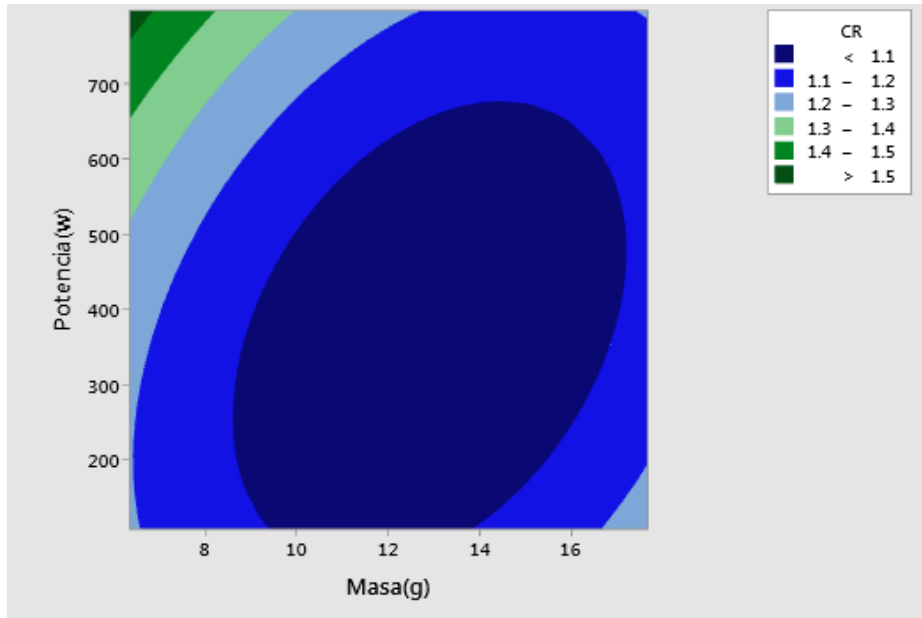
Figura 5.4 Efectos principales de los factores sobre la capacidad de rehidratación



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5.5 se aprecia la gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada para la capacidad de rehidratación del producto donde ambos factores tienen significancia ocasionando un aumento de la respuesta conforme el nivel de potencia crece y los niveles de la masa disminuyen

Figura 5.5 Grafica de contorno de la superficie de respuesta estimada para la capacidad de rehidratación de colas secas de langostino

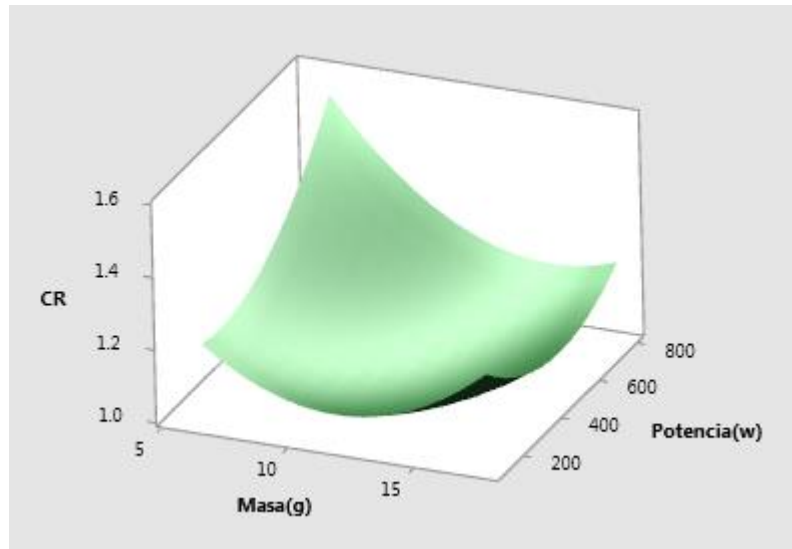


Fuente: Elaboración propia

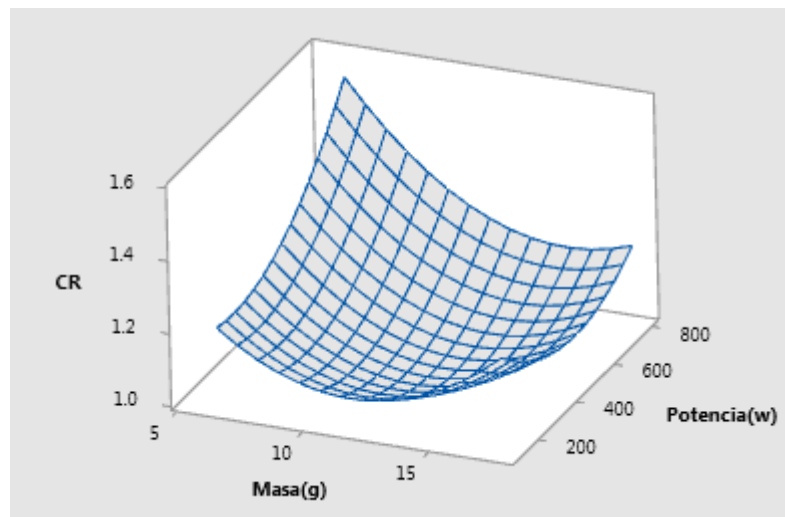
De las superficies presentadas en la figura 5.6 a y b se advierte la tendencia al aumento de la capacidad de rehidratación de colas secas de langostino con el aumento de los valores de potencia y la disminución de los niveles de masa, del mismo modo niveles centrales y bajos de potencia y valores intermedios y altos de masa ejercerían un efecto negativo sobre la capacidad de rehidratación del producto final, aunque es preponderante el efecto de la masa.

Figura 5.6 Gráficas de superficie de respuesta para los efectos de masa y potencia sobre la capacidad de rehidratación de colas secas de langostino

a)



b)



Fuente: Elaboración propia

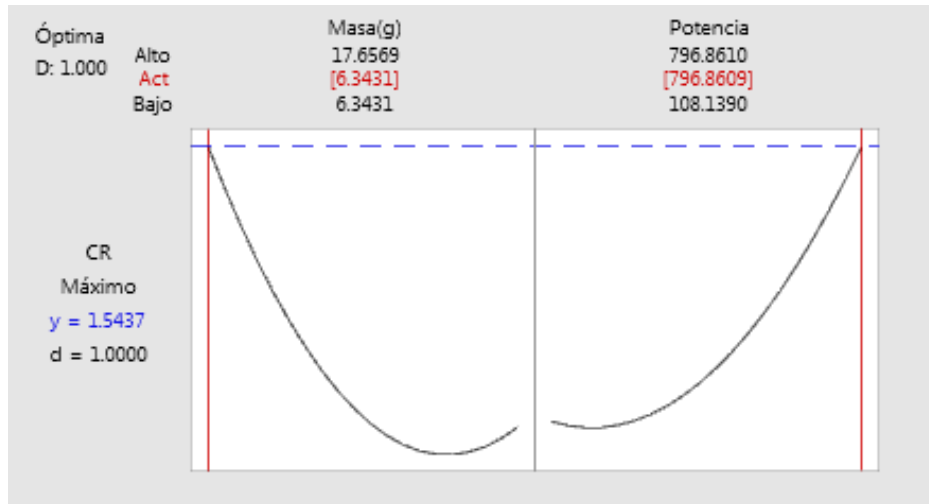
### **Determinación de la condición óptima y validación del modelo**

Una vez establecido el modelo de mejor ajuste se procedió a encontrar la condición que maximiza la capacidad de rehidratación del producto final. Usándose para este fin el método de la función de deseabilidad.

La variable dependiente se fijó en el al valor máximo de deseabilidad( $d=1$ ), en la figura 5.7 se observan que las condiciones óptimas obtenidas correspondieron a una masa de cola de langostino de 6,3431 gramos y una

potencia de 796.86 W. para obtener una capacidad de rehidratación estimada del 54.37% respecto de la masa seca.

Figura 5.7 Optimización de la capacidad de rehidratación



la conveniencia del modelo matemático determinado para pronosticar la máxima capacidad de rehidratación se validó experimentalmente usando las condiciones generadas por la función de deseabilidad global.

Las condiciones que maximizan el proceso según el modelo cuadrático son: el valor de 6.3431 gramos de masa de cola de langostino y 796.86 W de potencia de microondas. Debido al impedimento de regular exactamente hasta ese nivel de potencia se decidió adoptar el valor de 696 W.

Los valores para la capacidad de rehidratación experimental, así como los valores predichos por el modelo generado se presentan en el cuadro 5.13 en donde se advierte que los valores experimentales resultaron próximos a los obtenidos por el modelo matemático, lo cual corroboraría los resultados encontrados.

Cuadro 5.13 Valor pronosticado y valor experimental de la variable de respuesta bajo condiciones que maximizan el proceso de secado.

VARIABLE RESPUESTA	VALOR PRONOSTICADO	VALOR EXPERIMENTAL *
Capacidad de Rehidratación	1,5437	1.36 ± 0.03
		Rango: 1.31 - 1.39

\* : Promedio de 10 repeticiones ± DS.



## VI DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

Con el método de superficie de respuesta y empleando el diseño de composición central rotatable se pudo caracterizar la zona óptima del proceso de secado con microondas de colas de langostino. Esta región se encontraba algo alejada de la zona experimental es decir fuera de los rangos de experimentación usados con cada factor, esto guarda relación con el conocimiento científico aceptado ya que en la optimización de procesos nuevos o poco explorados la zona óptima local regularmente se encuentra bastante distante de la región experimental.

Los valores óptimos hallados para la masa (6.3431 gramos), potencia (796.86 W) y capacidad de rehidratación (1.5437). pronosticaron un 54.37% de rendimiento en la rehidratación.

El análisis de varianza realizado al diseño de superficie de respuesta nos permite afirmar que el modelo cuadrático:

$$CR = 1.732 - 0.1084 m - 0.000061 p + 0.004891 m.m + 0.000001 p.p - 0.000049 m.p$$

Presentaría una aproximación adecuada al comportamiento real de la variable de respuesta, con un  $R^2$  ajustado de 92.74% y un poder predictivo de 76.36%.

Los rangos de operación de la potencia de los equipos microondas resultaron limitantes para la investigación no obstante permitieron una validación experimental aceptable (36% de rendimiento en la rehidratación) bastante cercana a la del modelo optimizado.

### 6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

García-Mogollón et al, 2015 realizaron el secado con microondas de yuca *Manihot esculenta crantz*, encontrando que la capacidad de rehidratación fue incrementada con la reducción de la masa de la muestra, además el proceso fue afectado significativamente por la potencia, la masa y la interacción de los factores ( $p < 0,05$ ).

Si bien es cierto, encuentran mayores rendimientos para la capacidad de rehidratación  $CR=1.947$  en términos de gramos de yuca rehidratada / gramos de yuca seca, esto se debería a la propia naturaleza del tejido vegetal y a que los cambios de peso durante la rehidratación fueron registrados cada 5 minutos y en un intervalo mucho más prolongado entre 5 a 100 minutos.

Determinaron además que a potencias más altas (560 W) se consigue un mayor encogimiento de las muestras vegetales. Esto puede ser debido a que niveles altos de potencia provocan una salida más rápida del agua y esto puede implicar en el tejido vegetal una menor capacidad para retener el agua.

Un factor importante es el tipo de tratamiento estadístico que se emplea en el estudio. Garcia-Mogollón et al, ya que realizaron un análisis de varianza donde escogen el tratamiento ganador entre los experimentalmente realizados, mientras que la presente investigación efectúa un escalamiento desde la región de operación (experimental) hasta la zona óptima del proceso mediante el análisis canónico.

Nieto, 2015 en su investigación acerca de la optimización de la cinética de secado por microondas de láminas de jengibre mediante la metodología de superficie de respuesta determina que la potencia de 918 W. tuvo un efecto significativo resultando como valor óptimo, similar al valor óptimo encontrado para la potencia en la presente investigación (796.86 W.).

Masgo, 2014 en su estudio sobre el secado por atomización del extracto tánico de las vainas de tara aplicando la metodología de superficie de respuesta halló parámetros óptimos que incrementaron el rendimiento del producto final en 59.38% similar valor encontrado en la presente investigación. (54% como capacidad de rehidratación pronosticada y 36% de capacidad de rehidratación experimental obtenida).

Roberti, 2011 en su investigación acerca del secado convectivo de camarón *Macrobrachium jelski*, junto con García, 2003 en su deshidratado de pulpa de almejas y Tello, 2003 para su estudio de secado de filetes de tilapia encontraron que temperaturas bajas (entre 40°C Y 70°C) resultaron idóneas para sus respectivos procesos de secado y los tiempos de secado oscilaron entre las 6 y 10 horas respectivamente. Esto es importante ya que hay que procurar deshidratar los alimentos a la temperatura correcta, si la temperatura es demasiado baja, podría dejar los alimentos en la “zona de peligro” durante demasiado tiempo y correr el riesgo de que se multipliquen las bacterias y si la temperatura es demasiado alta, se corre el riesgo de endurecimiento del alimento. En ese sentido el secado microondas de colas de langostinos demostró ser más eficaz ofreciendo un secado uniforme además de bajas temperaturas de secado debido a que la presión del aire se mantiene muy baja y en esas condiciones el punto de ebullición del agua queda por debajo de los 40°C, temperatura a la que el tejido celular comienza a verse afectado por el calor permitiendo deshidratar alimentos con el mínimo daño.

Diaz Viteri, 2003 encontró parámetros óptimos para la apariencia (color, textura, olor, sabor) del músculo deshidratado de camarón *Macrobrachium rosebergii* utilizando la metodología superficie de respuesta del mismo

modo que dicha metodología demostró ser un instrumento válido para el establecimiento de condiciones óptimas en la operación de secado microondas de colas de langostino.

### **6.3 Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes**

Una investigación científica debe llevarse a cabo respetando las normas éticas que la misma ciencia impone. Sin embargo, debido a múltiples razones, en algunas ocasiones se ha recurrido al ocultamiento de información, a la apropiación de la autoría o incluso a la falsificación de resultados.

En ese sentido afirmo que en la elaboración del presente proyecto de investigación se ha respetado escrupulosamente las normas internacionales de citas y referencias para la bibliografía consultada por lo tanto no ha sido plagiado ni en parte ni en todo.

## VII CONCLUSIONES

- 1) Los niveles óptimos de las variables investigadas fueron: masa 6.34 gramos, potencia 796.86 watts, capacidad de rehidratación predicha 1.54 y valor experimental.  $1.36 \pm 0.03$
- 2) Los efectos de las variables, sus interacciones y componentes cuadráticos que resultaron significativos para la obtención de la mayor capacidad de rehidratación del producto final, en orden de importancia fueron:

$$\text{Masa}^2 > \text{Masa} > \text{Potencia}^2 > \text{Potencia} > \text{Masa.Potencia}$$

- 3) El modelo de segundo orden generado a partir de las variables codificadas reveló no significancia para la falta de ajuste ( $p < 0,05$ ) presentando un alto valor de  $R^2$  ajustado (92.74%) además de un buen nivel de predicción (76.36%) siendo un indicador de la consistencia de los valores predichos los mismos que fueron validados experimentalmente.

<b>Capacidad de Rehidratación (CR)</b>	$1.732 - 0.1084 M - 0.000061 P + 0.004891 M*M + 0.000001 P*P - 0.000049 M*P$
--	--

M: Masa en gramos (g) P: Potencia en (W)

- 4) La metodología de superficie de respuesta demostró ser un instrumento válido para el establecimiento de condiciones óptimas en la operación de secado microondas de colas de langostino

## VIII RECOMENDACIONES

- 1) Analizar si la inclusión de un pretratamiento de deshidratación osmótica en el producto fresco incrementa la capacidad de rehidratación del producto final.
- 2) Ampliar la investigación a fin de determinar si los parámetros que optimizan la capacidad de rehidratación igualmente se verifican al estimar de manera conjunta su efecto sobre múltiples respuestas. principalmente las respuestas que definan la aceptabilidad del producto (color, contenido de carotenoides, actividad antioxidante, evaluación sensorial, etc.).
- 3) Determinar la cinética de secado y rehidratado con los parámetros óptimos obtenidos.
- 4) Realizar estudios con otros recursos hidrobiológicos a fin de generar nuevas opciones de procesos industriales en la línea de secado con microondas.

## IX REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACEVEDO, B., MONTIEL, M., AVANZA, J. “**Efecto del tratamiento térmico en la capacidad antioxidante total de jugos de pomelo, naranja y mandarina**”. [En línea] <http://www1.unne.edu.ar/cyt/2002/08-Exactas/E-013.pdf>. 1:1-3 (2002). Acceso: julio (2018).
2. AGUILERA J.M. STANLEY D.W. “**Simultaneous Heat and Mass Transfer: Dehydration**”. Microstructural Principles Food Proc Engineering 2001; 9: 373-407.
3. ALIMENTOS.ORG (2019) Disponible en: [alimentos.org.es/langostinos](http://alimentos.org.es/langostinos)
4. ALVARADO Juan de Dios (2013) “**Principios de Ingeniería Aplicados en Alimentos**” Universidad Técnica de Ambato. 488 p.
5. BONILLA, Elsie, DÍAZ, Bertha, KLEEBERG, Fernando y NORIEGA María Teresa. (2010) “**Mejora continua de los procesos: herramientas y técnicas**”. Primera Edición. Lima: Fondo Editorial Universidad de Lima.
6. CÁRDENAS, Carolina; RESTREPO, Ramiro; GARCÍA, Jorge; MARÍN, Jairo; GARCÍA, Claudia. “**Las microondas como una alternativa para el secado de materiales cerámicos tradicionales**” (2009) Editor: Universidad Simón Bolívar disponible en: <https://www.virtualpro.co/biblioteca/las-microondas-como-una-alternativa-para-el-secado-de-materiales-ceramicos-tradicionales>
7. CASTRO-GONZALEZ, María Isabel. “**Ácidos grasos omega 3: beneficios y fuentes**”. INCI [online]. 2002, vol.27, n.3 [citado 2021-06-01], pp.128-136. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442002000300005&lng=es&nrm=iso](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442002000300005&lng=es&nrm=iso). ISSN 0378-1844.
8. CODEX ALIMENTARIUS (2003) “**Pescado y los productos pesqueros**” CAC/RCP 52:2003, IDT Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Organización Mundial de la Salud FAO-OMS Roma, 2003. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/CPE-CODEX-52.pdf>

9. COULSON, J.M.; RICHARDSON, J.F.; BACKHURST, J.R. y HARKER, J.H. (2003). **"Ingeniería química. Operaciones Básicas". Tomo II.** Unidades SI. (3ra. Ed.). Barcelona, España: Editorial Reverté, S. A
  
10. DÍAZ VITERI, Javier Eduardo (2003) Tesis: **"Deshidratación por aire caliente de músculo de camarón gigante de malasia; (Machrobrachium rosenbergii)"** Tarapoto, Perú.
  
11. FAO Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (2018) **"Programa de información de especies acuáticas"** Disponible en: [https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es\\_whitelegshrimp.htm](https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_whitelegshrimp.htm)
  
12. FIGUEROA, G (2003) **"Utilización de una superficie de respuesta utilizando JMP IN Mosaicos matemáticos"**. p.17-23
  
13. FITO ET AL (2016) **"Introducción al secado de alimentos por aire caliente"** Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: [https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e8b523c5-4970-4ae6-b2a3-86f576e81359/TOC\\_4092\\_02\\_01.pdf?guest=true](https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e8b523c5-4970-4ae6-b2a3-86f576e81359/TOC_4092_02_01.pdf?guest=true)
  
14. GARCIA-MOGOLLON, Carlos; ALVIS-BERMUDEZ, Armando ROMERO-BARRAGAN, Pedro.(2016) **"Capacidad de Rehidratación y Cambio de Color de Yuca (Manihot esculenta crantz) Deshidratada en Microondas.** [J]. , 27, 1, pp.53-60. ISSN 0718-0764. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000100007>. Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0718-07642016000100007&lng=p&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-07642016000100007&lng=p&nrm=iso)
  
15. GARCIA VÁSQUEZ, Yliana del Carmen (2003) Tesis: **"Procesamiento de pulpa de almejas de agua dulce (Anodontites trapesialis) mediante deshidratación por flujo de aire caliente"** Tarapoto, Perú.
  
16. GEA Group (2014) **"Secado con microondas: Una tecnología más eficaz que el arrastre con gas"**. Disponible en: <https://www.gea.com/es/index.jsp>

17. GUTIÉRREZ, Humberto., y VARA Roman, d. I. (2012). **“Análisis y diseño de experimentos”** (3a. edición.). México D.F.: McGrawHill.
18. HONORATO, G. C. OLIVEIRA E. L., DE ALSINA O. L. y MAGALHAES M. M. A. **“Estudio del Proceso Cinético del Secado de Cefalotórax de Camarón”** Información Tecnológica-Vol. 16 N°4-2005, págs.: 3-10
19. IBARZ Albert, BARBOZA-CANOVAS Gustavo (2005) **“Operaciones Unitarias en la Ingeniería de alimentos”**. Mundi Prensa. 865 p.
20. JIMENEZ Gema, MARTINEZ Leonardo, MARTINEZ Marco (2020) **“Características organolépticas y estimación del tiempo de deshidratación del camarón (*Litopenaeus vannamei*) mediante un modelo de regresión”**. Disponible en: <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes7no1vol1/8>.
21. KRAJEWSKI, Lee, RITZMAN, Larry y MALHOTRA, Manoj (2008) **“Administración de operaciones: procesos y cadenas de valor”**. Octava edición. México D.F.: Editorial Pearson Educación.
22. KROKIDA M.K. MARINOS-KOURIS D.(2003) **“Rehydration kinetics of dehydrated products”**, J Food Engineering 2003; 57: 1-7.
23. LEWICKI P.P. (1998) **“Some remarks on Rehydration of dried foods”**, J Food Engineering 1998; 36: 81-87. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=7421419&pid=S0717-7518200600050000900014&lng=es](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=7421419&pid=S0717-7518200600050000900014&lng=es)
24. MARIN B, Eduardo; LEMUS M, Roberto; FLORES M, Verónica y VEGA G, Antonio.(2006) **“La rehidratación de alimentos deshidratados”**. Rev. chil. nutr. [online]. 2006, vol.33, n.3 [citado 2021-06-02], pp.527-538. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-75182006000500009&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182006000500009&lng=es&nrm=iso).ISSN 0717-7518. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182006000500009>.
25. MASGO ACHA Cynthia Geraldine (2014) Tesis: **“Optimización del proceso de secado por atomización del extracto tánico obtenido de las vainas de tara (*caesalpinia spinosa*) aplicando los métodos Taguchi y Superficie de Respuesta”** Callao, Perú



26. NIETO FREIRE Domingo Javier (2015) Tesis: “**Optimización del modelo de simulación de la cinética de secado por microondas de láminas de jengibre (*Zingiber officinale*)**” Callao, Perú.
27. PERRY, R., CHILTON C. (1984) “**Chemical Engineering Handbook**”, 7ma. Edición, Editorial Continental, México.
28. PERUINFO (2019) Disponible en: <https://peru.info/es-pe/superfoods/detalle/super-langostino#:~:text=Informaci%C3%B3n%20b%C3%A1sica,con%2010%20g%C3%A9neros%20y%20especies>
29. PROCESO DE SECADO (2019) colecciones digitales, disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/davila\\_n\\_jr/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/davila_n_jr/capitulo4.pdf)
30. PROGRAMA NACIONAL “A COMER PESCADO” (2018) Disponible en: <https://andina.pe/agencia/noticia-aconsejan-consumir-bonito-para-revertir-anemia-ninos-680686.aspx>
31. PURIZACA, Héctor (2015) “**Determinación de la retención de agua en colas congeladas de langostino de cultivo hidratadas al natural**”. Disponible en; <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/855>
32. RASTOGI N.K. NAYAK C.A. RAGHAVARAO M.S. (2004) “**Influence of osmotic pre-treatments on rehydration characteristics of carrots**”, J Food Engineering 2004; 65: 287-292.
33. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (2014). “**Diccionario de la lengua española** “(23.ªed.).
34. ROBERTI PÉREZ, Daniel Enrique (2011) “**Cinética del secado convectivo del camarón dulceacuícola (*macrobrachium jelskii*) a dos temperaturas y dos velocidades de aire**” Lara-Venezuela
35. SANIPES (2010) “**Manual de indicadores o criterio de seguridad alimentaria e higiene para alimentos y piensos de origen pesquero y acuícola**” Numeral 5.2.2 - Tabla N° 07  
Disponible en [http://www.sanipes.gob.pe/procedimientos/13\\_ManualIndicadoresocriteriosdeseguridadalimantaria-rev02-2010.compressed.pdf](http://www.sanipes.gob.pe/procedimientos/13_ManualIndicadoresocriteriosdeseguridadalimantaria-rev02-2010.compressed.pdf)

36. SANJUÁN N. Andrés J. CLEMENTE G. MULET A. (2001) **“Modeling of the Rehydration process of broccoli florets”**, European Food Res Technol 2001;212:449-453.
37. SOKHANSANJ, S. (1984) **“Grain drying simulation with respect to energy conservation and grain quality”**. In: Mujumdar, A. S. *Advances in drying*. Hemisphere, Washington, vol. 3, chapter 4, pp. 113–159 (1984).
38. SIICEX (2019) Sistema integrado de informacion de comercio exterior. MINCETUR Disponible en: [https://www.siicex.gob.pe/siicex/portal5ES.asp?\\_page\\_=726.72400&\\_portletid=\\_aim\\_wlistalerta&scriptdo=usp\\_aim\\_wlistdalerta&pc\\_alerta=48243](https://www.siicex.gob.pe/siicex/portal5ES.asp?_page_=726.72400&_portletid=_aim_wlistalerta&scriptdo=usp_aim_wlistdalerta&pc_alerta=48243)
39. TELLO PANDURO Betty (2003) Tesis: **“Estudio de la cinética de secado de filetes de tilapia (*Oreochromis sp.*)”**. Tarapoto, Perú
40. TOLEDO R.T. (1994) **“Dehydration. Fundamentals of Food Process Engineering”**. 2nd Edition. Editorial Chapman & Hall, New York · London, 1994, p 456-506.
41. VEGA A. (2003) **“Estudio de la deshidratación y rehidratación del pimiento rojo (*Capsicum Annuum L.*) var. Lamuyo”**. (Tesis Doctoral) Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España, 2003
42. VEGA A. LEMUS R.(2006) **“Modelado de la cinética de secado de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*)”**, Rev. Información Tecnológica 2006; 27(3): 23-31. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642006000300005&script=sci\\_arttext&tlng=es](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642006000300005&script=sci_arttext&tlng=es)
43. VUARANT, Carlos Omar, (2014) Tesis: **“Optimización del proceso de secado de arándanos por infrarrojos”** Valencia, España.
44. WEERTS A.H. MARTIN D.R. LIAN G. MELROSE J.R. (2006) **“Modelling the hydration of foodstuffs, Simulation Modelling Practice and Theory”** 2006; 13: 119-128.

## ANEXOS

1. Matriz de consistencia.
2. Tabla de Características físico - organolépticas de crustáceos.
3. Determinación experimental de la potencia microondas.
4. Niveles de potencia del diseño de composición central (DCC) y Niveles de potencia experimentales.
5. Tiempos de secado y humedad final según nivel de potencia y masa.
6. Validación experimental.
7. Ficha de registro de datos experimentales.
8. Ficha de caracterización física de la materia prima – Análisis Proximal.
9. Fotos del proceso de secado y rehidratado.

## Anexo 01: Matriz de consistencia

TITULO	PROBLEMA	JUSTIFICACION	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES Y DIMENSIONES	METODOLOGIA
<p>*OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO CON RADIACIÓN MICROONDAS DE LANGOSTINO (Litopenaeus vannamei) APLICANDO EL MÉTODO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA*</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>¿En qué medida el método de superficie de respuesta permitirá optimizar el proceso de secado con radiación microondas de langostino a fin de maximizar la capacidad de rehidratación del producto final?</p>	<p><b>Justificación Técnica</b></p> <p>La investigación aspira a servir de base a la industria de productos hidrobiológicos deshidratados</p> <p><b>Justificación Económica</b></p> <p>El estudio de las condiciones y factores que intervienen en el proceso de secado microondas podrán ser utilizados por los distintos agentes económicos del rubro deshidratados hidrobiológicos a fin de optimizar sus productos.</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>Optimizar el proceso de secado con radiación microondas de langostino Litopenaeus vannamei a través del método de superficie de respuesta, a fin de maximizar la capacidad de rehidratación del producto final.</p>	<p><b>GENERAL</b></p> <p>Si se aplica un diseño de composición central de superficie de respuesta para el proceso de secado microondas de colas de langostino efectuando cambios en las condiciones de potencia y masa, entonces se logrará caracterizar la zona óptima de proceso que permita maximizar la capacidad de rehidratación del producto final.</p>	<p><b>VI</b></p> <p>Nivel de Potencia microondas.</p> <p>Masa de cola</p>	<p>Parámetros del proceso de secado</p> <p>209-696 watts</p> <p>08-16 gramos</p>	<p><b>Tipo:</b></p> <p>Investigación cuantitativa explicativa de tipo experimental.</p> <p><b>Diseño:</b></p> <p>Experimental</p> <p><b>Método:</b></p> <p>Experimental</p> <p><b>Población :</b></p> <p>Está determinada por la totalidad de toneladas de langostino que se comercializan en el terminal pesquero de Ventanilla.</p> <p><b>Muestra:</b></p> $n = \frac{T^2 \sigma^2}{d^2}$ <p>El tamaño en peso de una muestra de langostinos, empleando un coeficiente de confianza de 0.90, y asegurando que la estimación del muestreo estará entre <math>\pm 5\%</math> de la proporción poblacional arroja 906.22 gramos</p> <p><b>Técnicas:</b></p> <p>Para la obtención de datos se caracterizará por medio de análisis fisicoquímicos y experimental</p> <p><b>Instrumentos:</b></p> <p>Minitab 19</p> <p>Excel 2016</p>
	<p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>¿Cuál será la condición óptima para la masa de cola de langostino que maximiza la rehidratación del producto final?</p>	<p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>Determinar la condición óptima de la masa de cola de langostino que permita maximizar la capacidad de rehidratación del producto final.</p>	<p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>Efectuando cambios en la masa de cola de langostino entre 08 y 16 gramos se conseguirá hallar la zona óptima del proceso que permita maximizar la capacidad de rehidratación del producto final.</p>	<p><b>ESPECÍFICOS</b></p> <p>Realizando variaciones en la potencia del microondas entre 209 y 696 w. se logrará hallar la zona óptima del proceso que consiga maximizar la capacidad de rehidratación del producto final.</p>	<p><b>VD</b></p> <p>Capacidad de Rehidratación</p>	$C_r = \frac{W_r}{W_s}$ <p>Rendimiento de la rehidratación:</p> <p><math>W_r</math>: Peso total producto rehidratado</p> <p><math>W_s</math>: Peso total producto seco</p>	
	<p>¿Cuál será el nivel de potencia óptimo para un musculo de langostino que logre maximizar la rehidratación del producto final?</p>	<p><b>Justificación legal</b></p> <p>El presente estudio se encuentra enmarcado dentro de las disposiciones normativas que promueven el desarrollo de la investigación científica en las universidades en amparo de la ley universitaria N°30220</p>	<p>Establecer el nivel de potencia óptimo para un adecuado secado del músculo de langostino que logre maximizar la capacidad de rehidratación del producto final.</p>	<p>Realizando variaciones en la potencia del microondas entre 209 y 696 w. se logrará hallar la zona óptima del proceso que consiga maximizar la capacidad de rehidratación del producto final.</p>			
	<p>¿Qué modelo matemático pronosticará con mayor ajuste la condición óptima de los factores y maximizará la capacidad de rehidratación del producto final?</p>		<p>Determinar un modelo matemático para el proceso de secado por radiación microondas de colas de langostino que maximice la capacidad de rehidratación del producto final</p>	<p>Aplicando la metodología de superficie de respuesta determinaremos el modelo matemático de mejor ajuste para el proceso que permita maximizar la capacidad de rehidratación del producto final y que por tratarse de un óptimo local deberá ser caracterizado por una ecuación de segundo orden.</p>			



**Anexo 02:** Tabla de Características físico - organolépticas de los crustáceos de acuerdo con la categoría de fresca (SANIPES)

**Tabla N° 7. Características físico - organolépticas de los crustáceos de acuerdo a la categoría de fresca** Camarón (*Machrobrachium rosenbergii*, *Cryphiops caementarius*), Langostino (*Penaeus vanamei*, *Penaeus stilirostris*)

Item a Evaluar		Criterios Físico -Organolépticos		
		Categoría de Fresca		
		Extra (9, 8, 7) <sup>1</sup>	A (6, 5) <sup>1</sup>	No admitido (4, 3, 2, 1) <sup>1</sup>
Características Mínimas		- Superficie del caparazón húmeda y reluciente. - Libres de arena, moco u otras materias extrañas.	Igual que para la categoría Extra.	Superficie deshidratada, sin brillo, presencia de mucosidad
Aspecto:	1.Langostino	Color definido blanco grisáceo ligeramente verdoso.	Color marrón, posible principio de ennegrecimiento de la cabeza y extremos de las quelas.	Melanosis pronunciada
	2.Camarón	Color que varía desde verde azulado a verde marrón.	Color marrón rojizo, pero con un posible principio de ennegrecimiento de la cabeza y extremos de las quelas.	
Estado de la carne durante y después de separar la caparazón		Langostino: Se descascara fácilmente, sólo con pérdidas de carne técnicamente inevitables. Camarón: Firme.	Langostino: Se descascara con dificultad, con pequeñas pérdidas de carne. Camarón: Menos firme.	Flácida, con olores extraños
Fragmentos		Se admiten fragmentos aislados de camarones o langostinos.	Se admite una pequeña cantidad de fragmentos de camarones o langostinos.	Muy fragmentado
Olor		Olor a algas frescas, ligeramente dulzón	Acido; ausencia de olor a algas.	Pútrido a nivel de la boca

<sup>1</sup> Puntaje de calificación organoléptica

### Anexo 03: Determinación experimental de la potencia de radiación microondas

Para llegar a conocer la potencia de radiación emitida por los equipos microondas utilizados en la presente investigación se empleó la siguiente metodología:

En un vaso de precipitado de vidrio se llenó y pesó 01 litro – 01 kilogramo de agua. Se midió la temperatura inicial de la masa de agua y se llevó a potencia máxima durante 01 minuto en el microondas. Al finalizar se homogeniza con una bagueta de madera y se registra la temperatura final.

Masa de agua	1	Kg
Temperatura inicial	23	°C
Temperatura final	32	°C
$\Delta T$	9	°C

Si una Kilocaloría es el calor necesario para elevar la Temperatura en 1 °C de un litro de agua entonces el microondas a potencia máxima aportó 9 Kilocalorías durante el minuto que estuvo emitiendo radiación a la masa de agua.

Es sabido que 01 watt de potencia en unidades de energía representa 01 Joule/segundo y una Kilocaloría equivale a 4180 Joule. Por lo tanto, durante 01 minuto se emitió:

$$9 \times 4180 \text{ Joule} = 37620 \text{ Joule/minuto. Esto significa:}$$

$$627 \text{ Joule/segundo} = 627 \text{ watts.}$$

De esta manera se pudo ir probando cada una las potencias de los dos equipos microondas y registrando sus respectivas potencias de radiación en watts. Los resultados fueron los siguientes:

Microondas 1	$\Delta$ Temperatura (°C)	Potencia en watts
Potencia Alta	10	696
Potencia Media	7	487
Potencia Baja	3	209

Microondas 2	$\Delta$ Temperatura (°C)	Potencia en watts
PH1	9	627
P90	8	557
P80	7	487
P70	6	418
P60	5	348
P50	4	278
P40	3	209
P30	2	139
P20	1	70

**Anexo 04:** Nivel de potencia del DCC versus Nivel de potencia experimental

**NIVEL DE POTENCIA ADMITIDA POR LA REGIÓN DE OPERABILIDAD  
DE LOS EQUIPOS MICROONDAS**

Puntos del diseño	Nivel de Potencia propuesto por el DCC (W)	Nivel de Potencia experimental empleada (W)
Punto central	452,50	487
Punto Axial (-1,41421)	108,139	139
Punto Axial ( 1,41421)	796,861	696

## Anexo 05: Tiempos de secado

### TIEMPOS DE SECADO SEGÚN NIVEL DE POTENCIA Y MASA (HASTA ALCANZAR UNA HUMEDAD FINAL DEL 14%)

Potencia propuesta por el DCC (W)	Potencia empleada experimentalmente (W)	Masa (g)	Tiempo (s)	Humedad (%)	CR
209 (-1)	209	8 (-1)	540	14,93	1,09
696 (1)	696	8 (-1)	90	14,78	1,30
209 (-1)	209	16 (1)	660	14,45	1,11
696 (1)	696	16 (1)	110	14,76	1,13
452,5 (0)	487	6,34 (-1,41421)	95	14,88	1,30
452,5 (0)	487	17,65 (1,41421)	145	14,56	1,11
108,139 (-1,41421)	139	12 (0)	600	14,88	1,10
796,861 (1,41421)	696	12 (0)	100	14,66	1,22
452,5 (0)	487	12 (0)	105	14,24	1,04



Masa (g)	8				
Potencia(W)	209				
Humedad final(%)	14,93				
Tiempo secado(min)	Masa(g)	Perdida de humedad(%)	Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
0	24,45		0	9,13	1,09
1	23,51	3,83%	1	9,33	
2	20,70	15,32%	2	9,53	
3	17,29	29,27%	3	9,69	
4	14,10	42,34%	4	9,79	
5	12,25	49,90%	5	9,86	
6	10,90	55,40%	6	9,91	
7	10,14	58,55%	7	9,94	
8	9,44	61,39%	8	9,96	
9	9,13	62,67%			
10	8,38	65,72%			
11	8,05	67,09%			
12	7,59	68,96%			
13	7,21	70,53%			
14	6,80	72,20%			
15	6,53	73,28%			
16	6,17	74,75%			
17	6,00	75,44%			
18	5,93	75,74%			
19	5,81	76,23%			
20	5,69	76,72%			
21	5,57	77,21%			
22	5,45	77,70%			
23	5,36	78,09%			
24	5,31	78,29%			
25	5,21	78,68%			
26	5,16	78,88%			
27	5,04	79,37%			
28	5,00	79,57%			
29	4,90	79,96%			
30	4,88	80,06%			
31	4,88	80,06%			
32	4,88	80,06%			

Masa (g)	8				
Potencia(W)	696				
Humedad final(%)	14,78				
Tiempo secado(s)	Masa(g)	Perdida de humedad(%)	Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
0	24,45		0	9,09	1,30
10	15,40	37,03%	1	10,51	
20	13,54	44,62%	2	11,02	
30	13,11	46,36%	3	11,27	
40	12,26	49,84%	4	11,42	
50	11,45	53,16%	5	11,56	
60	10,91	55,38%	6	11,71	
70	10,52	56,96%	7	11,82	
80	10,06	58,86%	8	11,85	
90	9,09	62,82%			
100	8,86	63,77%			
110	8,70	64,40%			
120	8,32	65,98%			
Masa (g)	16				
Potencia(W)	209				
Humedad final(%)	14,45				
Tiempo secado(min)	Masa(g)	Perdida de humedad(%)	Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
0	48,20		0	17,76	1,11
1	46,20	4,14%	1	18,43	
2	41,69	13,50%	2	18,88	
3	36,58	24,11%	3	19,24	
4	33,07	31,39%	4	19,46	
5	30,11	37,54%	5	19,55	
6	27,41	43,13%	6	19,59	
7	24,54	49,09%	7	19,64	
8	21,79	54,80%	8	19,64	
9	19,73	59,07%			
10	17,79	63,09%			
11	17,76	63,15%			
Masa (g)	16				
Potencia(W)	696				
Humedad final(%)	14,76				
Tiempo secado(s)	Masa(g)	Perdida de humedad(%)	Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
0	48,20		0	17,91	1,13
10	46,50	3,53%	1	18,43	
20	41,75	13,38%	2	18,91	
30	37,59	22,02%	3	19,27	
40	33,48	30,54%	4	19,59	
50	30,71	36,28%	5	19,82	
60	28,10	41,70%	6	20,05	
70	25,24	47,63%	7	20,24	
80	22,50	53,31%	8	20,31	
90	20,77	56,91%			
100	19,13	60,32%			
110	17,91	62,84%			

Masa (g)	6,34				
Potencia(W)	487				
Humedad final(%)	14,88				
Tiempo secado(s)	Masa(g)	Perdida de humedad(%)	Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
0	19,02		0	7,09	1,30
15	12,99	31,70%	1	8,12	
30	11,75	38,23%	2	8,40	
45	10,71	43,67%	3	8,64	
60	9,63	49,39%	4	8,79	
75	8,67	54,42%	5	8,92	
95	7,09	62,72%	6	9,05	
105	6,73	64,63%	7	9,13	
120	6,52	65,71%	8	9,20	
135	6,34	66,67%			
150	6,03	68,30%			
165	5,95	68,71%			
180	5,82	69,39%			
Masa (g)	17,65				
Potencia(W)	487				
Humedad final(%)	14,56				
Tiempo secado(s)	Masa(g)	Perdida de humedad(%)	Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
0	52,95		0	19,57	1,11
15	50,68	4,29%	1	20,78	
30	44,64	15,70%	2	21,18	
45	39,55	25,30%	3	21,35	
60	36,36	31,34%	4	21,47	
75	32,49	38,65%	5	21,55	
90	27,88	47,34%	6	21,63	
105	24,49	53,74%	7	21,67	
120	22,86	56,82%	8	21,67	
135	19,98	62,26%			
145	19,57	63,04%			
Masa (g)	12				
Potencia(W)	139				
Humedad final(%)	14,88				
Tiempo secado(min)	Masa(g)	Perdida de humedad(%)	Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
0	36,00		0	13,42	1,10
1	34,83	3,26%	1	13,89	
2	30,94	14,07%	2	14,15	
3	27,49	23,63%	3	14,31	
4	22,78	36,73%	4	14,44	
5	20,28	43,66%	5	14,54	
6	17,84	50,45%	6	14,64	
7	16,02	55,51%	7	14,70	
8	14,72	59,11%	8	14,70	
9	13,75	61,82%			
10	13,42	62,72%			
11	12,42	65,49%			
12	12,07	66,46%			
13	11,53	67,98%			
14	11,10	69,16%			
15	10,73	70,20%			
16	10,38	71,17%			
17	10,25	71,52%			
18	10,03	72,14%			
19	9,85	72,63%			
20	9,56	73,46%			
21	9,33	74,08%			
22	9,18	74,50%			
23	8,88	75,33%			
24	8,68	75,88%			
25	8,61	76,09%			
26	8,51	76,37%			
27	8,36	76,78%			
28	8,03	77,69%			
29	7,98	77,82%			
30	7,86	78,17%			
31	7,71	78,59%			
32	7,63	78,79%			

Masa (g)	12				
Potencia(W)	696				
Humedad final(%)	14,66				
Tiempo secado(s)	Masa(g)	Perdida de humedad(%)	Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
0	36,40		0	13,49	1,22
10	29,62	18,62%	1	14,90	
20	22,20	39,01%	2	15,45	
30	19,88	45,39%	3	15,83	
40	18,30	49,73%	4	16,21	
50	16,75	53,99%	5	16,37	
60	15,81	56,56%	6	16,43	
70	14,88	59,13%	7	16,45	
80	14,52	60,11%	8	16,45	
90	14,04	61,44%			
100	13,49	62,94%			
110	11,81	67,55%			
120	11,13	69,41%			
Masa (g)	12				
Potencia(W)	487				
Humedad final(%)	14,24				
Tiempo secado(s)	Masa(g)	Perdida de humedad(%)	Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
0	36,40		0	13,34	1,04
15	25,97	28,66%	1	13,56	
30	19,76	45,70%	2	13,65	
45	17,23	52,67%	3	13,70	
60	15,76	56,70%	4	13,75	
75	14,75	59,49%	5	13,80	
90	13,62	62,59%	6	13,85	
105	13,34	63,36%	7	13,87	
120	12,77	64,91%	8	13,87	
135	12,46	65,76%			
150	12,21	66,46%			
165	12,12	66,69%			
180	12,10	66,77%			

## Anexo 06: Validación experimental

CONDICIONES QUE MAXIMIZAN LA CAPACIDAD DE REHIDRATACIÒN (Regiòn de operabilidad del equipo microondas)		
Masa (g.)	Potencia (watts)	CR
6,34	696	1,37
6,34	696	1,38
6,34	696	1,31
6,34	696	1,33
6,34	696	1,37
6,34	696	1,38
6,34	696	1,39
6,34	696	1,34
6,34	696	1,39
6,34	696	1,31
	Promedio	1,36
	Desvest	0,03

VARIABLE RESPUESTA	VALOR PRONOSTICADO	VALOR EXPERIMENTAL *
Capacidad de Rehidratación	1,5437	1.36 ± 0.03
		Rango: 1.31 - 1.39
* : Promedio de 10 repeticiones ± DS.		

<b>1</b>	Masa (g)	6,34	77,60%			
	Potencia(W)	696	14,98%			
	Humedad final(%)	14,98				
	Tiempo secado(s)	Masa(g)		Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
	0	19,02		0	7,11	1,37
	10	11,98	37,03%	1	8,18	
	20	10,45	45,06%	2	8,58	
	30	10,10	46,90%	3	8,92	
	40	9,54	49,84%	4	9,08	
	50	8,91	53,16%	5	9,29	
	60	8,49	55,38%	6	9,45	
	70	8,09	57,47%	7	9,65	
	80	7,52	60,46%	8	9,71	
	85	7,11	62,62%			15%
	90	7,07	62,82%			5%
	100	6,89	63,77%			4%
	110	6,77	64,40%			2%
	120	6,47	65,98%			2%

<b>2</b>	Masa (g)	6,34	77,60%			
	Potencia(W)	696	14,77%			
	Humedad final(%)	14,77%				
	Tiempo secado(s)	Masa(g)		Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
	0	19,12		0	7,07	1,38
	10	12,04	36,69%	1	8,13	
	20	10,59	44,33%	2	8,57	
	30	10,26	46,08%	3	8,87	
	40	9,59	49,58%	4	9,13	
	50	8,95	52,92%	5	9,29	
	60	8,53	55,15%	6	9,45	
	70	8,18	56,99%	7	9,61	
	80	7,47	60,73%	8	9,79	
	85	7,07	62,83%			
	90	6,93	63,58%			15%
	100	6,80	64,25%			5%
	110	6,50	65,80%			4%
	120	6,47	65,98%			3%

<b>3</b>	Masa (g)	6,34	77,60%			2%
	Potencia(W)	696	14,82%			
	Humedad final(%)	14,82%				
	Tiempo secado(s)	Masa(g)		Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
	0	19,22		0	7,08	1,31
	10	12,10	36,36%	1	8,14	
	20	10,64	44,04%	2	8,51	
	30	10,31	45,80%	3	8,88	
	40	9,64	49,31%	4	9,04	
	50	9,00	52,67%	5	9,17	
	60	8,58	54,91%	6	9,28	
	70	8,27	56,51%	7	9,30	
	80	7,51	60,52%	8	9,31	
	85	7,08	62,78%			15%
	90	6,96	63,38%			5%
	100	6,84	64,02%			4%
	110	6,54	65,62%			2%

<b>4</b>	Masa (g)	6,34	77,60%			0%
	Potencia(W)	696	14,74%			
	Humedad final(%)	14,74%				
	Tiempo secado(s)	Masa(g)		Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
	0	19,00		0	7,06	1,33
	10	11,97	37,09%	1	8,12	
	20	10,52	44,68%	2	8,59	
	30	10,01	47,37%	3	8,86	
	40	9,53	49,89%	4	9,02	
	50	8,90	53,21%	5	9,15	
	60	8,48	55,43%	6	9,25	
	70	8,02	57,83%	7	9,35	
	80	7,42	60,99%	8	9,38	
	85	7,06	62,86%			15%
	90	6,88	63,80%			6%
	100	6,66	64,98%			3%
	110	6,46	66,02%			2%
	120	6,45	66,09%			1%

<b>5</b>	Masa (g)	6,34	77,60%			0%
	Potencia(W)	696	14,90%			
	Humedad final(%)	14,90%				
	Tiempo secado(s)	Masa(g)		Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
	0	19,08		0	7,09	1,37
	10	12,20	35,86%	1	8,15	
	20	10,57	44,45%	2	8,56	
	30	10,18	46,48%	3	8,90	
	40	9,57	49,68%	4	9,04	
	50	8,94	53,02%	5	9,19	
	60	8,51	55,24%	6	9,35	
	70	8,16	57,10%	7	9,58	
	80	7,52	60,46%	8	9,68	
	85	7,09	62,70%			
	90	6,91	63,65%			15%
	100	6,79	64,29%			5%
	110	6,49	65,87%			4%
	120	6,48	65,93%			2%

<b>6</b>	Masa (g)	6,34	77,60%			1%
	Potencia(W)	696	14,84%			
	Humedad final(%)	14,84%				
	Tiempo secado(s)	Masa(g)		Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
	0	19,05		0	7,08	1,38
	10	12,00	36,93%	1	8,14	
	20	10,55	44,53%	2	8,51	
	30	10,22	46,28%	3	8,88	
	40	9,56	49,76%	4	9,14	
	50	8,92	53,09%	5	9,29	
	60	8,50	55,31%	6	9,45	
	70	8,20	56,89%	7	9,61	
	80	7,54	60,36%	8	9,74	
	85	7,08	62,76%			15%
	90	6,90	63,71%			5%
	100	6,78	64,34%			4%
	110	6,48	65,93%			3%
	120	6,48	65,93%			2%

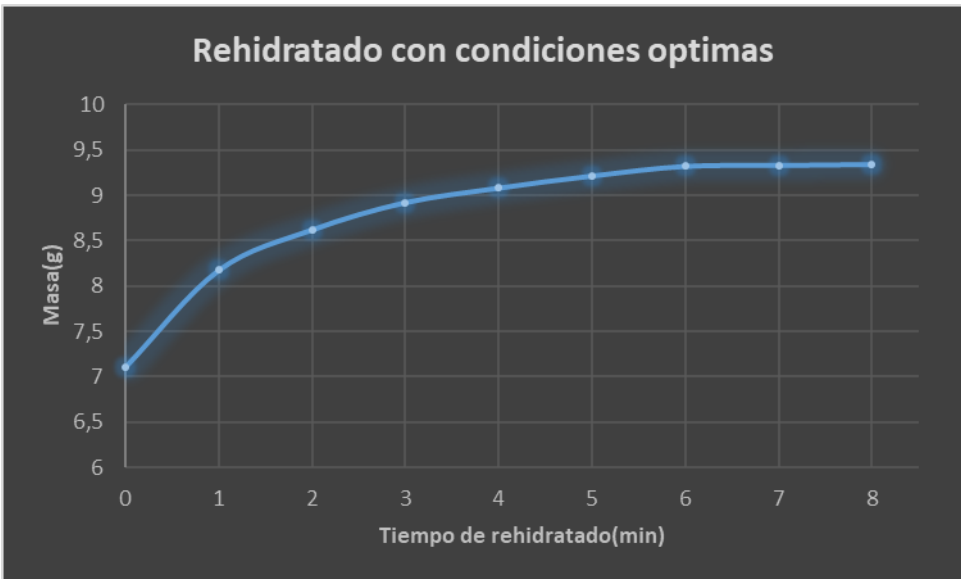
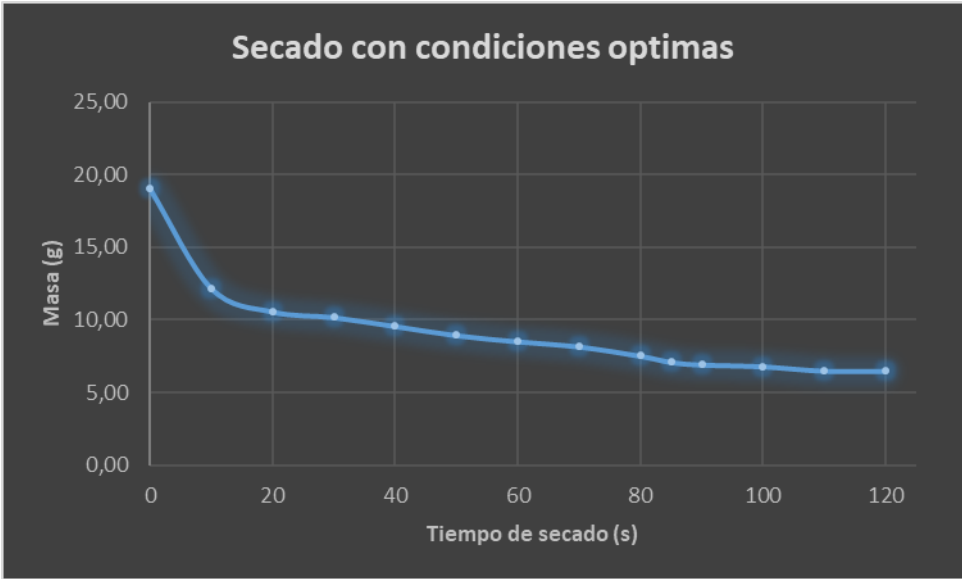
<b>7</b>	Masa (g)	6,34	77,60%			
	Potencia(W)	696	14,94%			
	Humedad final(%)	14,94%				
	Tiempo secado(s)	Masa(g)		Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
	0	19,10		0	7,10	1,39
	10	12,03	36,76%	1	8,16	
	20	10,58	44,39%	2	8,59	
	30	10,25	46,14%	3	8,91	
	40	9,58	49,63%	4	9,17	
	50	8,95	52,97%	5	9,39	
	60	8,52	55,19%	6	9,55	
	70	8,09	57,47%	7	9,70	
	80	7,46	60,78%	8	9,84	
	85	7,10	62,66%			15%
	90	6,92	63,61%			5%
	100	6,70	64,77%			4%
	110	6,50	65,84%			3%
	120	6,48	65,93%			2%

<b>8</b>	Masa (g)	6,34	77,60%			
	Potencia(W)	696	14,78%			
	Humedad final(%)	14,78%				
	Tiempo secado(s)	Masa(g)		Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
	0	19,02		0	7,07	1,34
	10	11,98	37,03%	1	8,13	
	20	10,53	44,62%	2	8,53	
	30	10,05	47,16%	3	8,87	
	40	9,54	49,84%	4	9,03	
	50	8,91	53,16%	5	9,16	
	60	8,49	55,38%	6	9,27	
	70	8,08	57,52%	7	9,43	
	80	7,42	60,99%	8	9,48	
	85	7,07	62,82%			15%
	90	6,89	63,77%			5%
	100	6,70	64,77%			4%
	110	6,47	65,98%			2%
	120	6,44	66,14%			1%

<b>9</b>	Masa (g)	6,34	77,60%			
	Potencia(W)	696	15,02%			
	Humedad final(%)	15,02%				
	Tiempo secado(s)	Masa(g)		Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
	0	19,14		0	7,12	1,39
	10	12,05	36,63%	1	8,09	
	20	10,60	44,27%	2	8,53	
	30	10,07	47,06%	3	8,93	
	40	9,60	49,53%	4	9,19	
	50	8,96	52,87%	5	9,35	
	60	8,54	55,10%	6	9,50	
	70	8,04	57,73%	7	9,68	
	80	7,47	60,73%	8	9,87	
	85	7,12	62,58%			14%
	90	6,94	63,54%			5%
	100	6,81	64,17%			5%
	110	6,51	65,77%			3%
	120	6,53	65,67%			2%



<b>10</b>	Masa (g)	6,34	77,60%			
	Potencia(W)	696	14,98%			
	Humedad final(%)	14,98%				
	Tiempo secado(s)	Masa(g)		Tiempo de Rehidratado(min)	Masa(g)	CR
	0	19,18		0	7,11	1,31
	10	12,20	35,86%	1	8,18	
	20	10,42	45,22%	2	8,62	
	30	10,04	47,21%	3	8,92	
	40	9,52	49,95%	4	9,08	
	50	8,98	52,77%	5	9,21	
	60	8,56	55,00%	6	9,32	
	70	8,07	57,57%	7	9,33	
	80	7,39	61,15%	8	9,34	
	85	7,11	62,62%			
	90	6,95	63,46%			15%
	100	6,83	64,10%			5%
	110	6,52	65,69%			3%
	120	6,47	65,98%			2%
						1%



**Anexo 07:** Ficha de registro de datos experimentales

FICHA DE REGISTRO DE DATOS EXPERIMENTALES					
<b>Proyecto :</b> OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO CON RADIACIÓN MICROONDAS DE LANGOSTINO <i>Litopenaeus vanna</i>					
			N° CORRIDA		
			FACTORES		
			NIVELES		
FECHA					
PESO INICIAL					
TIEMPO (min)	PESO (±0.01g.)	TIEMPO (min)	PESO (±0.01g.)	TIEMPO (min)	PESO (±0.01g.)

**Anexo 08: Ficha de caracterización física de la materia prima**

FICHA N° 1 CARACTERIZACION FISICA DE LA MATERIA PRIMA			
NOMBRE CIENTIFICO:			HORA DE RECOLECCION:
NOMBRE COMUN:			TEMPERATURA :
PROCEDENCIA;			
CODIFICACION:			
EJEMPLAR	LONGITUD ( ± 0.05 cm)	DIAMETRO ( ± 0.01 mm)	PESO ( ± 0.01 g)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
<b>PROMEDIO</b>			
<b>DESVEST</b>			

COMPONENTE	%
Agua	
Proteinas	
Carbohidratos	
Grasa	
Minerales	
Solidos no grasos	

## Análisis Proximal



### INFORME DE ENSAYO FQ N° 220119-015

#### ENSAYOS

DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS
Ceniza	%	1.02
Grasa	%	0.56
Humedad	%	78.25
Proteínas Factor : 6.25	%	18.90
Energía total	Kcal / 100 g.	85.72
Carbohidratos Totales	%	1.27

DETERMINACIONES	MÉTODO DE ENSAYO
Ceniza	NTP 201.022:2002 (revisada el 2015) - CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS. Determinación del contenido de cenizas
Grasa	NTP 201.016:2002 (revisada el 2017) - CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS. Determinación del contenido de grasa total. 2a Edición
Humedad	NTP-ISO 1442:2006 (revisada el 2015)- CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS. Determinación del contenido de humedad. Método de referencia
Proteínas	NTP 201.021:2002 (revisada el 2015) - CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS. Determinación del contenido de proteínas
Energía total	Cálculo
Carbohidratos Totales	Cálculo

#### Observaciones:

- Resultados válidos para la muestra referida en el presente informe.
- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Este Informe de Ensayo tiene una validez de 365 días calendario a partir de la fecha de emisión.

CERTIFICACIONES Y CALIDAD SAC.

*[Firma]*  
 QUIM VILMA SARMIENTO ZAVALA  
 JEFE DE DPTO LABORATORIO  
 C.Q.P N° 253

**Anexo 09: Fotos del proceso de secado y rehidratado**



