

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**TESIS**

**OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS EN LA EXTRACCIÓN DE SÓLIDOS  
SOLUBLES EN LA TUNA MORADA (*Opuntia ficus-indica*) POR LIXIVIACIÓN,  
PARA SU APLICACIÓN EN ALIMENTOS Y BEBIDAS**

Para optar el título de Ingeniera Agroindustrial

**PRESENTADO POR:**

Bach. GAVILAN CORI, SHERIL DIOVA

AYACUCHO – PERÚ

2019

## **DEDICATORIA**

A mis padres Raúl y Erlinda por todo su amor, sacrificio y apoyo incondicional en cada uno de mis objetivos, y a mis hermanos Arnold y Hans por todos los momentos compartidos.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar mi infinito agradecimiento a Dios, por las bendiciones y por todas las personas que ha puesto en mi vida.

A mis padres Raúl y Erlinda por su amor, apoyo incondicional y por estar conmigo en todo momento, ayudándome a nunca limitar mis sueños.

A mi asesor de tesis, M. Cs. Ing. Edgar Aronés Medina, por su gran apoyo y colaboración durante el proceso de la investigación, y por compartir su amplia experiencia y conocimientos en un marco de confianza y amistad para culminar el presente trabajo.

A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, por su dedicación y contribución en lo académico y profesional.

Por último y no menos importante mi más sincero agradecimiento al Ing. Luis A. Salinas Cortez y familia, a quienes tuve el privilegio de conocer, personas nobles que me brindaron su invaluable apoyo y confianza durante esta etapa de mi vida y desarrollo profesional.

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
1. INTRODUCCIÓN .....	9
2. MARCO TEÓRICO .....	11
2.1. TUNA (Opuntia ficus-indica) .....	11
2.2. SÓLIDOS SOLUBLES .....	16
2.3. APLICACIÓN EN ALIMENTOS Y BEBIDAS DEL COLORANTE NATURAL .....	18
2.4. LIXIVIACIÓN.....	19
2.5. OPTIMIZACIÓN.....	23
2.6. MODELADO, SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS QUÍMICOS .....	25
2.7. DISEÑO FACTORIAL .....	25
2.8. GRAVIMETRÍA .....	26
3. METODOLOGÍA .....	27
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	27
3.2. UBICACIÓN Y LUGAR DE TRABAJO .....	27
3.3. MATERIA PRIMA, INSUMOS, EQUIPOS Y MATERIALES .....	27
3.4. DISEÑO METODOLÓGICO.....	29
3.5. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCEDIMIENTO .....	29
3.6. MÉTODO DE DETERMINACIÓN ANALÍTICA .....	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1. PORCENTAJE DE HUMEDAD .....	34
4.2. COMPOSICIÓN DE LA ALIMENTACIÓN A PARTIR DE LA EXTRACCIÓN TOTAL .....	35
4.3. CURVA ESTÁNDAR DEL ESPECTROFOTÓMETRO .....	36
4.4. EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LA TUNA MORADA PARA LA EXTRACCIÓN .....	39

4.5. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LIXIVIACIÓN.....	40
4.6. EFECTO DE LA TEMPERATURA DE LA OPERACIÓN DE LIXIVIACIÓN .....	42
4.7. EFECTO DEL TIEMPO DE CONTACTO ENTRE LAS FASES SÓLIDO LÍQUIDO	43
4.8. EFECTO DE LA RELACIÓN DE ALIMENTACIÓN Y DISOLVENTE EN LA EXTRACCIÓN .....	44
4.9. BALANCE DE MATERIA .....	45
4.10. PROPUESTA TECNOLÓGICA PARA LA EXTRACCIÓN DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES DE LA TUNA MORADA.....	47
4.11. APLICACIÓN DEL EXTRACTO (COLORANTE NATURAL) EN BEBIDAS Y ALIMENTOS .....	48
CONCLUSIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXO I.....	54
ANEXO II .....	58
ANEXO III .....	60
ANEXO IV.....	66
GALERÍA DE FOTOS.....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Análisis Fisicoquímico de <i>Opuntia ficus- indica</i> “tuna” .....	15
Tabla 3.1 Factores y niveles de la extracción de sólidos solubles.....	18
Tabla 4.1 Porcentaje de humedad.....	35
Tabla 4.2 Datos para la curva de calibración .....	38
Tabla 4.3 Concentración del soluto extraído según el tamaño de partícula.....	31
Tabla 4.4 Concentración del soluto extraído según la velocidad de agitación.....	41
Tabla 4.5 Concentración del soluto extraído según la temperatura.....	42
Tabla 4.6 Concentración del soluto extraído según el tiempo de contacto.....	43
Tabla 4.7 Porcentaje de rendimiento del soluto extraído según la cantidad de disolvente. ...	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Fruto y flores de la <i>Opuntia ficus-indica</i> "Tuna morada" .....	14
Figura 4.1 Barrido Espectral (335-685 nm) .....	36
Figura 4.2 Espectrofotómetro utilizado en el laboratorio .....	37
Figura 4.3 Disoluciones Patrón .....	37
Figura 4.4 Curva estándar espectrofotométrica del extracto de la Tuna morada.....	38
Figura 4.5 Muestras de tamaño de partícula de la Tuna morada. ....	39
Figura 4.6 Concentración del soluto extraído en función al tamaño de partícula.....	40
Figura 4.7 Extractos obtenidos en el ensayo para determinar la velocidad de agitación. ....	41
Figura 4.8 Concentración del soluto extraído en función a la velocidad de agitación. ....	42
Figura 4.9 Concentración del soluto extraído en función a la temperatura. ....	43
Figura 4.10 Concentración del soluto extraído en función al tiempo de contacto. ....	44
Figura 4.11 Porcentaje de rendimiento del soluto extraído en función a la cantidad de disolvente.....	45
Figura 4.12 Diagrama de bloques de la propuesta tecnológica.....	47
Figura 4.13 Flujograma de elaboración de yogurt de fresa .....	50
Figura 4.14 Flujograma de elaboración de helados. ....	49

## RESUMEN

El colorante rojo obtenido naturalmente es muy demandado y escaso a la vez, obtenido generalmente a partir de la betarraga (*Beta vulgaris*). Una buena fuente de betalaínas es la tuna púrpura (*Opuntia ficus-indica*), que puede utilizarse potencialmente como colorante en la agroindustria.

Por ello el objetivo principal de esta investigación es determinar los parámetros óptimos de los factores que influyen en la operación de lixiviación de sólidos solubles de la tuna morada, para lograr la extracción óptima de los sólidos solubles.

Se evaluó los parámetros de operación en el proceso de lixiviación para optimizarlos. El diseño metodológico utilizado es del tipo univariable, donde se evalúa el efecto de los parámetros (variables independientes); observando como respuesta la cantidad de soluto extraído (variable dependiente) mediante lecturas de la absorbancia a la longitud de onda de máxima absorción de la tuna morada y a diferentes niveles de evaluación para cada parámetro que interviene en la extracción de los sólidos solubles.

La tuna morada tiene como componentes esenciales en la operación de lixiviación: fracción másica porcentual de soluto,  $X_F$ : 20,07 % en peso; fracción másica porcentual de disolvente,  $X_{DF}$ : 75,7 % en peso y fracción másica porcentual de insolubles,  $X_I$ : 4,23 % en peso.

Los parámetros óptimos de extracción para la obtención del extracto de la tuna morada (*Opuntia ficus indica*) son: Tamaño de partícula: F (D= 6 mm, H= 8 mm), velocidad de agitación: 500 rpm, temperatura 75,7° C, tiempo de contacto entre las fases sólido -líquido: 9 minutos, la relación de alimentación y disolvente (F/D): (1:3,2). El rendimiento experimental de la extracción de los sólidos solubles de la tuna morada (*Opuntia ficus indica*), con los parámetros óptimos determinados es de 75,42 %.



# 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el desarrollo industrial y la búsqueda de una mejor calidad de vida, obliga a que constantemente se realicen nuevas investigaciones e innoven métodos y técnicas con los cuales se minimice el tiempo y costo de producción, manteniendo o incrementando los atributos del producto y beneficios que produce el mismo.

La tuna morada (*Opuntia ficus-indica*), es una especie que crece de manera silvestre en la región de la sierra peruana, siendo la región Ayacucho la de mayor producción, seguida de Apurímac y Huancavelica. En estas regiones se usa como alimento y medicina. Existen muchas variedades, entre las que destacan la tuna morada, amarilla, blanca, caigua, etc.

La tuna morada contiene pigmentos naturales como la betacianina y la betaxantinas que pertenece al grupo de pigmentos betalainas, la betalaina al ser un colorante natural puede ser aplicada en diferentes sectores agroalimentarios.

Actualmente existe una creciente búsqueda de nuevas fuentes naturales y minimizar el consumo de alimentos con ingredientes y aditivos artificiales, es así que en nuestro país destacan estudios como: Extracción de antocianinas de las corontas de *zea maysl*. “maíz morado”, donde se investigaron las condiciones óptimas de extracción de antocianinas de las corontas del maíz morado mediante el empleo de un diseño completo al azar con arreglo factorial 2A3B4C4D. Los factores estudiados fueron pH, solvente, tiempo y temperatura. (Gutiérrez, 2010).

También destaca el proyecto de investigación: optimización de parámetros para la extracción de colorante de quinua (*Chenopodium quinoa Wild*) de la variedad amarilla de Marangani, en esta investigación el principal trabajo fue extraer el colorante con diferentes solventes, determinando parámetros. (Carbajal, 2014)

La extracción de algún componente soluble contenido en un material es posible por el uso de un solvente líquido apropiado como agente de separación para dicho fin. Este proceso se llama lixiviación sólido - líquido o simplemente, lixiviación.

La extracción de los sólidos solubles de la tuna morada puede ser afectado por factores como: temperatura de operación, relación entre la cantidad de disolvente y la tuna, tiempo de contacto de los sólidos en el disolvente, tamaño de la partícula sólida, velocidad de agitación durante la extracción.

El porcentaje de sólidos solubles de la tuna morada extraído es un parámetro importante

en los procesos tecnológicos, en el presente estudio se va determinar los parámetros óptimos a nivel de laboratorio en la extracción de sólidos solubles de la tuna morada, de manera que se logre una máxima eficiencia tecnológica y económica para extraer los solutos de esta materia prima. De este modo apoyar al desarrollo de la producción a nivel de laboratorio, y así incentivar a la formación de plantas pilotos y futuros líderes empresarios del país.

Por tal razón el presente trabajo se trazó los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

Determinar los parámetros óptimos de los factores que influyen en la operación de lixiviación de sólidos solubles de la tuna morada, para lograr la extracción óptima de los sólidos solubles.

### **Objetivos específicos**

- a. Determinar el tamaño de partícula de la tuna morada para la extracción.
- b. Determinar la velocidad de agitación de la operación de lixiviación.
- c. Determinar la temperatura de la operación de lixiviación
- d. Determinar el tiempo de contacto entre las fases sólido - líquido.
- e. Determinar la relación de alimentación y disolvente.
- f. Determinar el rendimiento de extracción de los sólidos solubles de la tuna morada.
- g. Proponer la aplicación del colorante en alimentos y bebidas.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. TUNA (*Opuntia ficus-indica*)

*Opuntia ficus indica* es un cactus que se adapta a climas extremos y diferentes condiciones edáficas. Las regiones semiáridas de la parte central de México poseen la mayor diversidad de esta especie, gracias a que el área cultivada para el consumo humano es de alrededor de 10000 hectáreas. Este tipo de cactus originarios de regiones áridas o semiáridas de México fueron introducidos al norte de África entre el siglo XVI y XIX. Los cactus cultivados se extendieron mediante el comercio en toda Mesoamérica y el Caribe y posiblemente también en América del Sur. El cultivo fue llevado posteriormente a Europa Mediterránea y el Norte de África por los colonizadores, finalmente seguido a las regiones áridas y semiáridas del mundo entero. (Torres, Morale, Ballinas y Nevárez., 2015).

Independientemente de la clasificación taxonómica que pudiera usarse como referencia, en este documento se utiliza el nombre común nopal para la planta completa, la tuna referido a la fruta y nopalito al cladodio tierno y penca al cladodio adulto.

Recientes estudios han demostrado que la tuna contiene altos niveles de agentes antioxidantes tales como ácido ascórbico, compuestos fenólicos y pigmentos betalaínicos; así como altas concentraciones de compuestos como calcio, magnesio, prolina y taurina, que le proporcionan la característica de un alimento funcional. (Ochoa y Guerrero, 2010).

#### 2.1.1. Origen y distribución

Los nopales son originarios de América tropical y subtropical y hoy día se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada, en todo el

continente americano. Además, se han difundido a África, Asia, Europa y Oceanía donde también se cultivan o se encuentran en forma silvestre.

Los nopales pertenecen a la familia Cactaceae. La taxonomía de los nopales es sumamente compleja debido a múltiples razones, entre otras porque sus fenotipos presentan gran variabilidad según las condiciones ambientales, se encuentran frecuentemente casos de poliploidía, se reproducen en forma sexual o asexual y existen numerosos híbridos interespecíficos.

El nombre científico le fue asignado por Tournefort en 1700, por su semejanza con una planta espinosa que crecía en el poblado de Opus en Grecia. Esta especie una vez introducida en España desde México, se distribuyó por toda la cuenca del Mediterráneo. Probablemente los primeros nopales fueron cultivados cerca de Sevilla o Cádiz, puntos terminales de los viajes a las Indias. Es así como actualmente existen en forma silvestre o cultivada en el sur de España, y en toda la cuenca del Mediterráneo: Francia, Grecia, Italia y Turquía, llegando hasta Israel. Los árabes la llevaron desde España a África, difundiéndose en Argelia, Egipto, Eritrea, Etiopía, Libia, Marruecos y Túnez. Sin embargo, su distribución es aún mayor; en el continente americano, se encuentra desde Canadá a Chile, en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, Estados Unidos de América, México, Perú, y Venezuela y varios países de América Central y el Caribe; en otros continentes se encuentra en Angola y Sudáfrica, en Australia y la India, existiendo especies tanto cultivadas como silvestres. En estos países, se encuentra parte de las más de 5 000 millones de hectáreas de zonas áridas y semiáridas del planeta y sus pueblos buscan especies que puedan desarrollarse y prosperar en ese peculiar y restrictivo hábitat. (Sáenz, 2006).

### **2.1.2. Clasificación taxonómica**

*Opuntia ficus indica* tiene la siguiente posición según (Rosillo, 2016):

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Caryophyllidae

Orden: Caryophyllales

Familia: Cactaceae

Género: *Opuntia*

Especie: *Opuntia ficus – indica* (L.) Miller

### **2.1.3. Descripción de la planta**

Los nopales son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar 3,5 a 5 m de altura. El sistema radical es muy extenso, densamente ramificado, rico en raíces finas absorbentes y superficiales en zonas áridas de escasa pluviometría. La longitud de las raíces está en relación con las condiciones hídricas y con el manejo cultural, especialmente el riego y la fertilización.

Los tallos suculentos y articulados o cladodios, comúnmente llamados pencas, presentan forma de raqueta ovoide o alongada alcanzando hasta 60-70 cm de longitud, dependiendo del agua y de los nutrientes disponibles. Cuando miden 10-12 cm son tiernos y se pueden consumir como verdura.

El aumento del área del cladodio dura alrededor de 90 días. Sobre ambas caras del cladodio se presentan las yemas, llamadas aréolas, que tienen la capacidad de desarrollar nuevos cladodios, flores y raíces aéreas según las condiciones ambientales.

Las aréolas presentan en su cavidad espinas, que generalmente son de dos tipos: algunas pequeñas, agrupadas en gran número (gloquidios) y las grandes que son, según algunos botánicos, hojas modificadas. Cuando el hombre entra en contacto con la planta las espinas se pueden desprender y penetrar en la piel, constituyendo un serio inconveniente tanto para la cosecha de los frutos como para el procesamiento y consumo de los mismos.

Los tallos se lignifican con el tiempo y pueden llegar a transformarse en verdaderos tallos leñosos, agrietados, de color ocre blancuzco a grisáceo.

Las flores son sésiles, hermafroditas y solitarias, se desarrollan normalmente en el borde superior de las pencas. Su color es variable: hay rojas, amarillas, blancas, entre otros colores. (Sáenz, 2006)



Figura 2. 1 Fruto y flores de la *Opuntia ficus-indica* "Tuna morada" (Bomets, 2017)

El fruto es una falsa baya con ovario ínfero simple y carnoso. La forma y tamaño de los frutos es variable los hay ovoides, redondos, elípticos y oblongos, con los extremos aplanados, cóncavos o convexos. Los colores son diversos: hay frutos rojos, anaranjados, púrpuras, amarillos y verdes, con pulpas también de los mismos colores. La epidermis de los frutos es similar a la del cladodio, incluso con aréolas y abundantes gloquidios y espinas, que a diferencia del cladodio, persisten aún después de la sobre madurez del fruto. La cáscara de los frutos difiere mucho en grosor, siendo también variable la cantidad de pulpa. Esta última presenta numerosas semillas, que se consumen junto con la pulpa. Hay frutos que presentan semillas abortadas, lo que aumenta la proporción de pulpa comestible. Debido a que existen preferencias en algunos mercados por frutos con pocas semillas o sin semillas, el mejoramiento genético está orientado hacia la búsqueda y multiplicación de variedades que presenten esta característica (Sáenz, 2006).

#### 2.1.4. Composición química

La composición química de la *Opuntia ficus – indica* "tuna morada" consiste de 75 a 85 % de agua, 12,1 % de carbohidratos totales y de 1,3 % de proteína. En la pulpa los compuestos bioactivos encontrados en mayor cantidad son la vitamina C y polifenoles; algunos aminoácidos que se presentan en la pulpa son la prolina, la glutamina y en mayor cantidad la taurina. Además, tiene altas cantidades de minerales como calcio y potasio. (Rosillo, 2016)

TABLA 2.1 Análisis Fisicoquímico de *Opuntia ficus- indica* “tuna”

Análisis	Resultado
Energía (kcal)	36
Humedad (g)	80
Proteínas (g)	1,3
Grasa total (g)	0,2
Carbohidratos totales (g)	12,1
Fibra dietaria (g)	3,8
Cenizas (g)	0,2
Calcio (mg)	136
Fósforo (mg)	20
Zinc (mg)	0,26
Potasio (mg)	143
Vitamina C (mg)	33,66

Fuente: (Reyes, 2017)

### 2.1.5. Potencial de la utilización integral de la tuna

Los nopales son dignos de ser considerados para la industrialización no solo por sus frutos y cladodios. Además existen en estas plantas valiosos y atractivos compuestos funcionales que pueden ser extraídos y utilizados para formular y enriquecer nuevos alimentos, para formar parte de la cada vez más cotizada gama de aditivos naturales (gomas, colorantes) tanto para la industria alimentaria como farmacéutica y cosmética para formular suplementos alimenticios, ricos en fibra o con fines de control de la diabetes o la obesidad, entre otros. Por otra parte, es importante la utilización indirecta de la planta como

hospedero de la cochinilla del carmín para producir colorantes naturales.

Sin duda, la posibilidad de utilización integral de esta especie es de especial atractivo e interés para el sector agroindustrial, ya que toda industria busca obtener el máximo provecho de sus materias primas (Ayala, 2008).

El color de la fruta debido a la presencia de pigmentos carotenoides y betalaínas en frutos anaranjados y púrpuras, respectivamente, es sin duda un parámetro importante por su atractivo, tanto en los frutos, como en los productos derivados de ellos; sin embargo, en los últimos años han aumentado los estudios acerca de la estabilidad de algunos de estos pigmentos, ya sea aislados o en productos procesados. (Sáenz, 2006)

La tuna morada contiene pigmentos naturales como la betacianina y la betaxantinas, que pertenece al grupo de pigmentos betalaínas, muy confundido con las antocianinas que hay en muchas especies como el maíz morado, la papa morada, sauco, camote morado, etc. Estos pigmentos naturales son empleados en la industria de alimentos y en alimentos caseros, además de ser excelentes antioxidantes y conservantes de los alimentos. Organolépticamente son muy atractivos en los alimentos por el color rojizo y fucsia, sensorialmente llamativo para el consumidor. (López, 2014)

## **2.2. SÓLIDOS SOLUBLES**

El contenido de sólidos solubles es un buen estimador del contenido azúcar en los jugos de frutas, ya que ésta representa más del 90% de la materia soluble en la mayoría de ellos. Las frutas y hortalizas contienen otros sólidos solubles diferentes de la sacarosa, esto es, otros tipos de azúcares y también ácidos orgánicos, por lo que es más frecuente determinar el contenido total de éstos en porcentaje. (Gil, 2010)

### **2.2.1. Sólidos solubles de la tuna**

Constituyen un parámetro empleado comúnmente en el análisis de alimentos y bebidas, en especial en las áreas de frutas y vinos. Se definen como todas aquellas sustancias que normalmente se presentan en estado sólido bajo condiciones ambientales pero que en ciertas circunstancias pasan a formar parte de una solución. Son ejemplos de ellos los azúcares y los ácidos orgánicos. Por lo tanto, siempre que se hace referencia a los Sólidos Solubles, inevitablemente estará implicada la presencia de una solución. (García, 2008)

En el ecotipo púrpura los pigmentos responsables del color son las betalaínas, los cuales derivan del ácido betalámico y son solubles en agua. Dentro de las betacianinas de la tuna



púrpura (*Opuntia ficus-indica*) se han identificado principalmente la betanina y en menores niveles la isobetanina. (Rosillo, 2016)

## **2.2.2. Colorantes**

El color es la primera sensación que se percibe de un alimento, y la que determina el primer juicio sobre su calidad. Es también un factor importante dentro del conjunto de sensaciones que aporta el alimento, y tiende a veces a modificar subjetivamente otras sensaciones como el sabor y el olor. (Calvo, 2018)

### **2.2.2.1. Colorante natural**

El uso del color es una necesidad estética de la humanidad y está inmersa en la historia de su desarrollo cultural. Precisar desde cuando y como se empezaron a aplicar las primeras técnicas de tinción textil, no ha sido posible; lo único que se puede afirmar es que, en diversos lugares del planeta, desde tiempos remotos, los seres humanos fueron reconociendo y utilizando el color que en la naturaleza existía. Gradualmente fueron desarrollando y perfeccionando métodos de extracción y aplicación de tinturas naturales de origen vegetal, animal y mineral, las que utilizaron para dar color al universo cultural que simultáneamente se instituía.

Los colorantes naturales son considerados en general como inocuos y consecuentemente las limitaciones específicas en su utilización son menores que las que afectan a los colorantes artificiales. (Yanchapanta, 2011)

#### **2.2.2.1.1. Betalaínas**

El término betalaínas describe a dos grupos de pigmentos, muy solubles en agua, relacionados química y biogenéticamente, estos son, las betacianinas ( $\lambda = 540 \text{ nm}$ ) y las betaxantinas ( $\lambda = 480 \text{ nm}$ ). Aunque la química de estos compuestos fue muy estudiada por numerosos investigadores, los resultados fueron recién satisfactorios en 1957, cuando Wyler Dreiding aisló cristales rojo violeta, betanina, de la raíz de la betarraga (*Beta vulgaris*), y en 1964 Piatelli y col. aislaron cristales amarillos, de los frutos de *Opuntia ficus-indica*. (Huamán, 2014)

El término betalaínas se refiere a un grupo de aproximadamente 70 pigmentos hidrosolubles, con estructuras de glucósidos, derivados del ácido betalámico, y que se han dividido en dos grandes grupos: los rojos o betacianinas, y los amarillos o betaxantinas. La forma general de las betalaínas representa la condensación de una amina primaria o

secundaria con ácido bialámico. Las betalaínas, al igual que las antocianinas, se acumulan en las vacuolas celulares de las flores, frutas y hojas que las sintetizan, principalmente en la epidermis y la subepidermis. De las fuentes de betalaínas, sólo la remolacha, el amaranto y las frutas de cactáceas son productos alimentarios. (García, 2008)

#### **2.2.2.2. Colorante artificial**

El coloreado artificial de los alimentos se produce probablemente desde que éstos se comercializan en forma elaborada. Para ello se han utilizado extractos vegetales, y durante el siglo XIX, pigmentos minerales, muchos de los cuales eran muy tóxicos. A partir de la obtención de colorantes orgánicos sintéticos a mediados del siglo XIX, el coloreado artificial de los alimentos encontró nuevas herramientas. Sin embargo, por su toxicidad y sobre todo por sus efectos a largo plazo (carcinogenicidad) muchos de estos colorantes terminaron prohibidos para su uso alimentario. (Calvo, 2018)

### **2.3. APLICACIÓN EN ALIMENTOS Y BEBIDAS DEL COLORANTE NATURAL**

Al ser el color la primera característica del alimento que el consumidor percibe, ejerce gran influencia sobre la elección del alimento, pudiendo determinar la preferencia por un alimento frente a otros de igual o incluso mayor valor nutritivo.

Los colorantes alimentarios proporcionan el color de los alimentos o ayudan a recuperarlo, si se ha modificado como consecuencia de los procesos de elaboración. (Gil, 2010)

Actualmente, la betarraga (*Beta vulgaris*) es la fuente comercial de betanina, la cual se utiliza como colorante natural en la industria de alimentos desde hace años. Se utiliza principalmente para colorear alimentos que no son tratados térmicamente como yogurt, helados, jarabes, refrescos, etc.

La tuna púrpura comparada con la betarraga al ser una fruta y no una raíz, presenta considerables ventajas tecnológicas y sensoriales, no contiene nitratos, es más aromática, no posee el olor presente en la betarraga debido a la geosmina y el 3 sec-butil-2-metoxipirazina, no muestra toxicidad y sus pigmentos no provocan ninguna reacción alérgica. Además, la tuna púrpura posee compuestos fenólicos, lo cual también contribuye a la actividad antioxidante. (Rosillo, 2016)

Según López (2014), los colorantes son adicionados a los alimentos por las siguientes razones:

- Asegurar uniformidad en tonos, evitando variaciones naturales en la intensidad de los mismos.
- Intensificar colores en alimentos donde se han visto disminuidos.
- Devolver al producto la apariencia original cuando el color natural ha sido destruido por el procesamiento.
- Conservar la identidad y el carácter de los alimentos.
- Como indicador visual de la calidad del producto.

#### **2.4. LIXIVIACIÓN**

La extracción de un constituyente soluble de un sólido por medio de un disolvente se denomina generalmente lixiviación o extracción sólido-líquido. Este proceso puede utilizarse para la producción de una disolución concentrada de material sólido valioso, o para eliminar de un sólido insoluble, como por ejemplo un pigmento, un material soluble que lo está contaminando. (Coulson y Richardson, 2003).

Según Aronés (2007), es una operación unitaria básica que se usa en numerosos procesos industriales, que consiste en la disolución de uno o más componentes que forman parte de un sólido mediante el contacto directo con un disolvente. El componente o componentes que se transfieren se denominan “soluto” y el sólido insoluble se llama “inerte”.

El mecanismo de transferencia de masa se establece de acuerdo al siguiente orden:

1. Difusión del disolvente a través del sólido.
2. Disolución del soluto en el disolvente.

Transferencia del soluto desde el interior del sólido a la superficie y luego hacia la solución como consecuencia de gradiente de concentración.

La operación de extracción sólido-líquido se conoce frecuentemente con otros nombres como lixiviación, lavado, percolación, etc. Si pretendemos separar un componente no deseado de un sólido se llama lavado, en cambio cuando se desea extraer un componente valioso (por ejemplo, los minerales de cobre u oro mediante solventes adecuados) se denomina lixiviación, mientras percolación se emplea para indicar que existe el vertido de un líquido sobre un sólido.

La colada se refería originalmente a la percolación del líquido a través de un lecho fijo del sólido, pero en la actualidad se utiliza para describir la operación en forma general, sin importar la forma en que se realice. La decocción se refiere específicamente al uso del

disolvente a su temperatura de ebullición, cuando el material soluble está sobre todo en la superficie de un sólido insoluble y simplemente se lava con el disolvente, la operación algunas veces recibe el nombre de elución.

#### **2.4.1. Variables que influyen en la extracción sólido líquido**

La eficiencia en la extracción del soluto de materiales orgánicos, inorgánicos, animales y vegetales depende del tamaño de las partículas, del tipo de solvente y la temperatura. Así tenemos:

##### **a) Tamaño de partícula**

El tamaño de las partículas afecta la velocidad de extracción de diversas maneras; cuanto más pequeño es el tamaño, mayor es el área de contacto entre el sólido y el líquido y, por tanto, mayor la velocidad de transferencia de masa; pero partículas en forma de polvo muy fino causan problemas de apelmazamiento, evitando de esta manera la transferencia de masa, por lo que es necesario determinar una granulometría adecuada resultado de pruebas experimentales. (Aronés, 2007)

- Ventajas de la acción mecánica

A menor tamaño de partícula, existe mayor contacto del solvente con el material sólido, dando como resultado mayor eficiencia de extracción.

- Desventajas de la acción mecánica

La Ruptura de tejidos de la materia sólida, provoca la extracción de otros componentes no deseados.

Partículas muy finas dificultan la operación de separación sólido líquido e imposibilitan la filtración.

##### **b) Tipo de solvente**

El líquido escogido debe ser selectivo y con baja viscosidad, generalmente se usa solvente en estado puro conforme transcurre la extracción la concentración del soluto incrementa y el gradiente de concentración disminuye, y aumenta la viscosidad del líquido. El solvente utilizado debe ser eficaz y económico, generando mayores rendimientos a un bajo costo.

El solvente corresponde a un líquido capaz de disolver una sustancia compatible que se

halla en un sólido o líquido según sea el caso. (Ullauri, 2010)

### **c) pH**

Es otra de las variables que afecta en gran medida a la solubilidad del soluto. Una selección adecuada de pH permite obtener una elevada solubilidad del soluto a extraer, al mismo tiempo que evita la disolución de componentes no deseados.

El pH es una variable importante en la extracción de colorantes naturales, usados para aumentar el color de los alimentos, ya sea porque el alimento ha perdido su color en su tratamiento industrial o bien para hacerlo más agradable a la vista y más apetecible al consumidor. (Aronés, 2007)

### **d) Temperatura de extracción**

Arias (2011) dice, en el proceso de extracción este factor juega un rol muy importante ya que a mayor temperatura aumenta la solubilidad y el transporte difuncional de los materiales extraíbles hacia el solvente líquido. Pero este aumento también puede ser perjudicial para algunos componentes volátiles presentes en el material a extraer. La temperatura de la extracción se debe determinar correctamente de tal manera que se mejore la difusividad del soluto y disolvente dando sensibilidad al producto.

#### **2.4.2. Proceso de extracción sólido líquido**

En la extracción sólido-líquido siempre se involucran los siguientes pasos:

- a) Contacto del disolvente líquido con el sólido a tratar, para disolver el componente soluble o soluto deseado.
- b) Separación de la disolución del resto del sólido.

La disolución separada se llama EXTRACTO o flujo superior (over flow) y el sólido acompañado por la disolución se llama REFINADO o flujo inferior (under flow). (Aronés, 2007)

#### **2.4.3. Clasificación de la operación de extracción sólido-líquido**

Según Aronés(2007), podemos clasificarlo de acuerdo a:

- a) La naturaleza de los sólidos:
  - Material celular

- Sólidos finos
  - Sólidos gruesos
- b) Régimen de flujo:
- Batch
  - Semi batch
  - Continuo
- c) Movimiento de los sólidos:
- Lecho fijo
  - Sólido en dispersión
  - Sólido en movimiento continuo
- d) Tiempo de contacto:
- Extracción en una etapa
  - Extracción en múltiples etapas o corriente cruzada
  - Extracción en múltiples etapas a contracorriente
  - Extracción continua de contacto diferencial

#### **2.4.4. Componentes identificados en la lixiviación**

Según Arias (2011), la estructura sólida del material que ha de someterse a lixiviación, en función al tipo de solvente elegido, queda representada por tres grupos de componentes.

**A:** Sólidos solubles (soluto)

**I:** Insolubles también denominado inertes (respecto al proceso extractivo y solvente utilizado).

**D:** Solvente líquido (opcional, de acuerdo al solvente utilizado)

Según Arias (2011), los materiales sólidos destinados a la lixiviación pueden ser:

- ✓ **Materiales orgánicos:** estructuras vegetales (semillas, tallos, hojas, etc.) y animales (insectos, hígados, etc.)
- ✓ **Materiales inorgánicos:** minerales, sales, etc.

### **2.4.5. Tipos de operación de extracción**

Las operaciones de extracción sólido líquido se realizan en:

a) Operación en estado no estacionario

Incluyen aquellas en que los sólidos y los líquidos se ponen en contacto únicamente en forma de lotes y también aquellas en que un lote de un sólido se pone en contacto con una corriente que fluye continuamente del líquido (método por semilotes). Las partículas sólidas gruesas generalmente se tratan en lechos fijos mediante métodos de percolación, mientras que los sólidos finamente divididos, que pueden mantenerse más fácilmente en suspensión, pueden dispersarse en todo el líquido con la ayuda de algún tipo de agitador.

b) Operación en estado estacionario (continuo)

La alimentación al extractor de sólidos y de solvente se realiza de manera continua. El equipo para las operaciones en estado estacionario continuo puede clasificarse en dos grandes categorías principales: operado por etapas o en contacto continuo. Algunas veces, el equipo por etapas puede montarse en unidades múltiples, para producir efectos de varias etapas; el equipo de contacto continuo puede proporcionar el equivalente a muchas etapas en un único aparato. (Aronés, 2007)

## **2.5. OPTIMIZACIÓN**

La optimización es la búsqueda ya sea del mínimo o del máximo. (Chapra y Canale, 2015)

### **2.5.1. Optimización y la práctica en ingeniería**

La optimización tiene que ver con la determinación del “MEJOR RESULTADO”, o con solución óptima, de un problema.

Los ingenieros continuamente tienen que diseñar dispositivos y productos que realicen tareas de manera eficiente. Los ingenieros siempre se enfrentan a un problema de optimización que equilibran el funcionamiento y las limitaciones. (Chapra y Canale, 2015)

### **2.5.2. Métodos**

Se presentan métodos para determinar el mínimo o el máximo de una función con una sola variable. Se examinan tres métodos: búsqueda de la sección dorada, interpolación cuadrática y el método de Newton.

## 1) Optimización unidimensional sin restricciones

### Búsqueda de la Sección Dorada

En la búsqueda de la raíz de una ecuación no lineal, el objetivo es encontrar el valor de  $x$  que diera cero al sustituir en la función  $f(x)$ . La optimización en una sola variable tiene como objetivo encontrar el valor de  $x$  que da un extremo, ya sea un máximo o un mínimo de  $f(x)$ .

La búsqueda de la sección dorada es una técnica de búsqueda para una sola variable, sencilla y de propósito general. Es igual en esencia al método de la bisección para localizar raíces

La bisección depende de la definición de un intervalo, especificado por los valores iniciales inferior ( $x_l$ ) y superior ( $x_u$ ), que encierran una sola raíz. La presencia de una raíz entre estos límites se verifica determinando que  $f(x_l)$  y  $f(x_u)$  tuvieran signos diferentes. La raíz se estima entonces como el punto medio de este intervalo,

$$x_r = \frac{x_l + x_u}{2}$$

Cualquier paso en una iteración por bisección permite determinar un intervalo más pequeño. Esto se logra al reemplazar cualquiera de los límites,  $x_l$  o  $x_u$ , que tuvieran un valor de la función con el mismo signo que  $f(x_r)$ . Un efecto útil de este método es que el nuevo valor  $x_r$  reemplazará a uno de los límites anteriores.

El método de la bisección, se puede comenzar por definir un intervalo que contenga una sola respuesta. Es decir, el intervalo deberá contener un solo máximo, y por esto se llama unimodal. Se puede adoptar la misma nomenclatura que para la bisección, donde  $x_l$  y  $x_u$  definen los límites inferior y superior, respectivamente, del intervalo. Sin embargo, a diferencia de la bisección se necesita una nueva estrategia para encontrar un máximo dentro del intervalo. (Chapra y Canale, 2015)

## 2) Métodos Directos

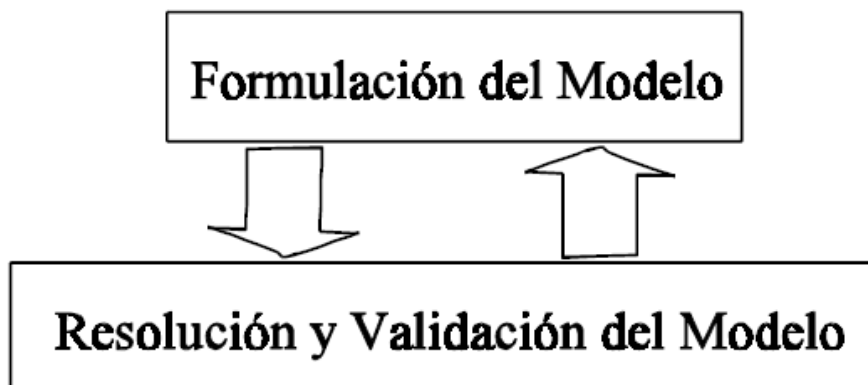
### Búsqueda univariada y búsqueda patrón

La estrategia básica del método de búsqueda univariada consiste en trabajar solo con una variable a la vez, para mejorar la aproximación, mientras los otros se mantienen constantes puesto que únicamente cambia una variable, el problema se reduce a una secuencia de búsqueda en una dimensión. (Chapra y Canale, 2015)



## 2.6. MODELADO, SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS QUÍMICOS

Se puede definir como optimización al proceso de seleccionar, a partir de un conjunto de alternativas posibles, aquella que mejor satisfaga el o los objetivos propuestos. Para resolver un problema de optimización se requieren dos etapas principales:



La formulación del modelo de optimización no es un procedimiento formal estructurado, sino más bien es un proceso que requiere de experiencia y creatividad. Una vez generado el modelo, la etapa siguiente es resolver y validar dicho modelo. (Scena, 1999)

### 2.6.1. Formulación del modelo

Si bien, como se mencionara anteriormente, el proceso de modelado es esencialmente cualitativo y requiere de la habilidad y la experiencia de quien desarrolla el modelo, en términos generales se pueden definir los siguientes pasos a seguir para la formulación del modelo según Scena, 1999:

- Identificar las Variables de Decisión
- Identificar y/o fijar las restricciones
- Definición de los Objetivos
- Análisis de la Información Disponible

## 2.7. DISEÑO FACTORIAL

Se utiliza para manipular las variables independientes simultáneamente y permite evaluar por separado los efectos de cada variable independiente al igual que la interacción entre ellas. Un diseño factorial puede utilizar dos o más variables independientes con cualquier cantidad de niveles o valores para determinar estadísticamente sus efectos. (Ávila, 2006)

## **2.8. GRAVIMETRÍA**

La gravimetría es parte de la Química Analítica que estudia aquellos procedimientos analíticos basados en mediciones de peso.

Los métodos gravimétricos se dividen en dos: de precipitación y de volatilización. En el método de precipitación, el precipitado obtenido se pesa en una balanza de precisión, después de una filtración y un tratamiento térmico adecuado. Se basa en la relación de peso del precipitado, de composición conocida, con la cantidad del constituyente de interés en la muestra analizada. Los métodos de volatilización, el analito o sustancia a analizar, o sus productos de descomposición, se volatilizan a una temperatura adecuada, se pesa el residuo y por diferencia se determina el peso del analito. (Riaño, 2007)

## **3. METODOLOGÍA**

### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación realizada es de tipo aplicativo y el nivel experimental, ya que se realizó induciendo situaciones y se manipularon las variables independientes a distintos niveles. En este caso específico, el estudio tiene la finalidad de establecer las condiciones propicias para obtener el extracto de la tuna morada (*Opuntia ficus-indica*), utilizando la operación unitaria de lixiviación, en un proceso batch. El diseño de investigación es multifactorial porque se manipuló distintas variables en el proceso de obtención del extracto.

### **3.2. UBICACIÓN Y LUGAR DE TRABAJO**

Los ensayos de laboratorio de la investigación se realizaron a partir del 6 de junio del 2018 hasta 28 de setiembre del mismo año en los ambientes de los laboratorios de Transferencia de Masa e Hidrocarburos y Tecnología Química de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Los laboratorios se encuentran en la ciudad universitaria de la UNSCH, en la provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, situada a una altitud media de 2761 m.s.n.m.

### **3.3. MATERIA PRIMA, INSUMOS, EQUIPOS Y MATERIALES**

#### **3.3.1. Materia prima**

Este estudio se realizó con frutos maduros de *Opuntia ficus-indica* “tuna morada” del centro poblado de Yuraqraqay distrito de Luricocha, provincia de Huanta, departamento de Ayacucho.

### **3.3.2. Insumos**

- Agua (solvente).

### **3.3.3. Equipos**

Los equipos que se utilizaron son los siguientes:

- Agitador: Marca Heidolph, mecánico de varillas, RPM desde 45 a 2 000.
- Balanza analítica: Capacidad 120 g, precisión 0,0001 g, burbuja de nivel y pies regulables, urna de cristal con puertas deslizables y pesada en gramos.
- Balanza mecánica: Marca Adam Equipment, modelo PGW 2 502 e, capacidad 2500 g.
- Espectrofotómetro: Marca Jenway, modelo visible 6 400, anchura de banda es 5 nm., rango de longitud de onda 320 a 1 100 nm y resolución de 0,1 nm.
- Estufa: Marca VWR International, eléctrica por convección forzada, interior de acero inoxidable, incorpora 2 bandejas (rejillas), tensión 220 VAC, frecuencia 50 Hz, Regulador de lectura digital.

### **3.3.4. Materiales**

- Probeta
- Bureta
- Cronómetro
- Embudos de
- Espátula
- Luna de reloj
- Marcador para el rotulado
- Fiolas
- Gradilla
- Papel filtro
- Pipetas
- Placas Petri
- Soporte universal
- Vaso de precipitado
- Varillas de vidrio
- Termómetros

### 3.4. DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño metodológico utilizado fue diseño factorial, donde se evalúa el efecto de los factores de la lixiviación (variables independientes) las cuales son: tamaño de partícula definido por la relación de diámetro y altura determinados en milímetros, la velocidad de agitación en revoluciones por minuto, la temperatura en grados centígrados, el tiempo de contacto en minutos y la relación F/D entre la alimentación (sólido) y el disolvente (agua); observando como respuesta la concentración de soluto extraído (variable dependiente) tuna morada (*Opuntia ficus-indica*). Cada una de las unidades experimentales se realizó con post prueba y cada tratamiento se llevó a cabo por duplicado. En la siguiente tabla se indican los factores y niveles experimentales para la extracción de sólidos solubles.

Tabla 3.2 Factores y niveles de la extracción de sólidos solubles.

NIVEL EXPERIMENTAL	FACTORES: VARIABLES INDEPENDIENTES						
	Tamaño de partícula (mm)		Velocidad de agitación (rpm)	Temperatura (°C)	Tiempo de contacto (min)	Relación (F/D)	
	Diámetro (D)	Altura (H)					
1	A:	47	56	80	70	1.5	1:1
2	B:	23	54	125	75	3	1:2
3	C:	19	44	190	80	6	1:3
4	D:	20	23	300	85	9	1:4
5	E:	12	20	500	90	12	1:5
6	F:	6	8	800	92	15	1:6

La estrategia del método a utilizar consiste en la búsqueda univariada, se fundamenta en trabajar sólo con una variable a la vez, mientras que las otras se mantienen constantes.

### 3.5. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCEDIMIENTO

El procedimiento siguió la secuencia siguiente:

#### 3.5.1. Actividades de obtención de la muestra

La muestra utilizada se obtuvo del centro poblado de Yuraqraqay distrito de Luricocha,

provincia de Huanta por muestreo aleatorio simple.

### 3.5.2. Determinación del porcentaje de humedad

La humedad indica la cantidad de agua presente en la tuna morada (*Opuntia ficus-indica*). El método que se utilizó para ello fue la determinación de la humedad por estufa a una temperatura de 98° C por un tiempo de 24 horas aproximadamente hasta alcanzar peso constante.

Para realizar los cálculos se empleará la siguiente fórmula:

$$\%Humedad = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

M<sub>1</sub>: masa inicial de la muestra (g).

M<sub>2</sub>: masa de muestra seca (g).

### 3.5.3. Ensayos de extracción total

Se caracterizó los componentes de la matriz sólida: tuna morada (*Opuntia ficus-indica*); estos componentes son:

A: sólidos solubles (soluto)

I: insolubles (con respecto al solvente utilizado)

D: disolvente líquido: agua caliente

Procedimiento:

- Se pesó 100 g de tuna morada (*Opuntia ficus-indica*) y se ubicó en el equipo de extracción previamente acondicionado (alimentación = F).
- Se agregó 250 g del solvente de extracción (solvente = S), seguidamente se agitó por unos 10 min, observando la extracción del colorante (solubles) hacia la fase líquida.
- Se dejó en reposo la mezcla y se drenó el extracto líquido, apoyándose con un sistema de filtración para retener a las partículas sólidas.
- Se pesó el Extracto (E) retirado y el Residuo sólido (Refino = R).
- Se debe asegurar que en el tanque de extracción quede totalmente el R.
- Se vuelve a repetir la operación a partir del tercer paso, adicionando nuevamente solvente de extracción sobre el residuo, hasta llegar a la etapa "N".

- Al final, se tomó el residuo final ( $R_N$ ), colocamos en una luna de reloj, llevarlo a la cámara de secado y se determinó el peso final seco, que viene a ser los insolubles (I).

#### **3.5.4. Ensayos para determinar la longitud de onda adecuada (espectrofotometría)**

Se determinó la longitud de onda que nos permita el mayor rango para las lecturas de absorbancia de los extractos correspondientes, para cada ensayo según los parámetros de los factores que inciden en la extracción de sólidos solubles de la tuna morada (*Opuntia ficus-indica*), es decir concernientes a las variables de temperatura, velocidad de agitación, tamaño de partícula, tiempo de contacto y la relación de alimentación - disolvente en la operación de lixiviación.

Procedimiento:

- Se dispuso dos soluciones, la primera de mayor concentración posible del extracto y la segunda solución lo más diluida posible.
- En el espectrofotómetro se realizó las lecturas de absorbancia de ambas soluciones, realizando un barrido para determinar la longitud de onda adecuada.

#### **3.5.5. Ensayos para determinar la curva estándar del espectrofotómetro**

Teniendo ya la longitud de onda adecuada para la lectura de la absorbancia de los extractos se determinó la curva estándar.

Procedimiento:

- A partir de la solución concentrada se determinó la concentración por el método gravimétrico; que consiste en pesar 20 g de extracto en un vaso de precipitado, llevándolo a la estufa a 100° C y secarlo hasta obtener un peso constante, para determinar la masa por diferencia de pesos y calcular la concentración en porcentaje en peso (%w/w).
- Se preparó diversas soluciones por dilución, a diferentes concentraciones y se efectuaron las lecturas en el espectrofotómetro.
- Con los resultados se realizó la gráfica de la curva estándar de las diversas absorbancias a concentraciones conocidas.

#### **3.5.6. Determinación de los parámetros óptimos de operación**

Para cada variable independiente se trabajó en diferentes niveles con la finalidad de

observar la cantidad de soluto extraído, utilizando el método de búsqueda univariable. Con los datos obtenidos y utilizando el método de optimización de la sección dorada que se muestra en el anexo I, se determina el mejor resultado del rendimiento de extracción de los sólidos solubles de la tuna morada (*Opuntia ficus indica*).

### **3.5.7. Análisis de composición de extractos y residuos**

Se realizó ensayos en el laboratorio en un proceso por lotes, con la finalidad de determinar los parámetros (variables independientes) para observar la cantidad de extracto y valorarlos por espectrofotometría; factores referidos a las variables independientes: de temperatura, velocidad de agitación, tamaño de partícula, tiempo de contacto y la relación de alimentación disolvente en la operación de lixiviación. En cada caso se determinó las cantidades y las composiciones de los extractos y residuos.

Procedimiento:

- A través del método de búsqueda univariable, que consiste en trabajar sólo con una variable a la vez, mientras que las otras se mantienen constantes; se establecieron los factores que nos permite obtener el mejor resultado del rendimiento de extracción de los sólidos solubles de la tuna morada (*Opuntia ficus indica*), en tal efecto se trabajó con las cinco variables independientes que se describieron anteriormente.
- Se realizó la extracción de los sólidos solubles de la tuna morada con los factores o variables independientes, teniendo en cuenta los parámetros determinados anteriormente.
- Se procedió al filtrado para obtener el extracto y el residuo húmedo, determinando las masas del extracto y del residuo.
- Se extrajo del extracto una cantidad suficiente para realizar la lectura en el equipo de espectrofotometría, para determinar la composición del extracto utilizando la curva estándar del espectrofotómetro y los cálculos correspondientes.
- En la estufa se colocaron los residuos húmedos y extractos de los factores evaluados para determinar su composición.
- Se retiró el residuo seco y los sólidos solubles de la estufa para ponerlos al desecador hasta que se enfríe y luego se determinó la masa de cada uno.

### **3.6. MÉTODO DE DETERMINACIÓN ANALÍTICA**

El método utilizado para el análisis del soluto extraído es por espectrofotometría para



determinar la composición del extracto y gravimetría para determinar la composición del residuo de la operación de lixiviación.

### **3.6.1. Espectrofotometría**

Es un método de análisis químico basado en la cantidad de radiación que la muestra absorbe, la que está en función de la concentración del analito, que absorbe una parte de la luz incidente y la otra lo transmite. El procedimiento según Alcarraz (2011), es el siguiente.

- Se tomó una cantidad suficiente del extracto obtenido de la operación unitaria de lixiviación para hacer la lectura de la absorbancia.
- Se programó el valor de la longitud de onda adecuado en el equipo de espectrometría.
- Se realizó la calibración del equipo usando para ello agua destilada añadida a otra celda espectrometría, es decir al realizar la lectura de la absorbancia del agua tiene que ser igual a cero.
- Una vez que se tiene la muestra, esta se colocó en la cubeta del equipo de espectrofotometría.
- Se limpió la parte externa de la cubeta de preferencia con un material suave como el papel tissue.
- Se realizó otra vez la calibración del equipo usando agua destilada para luego colocar la celda que contiene la muestra a analizar en el equipo para su lectura de absorbancia correspondiente.
- Se retiró la cubeta del equipo y procediendo a limpiarla o lavarla por lo menos tres veces, luego se secó la cubeta para proceder a la siguiente lectura de la absorbancia de otra muestra a analizar.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinaron los parámetros de operación de lixiviación de la tuna morada (*Opuntia ficus indica*), obteniendo el rendimiento máximo en la extracción de los sólidos solubles. Para ello se ha evaluado cada variable independiente mientras las otras se mantuvieron constantes, así con cada uno de los factores. Los datos experimentales son obtenidos de pruebas, es decir, llevando a cabo la experimentación a diferentes niveles.

Para el análisis de los resultados se utilizó el método de búsqueda de la sección dorada, que nos permite obtener el mejor resultado del rendimiento de extracción de los sólidos solubles de la tuna morada (*Opuntia ficus indica*). En las figuras que se muestran en los siguientes ítems se presentan las diferentes interacciones que tienen un efecto significativo en la variable de respuesta. En el caso de una interacción (AB); los niveles del primer término (A) estarán representados en el eje X, mientras que los niveles del segundo término (B), en el eje Y.

El método de gradientes y búsqueda de la sección dorada pertenece a los métodos de búsqueda lineal basados en intervalos localizando el valor óptimo precisando en forma progresiva, para la optimización de procesos.

### 4.1. PORCENTAJE DE HUMEDAD

Los resultados del porcentaje de humedad o en este caso el porcentaje de disolvente en la matriz sólida se realizó por triplicado para luego obtener un dato promedio que se detalla en el Anexo II, utilizando la Ecuación 1 obteniendo los siguientes valores:

Tabla 4.1 Resultados de porcentaje de humedad.

N°	%Humedad
1	75,8
2	75,6
3	75,7
Promedio	75,7

El valor del porcentaje de humedad obtenido se determinó solo de la pulpa de la tuna siendo coherente con la bibliografía según Reyes (2017).

#### 4.2. COMPOSICIÓN DE LA ALIMENTACIÓN A PARTIR DE LA EXTRACCIÓN TOTAL

La fase sólida está conformada generalmente por el soluto y el material sólido denominado insoluble, en algunos casos puede existir en pequeñas proporciones el disolvente. La fase líquida o solvente de extracción está conformada generalmente por el disolvente puro.

Los componentes identificados en la operación unitaria de lixiviación para los ensayos son:

- Alimentación F: tuna morada (*Opuntia ficus indica*), (conformado por los sólidos solubles, insolubles y disolvente).
- Disolvente D: agua caliente.

Los componentes de la matriz sólida determinados son:

- Fracción másica porcentual de soluto,  $X_F$ : 20,07 % en peso.
- Fracción másica porcentual de disolvente,  $X_{DF}$ : 75,7 % en peso.
- Fracción másica porcentual de insolubles,  $X_I$ : 4,23 % en peso.

La fracción másica porcentual de disolvente se determinó por medio del método de determinación de la humedad por estufa, es decir el porcentaje de humedad, cuyo valor es coherente con la bibliografía consultada. La determinación de la fracción másica porcentual de insolubles se realizó con ensayos de extracción total hasta agotamiento, luego el refino final se procedió al secado en estufa, con los resultados se determinó de la fracción másica porcentual de soluto e inertes.

### 4.3. CURVA ESTÁNDAR DEL ESPECTROFOTÓMETRO

Para determinar la curva estándar del extracto de la tuna morada (*Opuntia ficus indica*), primero se determinó la longitud de onda adecuada para los estudios a realizar.

En la figura se muestra el barrido espectral (335-685 nm) que se obtiene trabajando con una solución coloreada y midiendo los valores de absorbancias correspondientes a distintas longitudes de onda seleccionadas dentro de un determinado rango de trabajo.

Se realizó las siguientes lecturas para una solución concentrada y 14 diluciones:

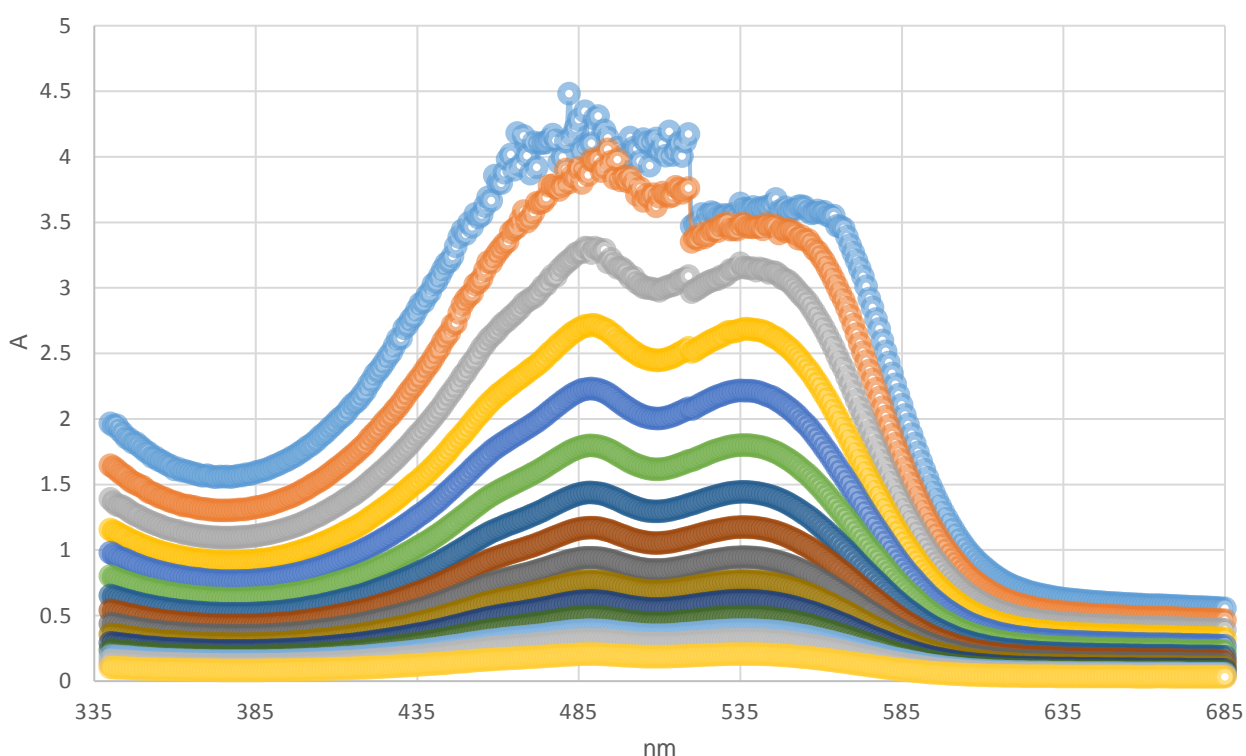


Figura 4.1 Barrido Espectral (335-685 nm)

Como se observa en la figura se tiene lecturas de absorbancia a diferentes longitudes de onda para determinar la longitud de onda adecuada para el presente trabajo de investigación se establece 482 nm como la longitud de onda adecuada, porque nos brinda el mayor rango para las lecturas de absorbancia.

La longitud de onda de 482 nm se encuentra dentro de la región visible y a partir de la curva patrón nos permitirá determinar la concentración de los sólidos solubles de los extractos en cada uno de los ensayos, realizando las lecturas de absorbancia.

El barrido espectrofotométrico también se realiza con la finalidad de identificar parcialmente

el tipo de pigmento que está presente en el extracto. Se observa el pico que corresponde a la longitud de onda del grupo de las betalaínas (480 nm y 540 nm) que concuerdan con los datos reportados según Huamán, 2014.



Figura 4.2 Espectrofotómetro utilizado en el laboratorio

Se preparó un extracto inicial de composición conocida de la tuna morada (*Opuntia ficus indica*); materia del estudio. A partir de dicha solución, se preparó diversas soluciones de soluto en agua, por dilución, a diferentes concentraciones. Las diversas disoluciones patrón, fueron analizadas en el espectrofotómetro efectuando las lecturas de las absorbancias. Con los resultados obtenidos se procedió a la gráfica de la curva estándar de diversas absorbancias a concentraciones conocidas.



Figura 4.3 Disoluciones Patrón

Tabla 4.2 Datos para la Curva de Calibración

Nº	DISOLUCIONES (mL concentrado / 10 mL solución)	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN %W/W
1	10 mL C/ 10 mL solución	3,938	8,151
2	8 mL C/ 10 mL solución	3,604	6,521
3	7 mL C/ 10 mL solución	3,205	5,706
4	6 mL C/ 10 mL solución	2,848	4,891
5	5 mL C/ 10 mL solución	2,389	4,076
6	4 mL C/ 10 mL solución	1,912	3,260
7	3 mL C/ 10 mL solución	1,472	2,445
8	2 mL C/ 10 mL solución	1,001	1,630
9	1 mL C/ 10 mL solución	0,481	0,815
10	0,5 mL C/ 10 mL solución	0,253	0,408

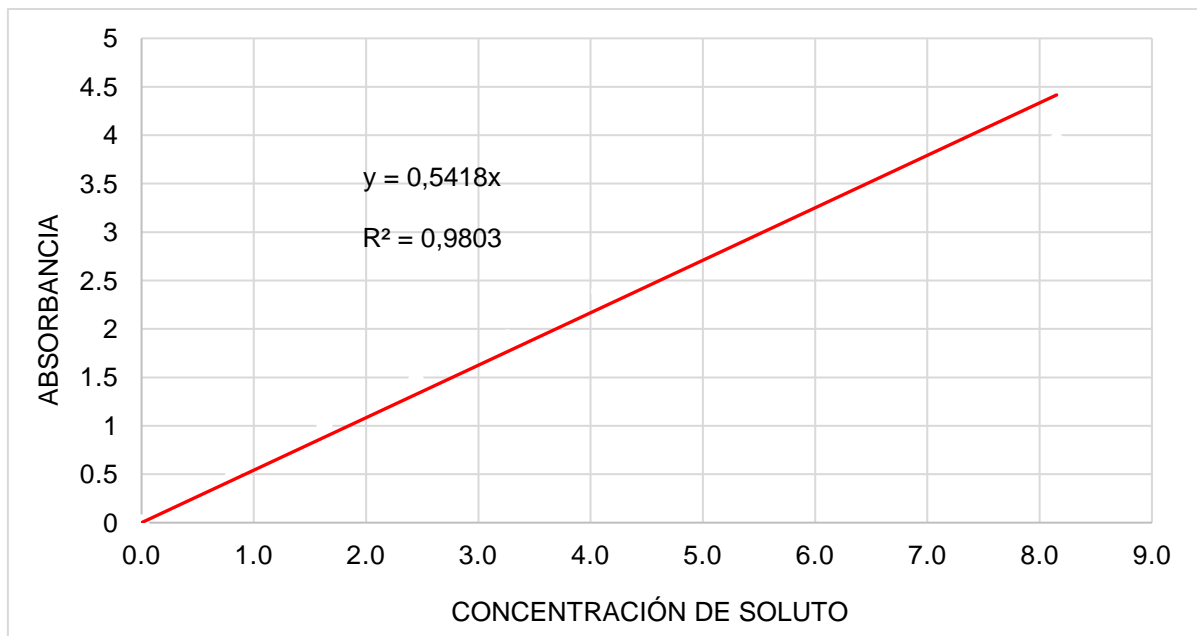


Figura 4.4 Curva estándar espectrofotométrica del extracto de la Tuna morada (*Opuntia ficus indica*).

Conociendo esta relación y teniendo una muestra de concentración desconocida obtenida en los ensayos de lixiviación, se puede medir la absorbancia y determinar la concentración

con la ecuación de relación de la curva estándar. La ecuación es:

$$y = 0,5418x$$

Para ello se realizará las lecturas de absorbancia a 482 nm de longitud de onda en el espectrofotómetro. Que corresponde a la longitud de onda del grupo de las betalaínas (480 nm y 540 nm) que concuerdan con los datos mencionados en la bibliografía según Huamán, 2014.

#### 4.4. EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LA TUNA MORADA PARA LA EXTRACCIÓN

Se evaluó el efecto que tiene el tamaño de partícula sobre el rendimiento en la extracción de sólidos solubles de la tuna morada (*Opuntia ficus indica*), en las condiciones de operación univariada. Para ello, se realizaron pruebas para seis tamaños de partícula y con parámetros máximos de los demás factores de extracción: temperatura (90° C), velocidad de agitación (800 rpm), tiempo de contacto (10 min) y relación de alimentación- disolvente (1:3).

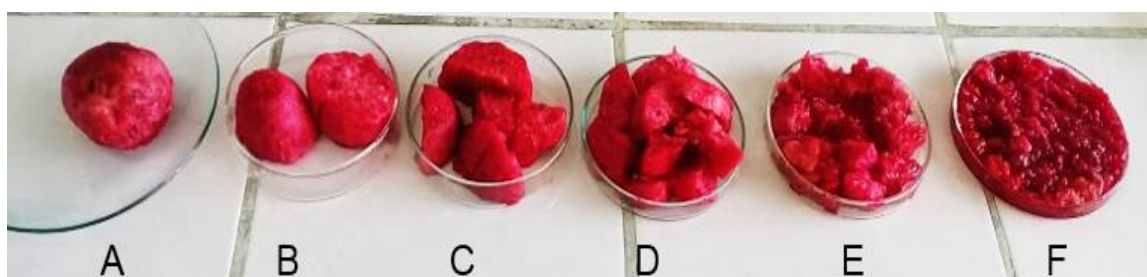


Figura 4.5 Muestras de tamaño de partícula de la Tuna morada (*Opuntia ficus indica*).

Tabla 4.3 Concentración del soluto extraído según el tamaño de partícula

	TAMAÑO		ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN (%W/W)
	D (mm)	H (mm)		
A	47	56	0,548	1,01144
B	23	54	0,554	1,02252
C	19	44	0,731	1,34921
D	20	23	1,405	2,59321
E	12	20	1,579	2,91436
F	6	8	1,678	3,09708

En la figura 4.5 se muestran los diferentes tamaños de partícula de la *Tuna morada*

(*Opuntia ficus indica*), de los seis niveles realizados. Los resultados de las pruebas de laboratorio son:

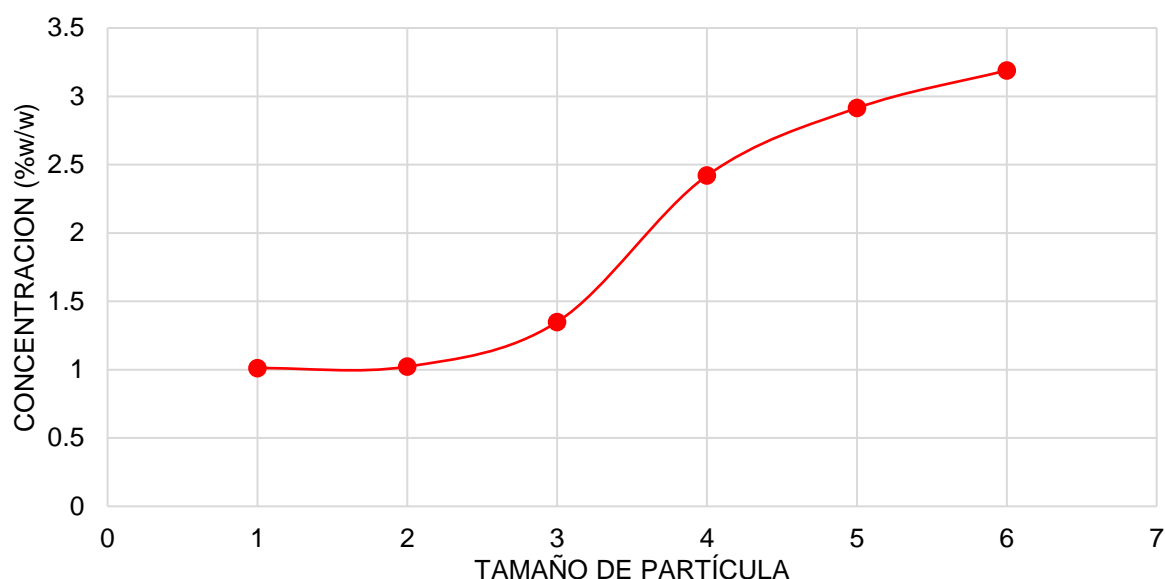


Figura 4.6 Concentración del soluto extraído en función al tamaño de partícula.

Se observó una relación inversa del rendimiento de extracción con respecto al tamaño de partícula. Evidentemente, debido a que cuanto más pequeño sea el tamaño de partícula, mayor es el área de contacto interfacial entre la tuna morada y el disolvente de extracción; permitiendo que se extraigan con más facilidad los sólidos solubles. Por esta razón se observa que existe un apreciable incremento de la concentración desde el tamaño “C” y aumentando al tamaño “F”, el rendimiento máximo se observa en el tamaño “F” que corresponde a un diámetro de 6 mm y una altura de 8 mm aproximadamente, por lo tanto es el tamaño de partícula óptimo para la extracción de sólidos solubles de la tuna morada.

#### 4.5. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE AGITACIÓN DE LA OPERACIÓN DE LIXIVIACIÓN

El nivel de agitación proporcionado al sistema de extracción sólido líquido define la hidrodinámica del medio de lixiviación, tal que a mayor turbulencia de la mezcla sólido líquida se promueve la suspensión y facilita la extracción de los sólidos solubles debido a la difusión convectiva desarrollada hacia el medio líquido.

Se valoró la extracción de los sólidos solubles a diferentes revoluciones por minuto (rpm) del agitador Heidolph el que se usará en todos los ensayos. Se efectuaron 6 niveles y con parámetros máximos de los demás factores de extracción: temperatura (90° C), tiempo de contacto (10 min), relación de alimentación disolvente (1:3) y tamaño de partícula F (D= 6 mm, H= 8 mm).



Tabla 4.4 Concentración del soluto extraído según la velocidad de agitación

Nº	VELOCIDAD DE AGITACIÓN (rpm)	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN (%W/W)
1	80	1,416	2,61351
2	125	1,520	2,80546
3	190	1,562	2,88298
4	300	1,669	3,08047
5	500	1,751	3,23182
6	800	1,757	3,24289



Figura 4.7 Extractos obtenidos en el ensayo para determinar la velocidad de agitación.

Aclarando que el equipo de agitación opera desde 45 a 2000 rpm, la evaluación se realizó a seis niveles, es decir hasta la velocidad de agitación de 800 rpm, no se persistió a más rpm, porque la agitación es enérgica y expulsa las partículas sólidas hacia las paredes del recipiente, impidiendo un contacto adecuado entre ambas fases. Asimismo se puede notar en la figura 4.8 que el aumento de concentración de 500 a 800 rpm es mínima, esto insinúa que a mayor velocidad de agitación no se incrementará notablemente el porcentaje de rendimiento del soluto extraído.

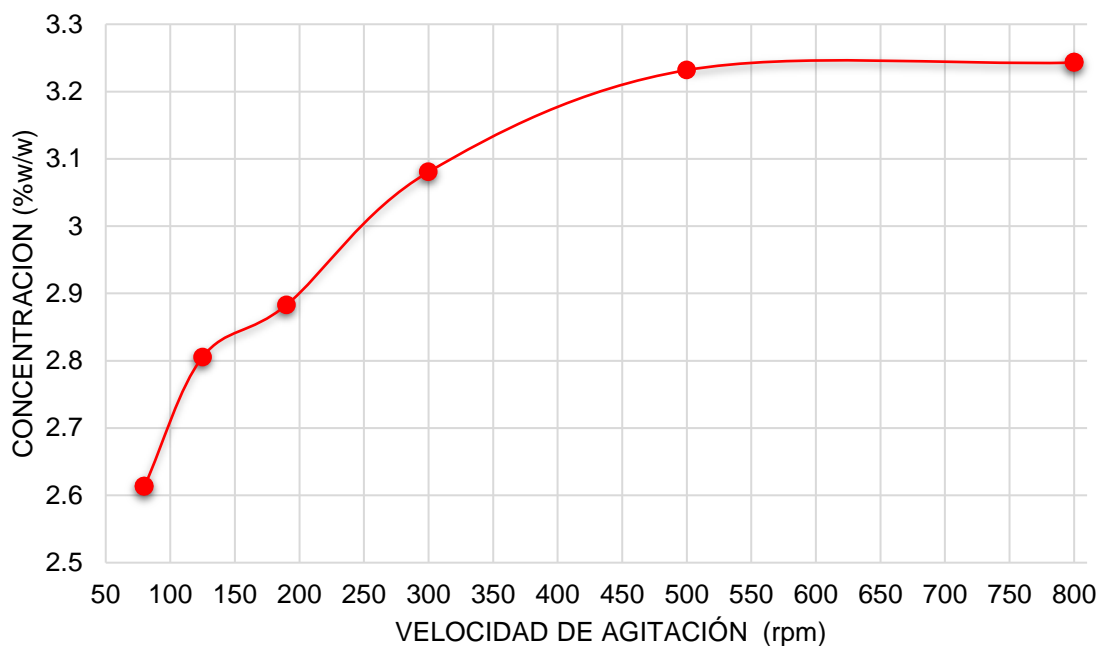


Figura 4.8 Concentración del soluto extraído en función a la velocidad de agitación.

Se estableció como velocidad de agitación óptima para la extracción de solidos solubles de la tuna morada (*Opuntia ficus indica*) a 500 revoluciones por minuto.

#### 4.6. EFECTO DE LA TEMPERATURA DE LA OPERACIÓN DE LIXIVIACIÓN

Se analizó la concentración del extracto evaluado a diferentes temperaturas, se trabajó con seis niveles de temperatura, desde 70° C hasta 92° C y con parámetros máximos de los demás factores de extracción: velocidad de agitación (500 rpm), relación de alimentación disolvente (1:3), tiempo de contacto (10 minutos) y tamaño de partícula F (D= 6 mm, H= 8 mm).

Tabla 4.5 Concentración del soluto extraído según la temperatura.

Nº	TEMPERATURA (°C)	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN (%W/W)
1	70	1,552	2,86453
2	75	1,591	2,93651
3	80	1,602	2,95681
4	85	1,608	2,96788
5	90	1,617	2,98450
6	92	1,622	2,99372

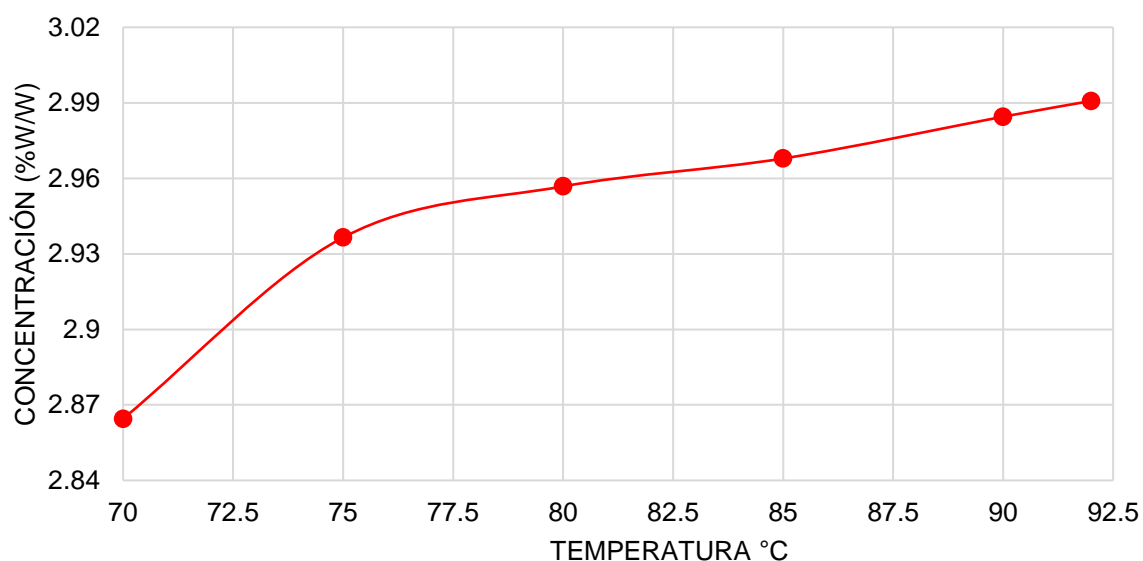


Figura 4.9 Concentración del soluto extraído en función a la temperatura.

Se percibe que la pendiente es ascendente hasta 80° C, luego se tiene una caída que se muestra en el ascenso mínimo de la concentración del soluto extraído, asimismo se toma en cuenta la termosensibilidad del colorante natural que limita la operación a temperaturas altas.

Utilizando el método de optimización de gradientes y la búsqueda de sección dorada, se determinó que la temperatura óptima es de 75,7° C, que se muestran en el anexo I.

#### 4.7. EFECTO DEL TIEMPO DE CONTACTO ENTRE LAS FASES SÓLIDO LÍQUIDO

Se determinó el tiempo de contacto óptimo en la extracción estableciendo seis niveles de variación de tiempo analizando la concentración del soluto extraído y con parámetros máximos de los demás factores de extracción: velocidad de agitación (500 rpm), relación de alimentación disolvente (1:3), temperatura 75,7° C y tamaño de partícula F (D= 6 mm, H= 8 mm).

Tabla 4.6 Concentración del soluto extraído según el tiempo de contacto.

Nº	TIEMPO (min)	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN (%W/W)
1	1,5	1,715	3,16537
2	3	1,749	3,22813
3	6	1,798	3,31857
4	9	1,872	3,45515
5	12	1,881	3,47176
6	15	1,884	3,47730

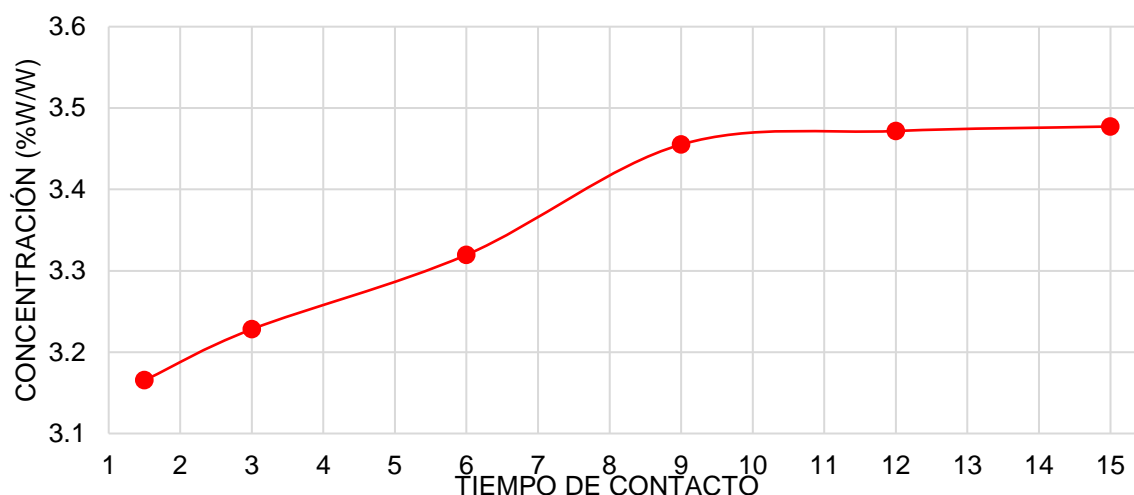


Figura 4.10 Concentración del soluto extraído en función al tiempo de contacto.

En la figura anterior se aprecia claramente que a partir de los nueve minutos el aumento de la concentración es mínima con respecto al tiempo de contacto. Utilizando el método de optimización de gradientes y la búsqueda de sección dorada, se determinó que el tiempo óptimo de contacto es de 9 minutos, demostrado en el anexo I.

#### 4.8. EFECTO DE LA RELACIÓN DE ALIMENTACIÓN Y DISOLVENTE EN LA EXTRACCIÓN

Se ejecutó los ensayos para seis niveles de relación alimentación - disolvente y con parámetros óptimos de los demás factores de extracción: velocidad de agitación (500 rpm), tiempo de contacto 9 minutos, temperatura 75,7° C y tamaño de partícula F (D= 6 mm, H= 8 mm), con la finalidad de evaluar el efecto que tiene sobre el rendimiento de la extracción en función a la alimentación de la Tuna morada (*Opuntia ficus indica*).

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{m_{\text{solute extraído}}}{m_{\text{alimentación}}} \times 100$$

Tabla 4.7 Porcentaje de rendimiento del soluto extraído según la cantidad de disolvente.

Nº	RELACIÓN (F/D)	ABSORBANCIA	CONCENTRACIÓN (%W/W)	RENDIMIENTO (%)
1	1:1	3,597	6,639	8,212
2	1:2	2,294	4,234	9,406
3	1:3	1,732	3,197	10,072
4	1:4	1,345	2,482	10,468
5	1:5	1,153	2,128	10,680
6	1:6	0,976	1,801	10,775

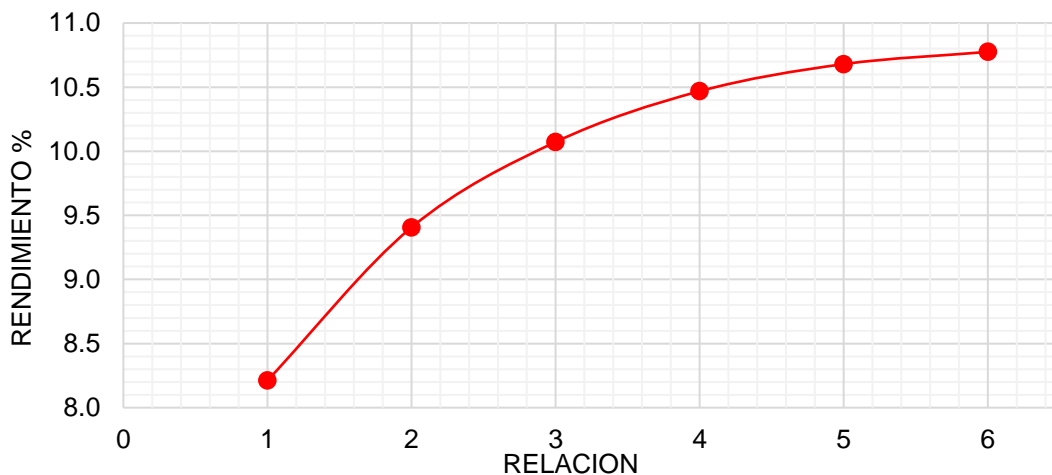


Figura 4.11 Porcentaje de rendimiento del soluto extraído en función a la cantidad de disolvente.

Se aprecia en la figura que el incremento del rendimiento es apreciable hasta la relación 1:4. No obstante, a mayor cantidad de disolvente en la operación de lixiviación el rendimiento no incrementa significativamente.

Aplicando el método de optimización de gradientes y la búsqueda de sección dorada, se estableció que la relación óptima de alimentación y disolvente es (1: 3,2), que corresponde a 65 g de alimentación y 208 g de disolvente.

#### 4.9. BALANCE DE MATERIA

El balance de materia de la operación unitaria de lixiviación en la extracción de los sólidos solubles de la Tuna morada (*Opuntia ficus indica*), es indispensable para evaluar la intervención de los parámetros ensayados para optimizar el proceso, los cuales son tamaño de partícula: F (D= 6 mm, H= 8 mm), velocidad de agitación: 500 rpm, la temperatura del disolvente es de: 75,7° C, tiempo de contacto entre las fases sólido - líquido: 9 minutos y la relación de alimentación y disolvente (F/D): (1:3,2).

##### 4.9.1. Balance de materia experimental

En base a los datos optimizados de laboratorio se tiene el balance de materia respectivo:

Alimentación:

$$F = 65,00 \text{ g}$$

Fracción másica del soluto:

$$X_F = 0,2007$$

Fracción másica de disolvente:

$$X_{DF} = 0,757$$

Fracción másica de insolubles:

$$X_i = 0,0423$$

Disolvente:

$$D = 208,00 \text{ g}$$

Extracto:

$$E_r = 248,64 \text{ g}$$

Fracción másica de disolvente:

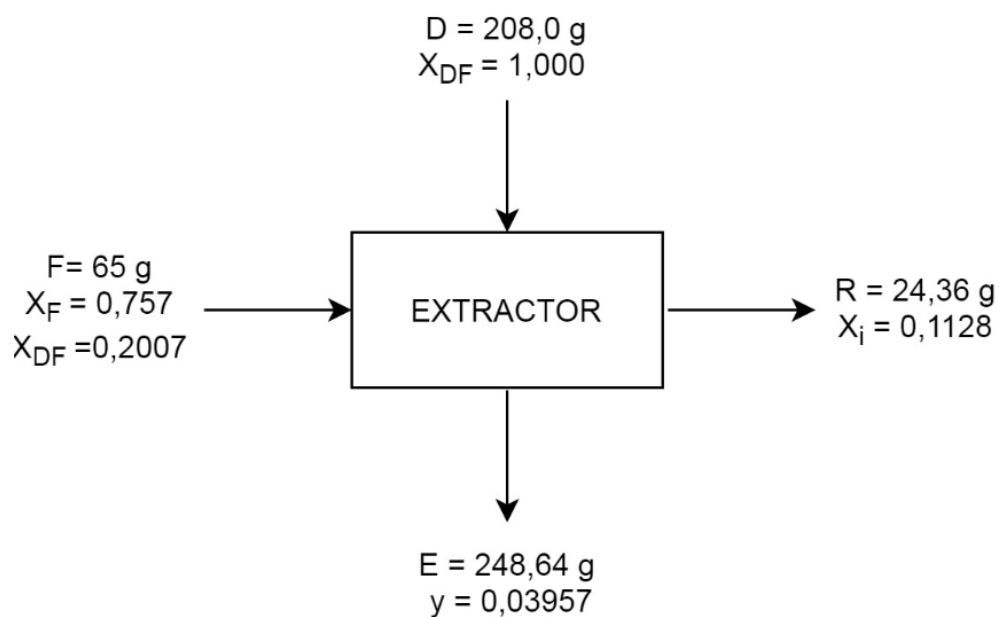
$$Y_i = 0,03957$$

Refino:

$$R_i = 24,36 \text{ g}$$

Fracción másica de insolubles:

$$X_i = 0,1128$$



Balance de materia Global:

$$F + D = E + R$$

$$65 \text{ g} + 208 \text{ g} = 248.64 \text{ g} + 24.36 \text{ g}$$

$$273 \text{ g} = 273 \text{ g}$$

Calculamos el porcentaje del rendimiento en la extracción de los sólidos solubles de la tuna morada (*Opuntia ficus indica*), usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Solute extraído} = \left[ \frac{E_r \times y_i}{F \times X_F} \right] \times 100$$

$$\% \text{ Solute extraído} = \left[ \frac{248,64\text{g} \times 0,03957}{65,00\text{g} \times 0,2007} \right] \times 100$$

$$\% \text{ Solute extraído} = 75,42$$

#### 4.10. PROPUESTA TECNOLÓGICA PARA LA EXTRACCIÓN DE LOS SÓLIDOS SOLUBLES DE LA TUNA MORADA

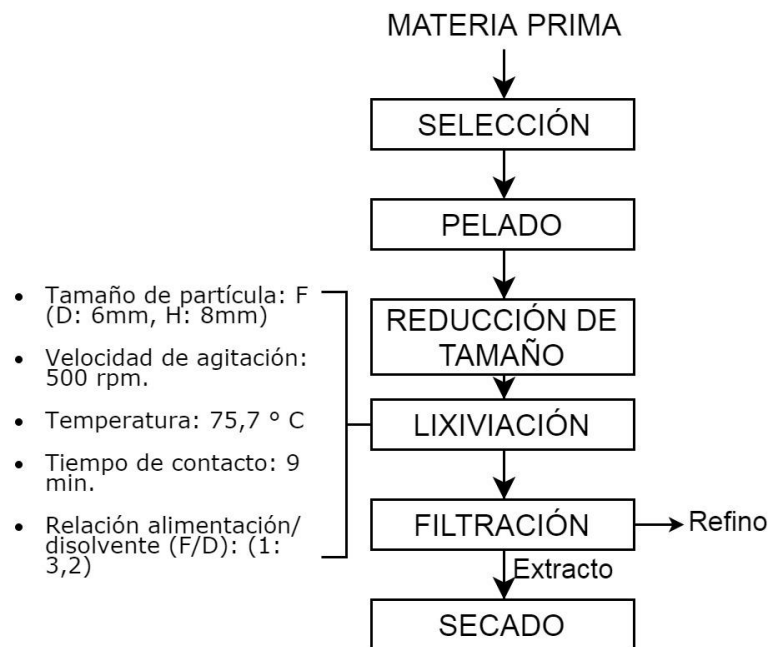


Figura 4.12 Diagrama de bloques de la propuesta tecnológica.

#### **4.11. APLICACIÓN DEL EXTRACTO (COLORANTE NATURAL) EN BEBIDAS Y ALIMENTOS**

Con los parámetros optimizados del proceso de lixiviación se logran obtener a partir de 100 g de fruto de tuna morada, 20,07 g extracto de los sólidos solubles para su utilización en bebidas y alimentos como potenciador de color.

Este extracto es idóneo para su uso en derivados y productos lácteos como helados, bebidas o yogures, así como en productos congelados o de panadería y pastelería con un tiempo de caducidad corto.

##### **4.11.1. Aplicación del colorante natural en helados**

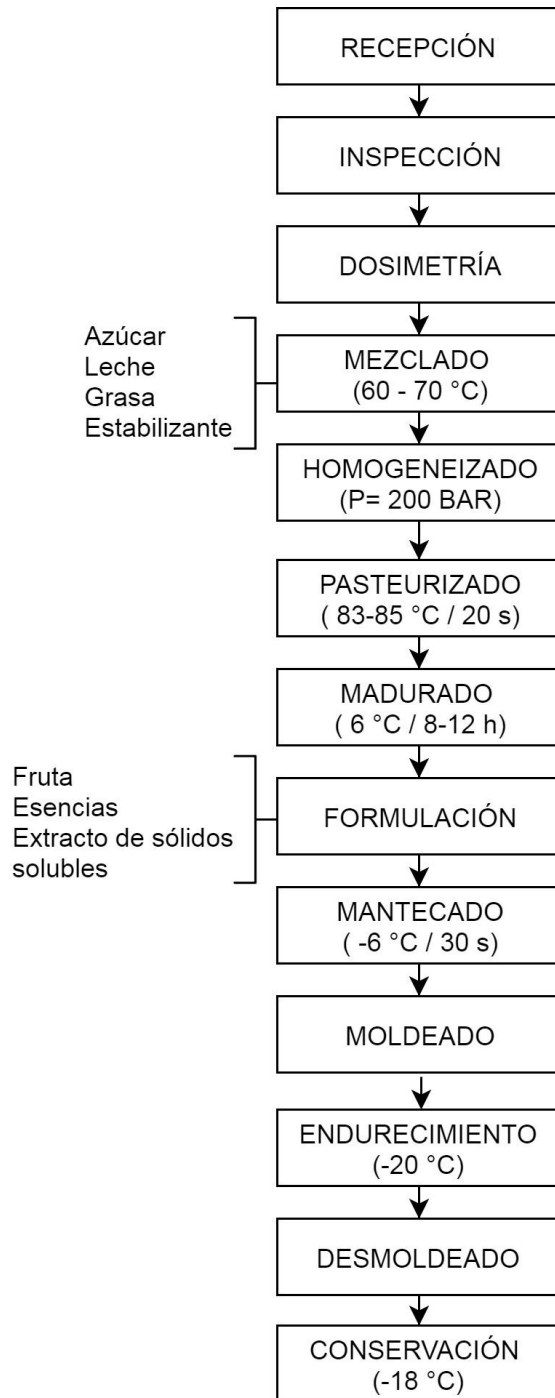
Los helados son productos obtenidos por congelación de una mezcla pasteurizada de leche, nata y azúcar, aromatizada en condiciones definidas con frutas, jugos de frutas, aromas u otros ingredientes.

Donde se puede aprovechar el uso del extracto de sólidos solubles para optimizar las características de este producto, donde aproximadamente 50 g de extracto se utilizan como colorante en una base o mix de 5 L para la elaboración de 6,6 L de helados lo que corresponde al 1 % para un producto con las características organolépticas deseadas, y también los grados brix y consistencia adecuada.

El producto se valoró con una evaluación sensorial, alcanzando un 70 % de aceptación que se detalla en el Anexo IV.

A continuación se presenta el flujograma y la descripción del proceso productivo para la elaboración de helados se detalla en el Anexo III.





**Figura 4.13 Flujograma de elaboración de helados.**

#### **4.11.2. Aplicación del colorante natural en yogurt**

El yogurt de sabor fresa es una buena opción donde se puede usar el extracto de sólidos solubles para resaltar y uniformizar el color característico y así sea más llamativo para el consumidor.

Aproximadamente 20 g de extracto se utilizan para la elaboración de 2 Kg de yogurt lo que

corresponde al 1 % para un producto con las características organolépticas deseadas, y también un pH y acidez apropiados.

Analizando dicho producto con una evaluación sensorial se obtiene un 68.75% de aceptación, que se especifica en el Anexo IV.

A continuación se presenta el flujograma y la descripción del proceso productivo para la elaboración de yogurt se detalla en el Anexo III.

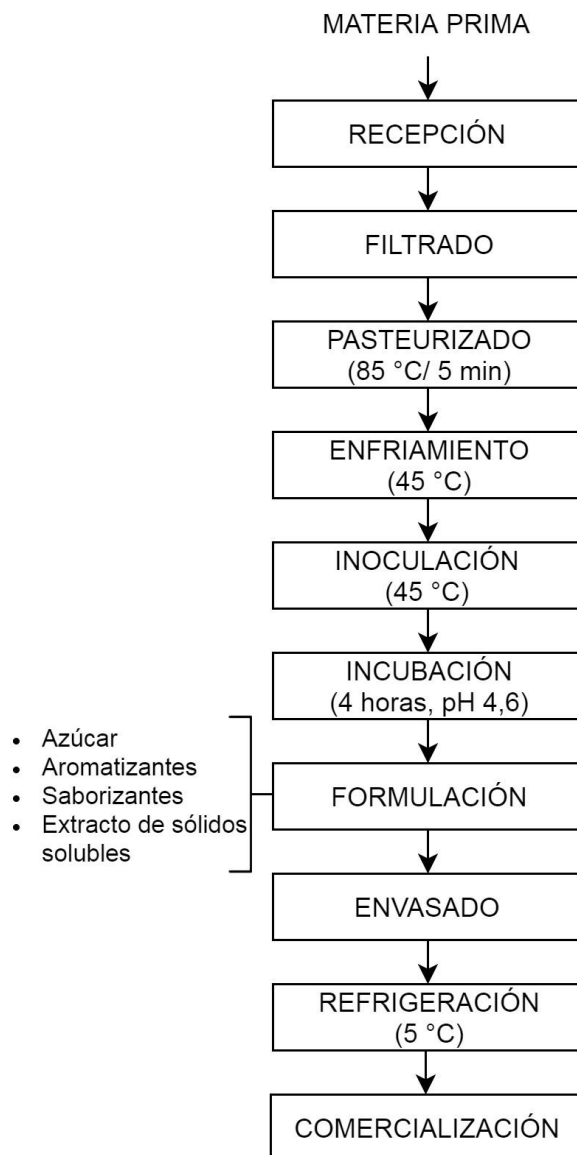


Figura 4.14 Flujograma de elaboración de yogurt sabor fresa

## CONCLUSIONES

1. Los parámetros significativos que influyen en la operación de lixiviación en la extracción de sólidos solubles de la tuna morada (*Opuntia ficus indica*), por el sistema batch, son: tamaño de partícula, velocidad de agitación, temperatura, tiempo de contacto de las fases y la relación de alimentación y disolvente.
2. Los componentes esenciales de la tuna morada (*Opuntia ficus indica*) en la operación de lixiviación son:
  - Fracción másica porcentual de soluto,  $X_F$ : 20,07 % en peso.
  - Fracción másica porcentual de disolvente,  $X_{DF}$ : 75,7 % en peso.
  - Fracción másica porcentual de insolubles,  $X_I$ : 4,23 % en peso.
3. Los parámetros óptimos de extracción para la obtención del extracto de la tuna morada (*Opuntia ficus indica*) en medio acuoso son:
  - a. Tamaño de partícula: F (D= 6 mm, H= 8 mm)
  - b. Velocidad de agitación: 500 rpm.
  - c. La temperatura del disolvente es de: 75,7° C.
  - d. Tiempo de contacto entre las fases sólido -líquido: 9 minutos.
  - e. La relación de alimentación y disolvente (F/D): (1:3,2)
4. El rendimiento experimental de la extracción de los sólidos solubles de la tuna morada (*Opuntia ficus indica*), con los parámetros óptimos determinados es de 75,42 %.
5. Es factible técnicamente la aplicación del extracto de sólidos solubles obtenido de la tuna en alimentos y bebidas, como potenciador de color como ejemplo se experimentó en yogurt y helados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcarraz, T. (2011). Analisis Quimico Instrumental. Ayacucho-Peru: Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga.
- Arias, A. (2011). Fundamentos y Aplicaciones de Transferencia de Masa 1a ed. Ayacucho - Perú: Mafer servicios generales.
- Aronés, M. E. (2007). Transferencia de Masa. Ayacucho.
- Ávila, H. (2006). Introducción a la metodología de la investigación. Chihuahua - México: Edicion electrónica.
- Ayala, B. T. (2008). Proyecto de instalación de una planta de procesamiento de tuna en el distrito de Chincho provincia de Angaraes departamento de Huancavelica. Lima.
- Bomets. (15 de Diciembre de 2017). Bomets.com. Obtenido de <http://bomets.com/?p=483>
- Calvo, M. (12 de Marzo de 2018). Bioquímica de los alimentos. Obtenido de <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/aditivos/colorartif.html>
- Carbajal, S. (2014). Optimización de parámetros para la extracción de colorante de quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) de la variedad amarilla de Marangani. Juliaca: Universidad Peruana Unión.
- Chapra, Steven C. y Canale, Raymond P. (2015). Métodos numéricos para ingenieros. Séptima edición. México: McGraw Hill.
- García, V. (2008). Evolución de compuestos funcionales durante la maduración de frutos de *Opuntia stricta*. Cartagena: Tesis para optar título de Agrónomo.
- Gil, H. Á. (2010). Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Madrid: Editorial Médica Panamericana S.A.
- Gutiérrez, A. (2010). Extracción de antocianinas de las corontas de *zea maysl*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Huamán, L. A. (2014). Evaluación del tipo de solvente en el rendimiento durante la extracción de colorante natural de la cáscara de tuna morada (*Opuntia ficus*). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

- J. M. Coulson y J. F. Richardson. (2003). Ingeniería química: operaciones básicas. Tomo II. Barcelona - España: Editorial Reverté, S.A.
- Jiménez, A. (2003). Diseño de Procesos en Ingeniería Química. Guanajuato - México: Reverté S.A.
- López, G. S. (2014). Extracción y actividad antioxidante del colorante natural de la pulpa del fruto de *Opuntia ficus-indica* "tuna morada" y su aplicación en crema chantilly. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ochoa y Guerrero. (2010). La tuna: una perspectiva de su producción, propiedades y métodos de conservación. México: Universidad de las Américas Puebla.
- Reyes, M. (2017). Tablas peruanas de composición de alimentos. Lima: Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud.
- Riaño, N. (2007). Fundamentos de Química Analítica Básica- Análisis Cuantitativo. Caldas - Colombia: Universidad de Caldas.
- Rosillo, Z. C. (2016). Estudio de los principios bioactivos y obtención de colorantes naturales de la cáscara de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos .
- Sáenz, C. (2006). Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas de la FAO, 3-5.
- Scena, N. J. (1999). Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químicos. Argentina: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional.
- Torres, Morale, Ballinas y Nevárez. (2015). El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 1129.
- Ullauri, P. (2010). Transporte de masa en extracción fase sólido - líquido. Quito - Ecuador: Reciteia.
- Yanchapanta, D. d. (2011). Obtención de un colorante natural la betalaina a partir de la remolacha (*beta vulgaris*) para su aplicación en alimentos y bebidas, sin que sus propiedades organolépticas (sabor y olor) afecten su utilidad. Ambato: Ecuador.

## ANEXO I

### DETERMINACIÓN DE LA MÁXIMA EXTRACCIÓN POR EL MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN DE LA SECCIÓN DORADA

La función objetivo para un problema de optimización debe ser unimodal para que el valor óptimo global se garantice al resolver el problema mediante algún método numérico, funciones no unimodales conducen a soluciones que no garantizan un valor óptimo global. Cabe mencionar que las funciones unimodales no necesariamente continuas o diferenciables.

La optimización es decisiva porque disminuye el número de elecciones posibles hasta reducirlas a una sola, la mejor. Además proporciona información sobre la sensibilidad de las condiciones óptimas.

Procedimiento:

- Una vez realizada la curva correspondiente a la variable evaluada, determinar las ecuaciones de los intervalos de las líneas en el punto de modificación de pendiente.
- Establecer y graficar las ecuaciones de la recta tangente a la curva en las respectivas secciones.

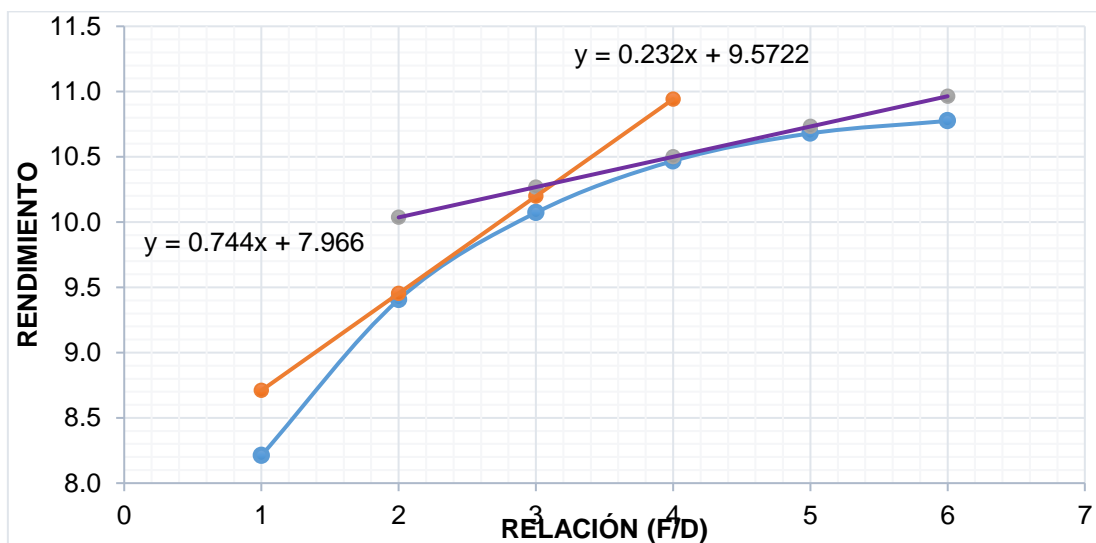


Figura A.1 Gráfica de las ecuaciones de la recta tangente a la curva.

- Ecuación de la recta:  $y = m * x - b$

Donde:

m: pendiente

b: intercepto

1.  $y = 0,744x + 7,966$
2.  $y = 0,232x + 9,5722$

- Estas rectas son graficadas hasta que se intersecten, como se hizo en la figura anterior.
- Para determinar la sección dorada, resulta de calcular la recta bisectriz:

$$L_1 = A_1x + B_1y + C_1 = 0$$

$$L_2 = A_2x + B_2y + C_2 = 0$$

- Las bisectrices de los ángulos suplementarios formados por L1 y L2 al intersectarse está dado por la siguiente ecuación:

$$\frac{|A_1x + B_1y + C_1|}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2}} = \frac{|A_2x + B_2y + C_2|}{\sqrt{A_2^2 + B_2^2}}$$

- De la intersección entre la recta bisectriz y la curva, proyectar una recta perpendicular al eje "X" correspondiente al rendimiento máximo a esa relación (F/D).

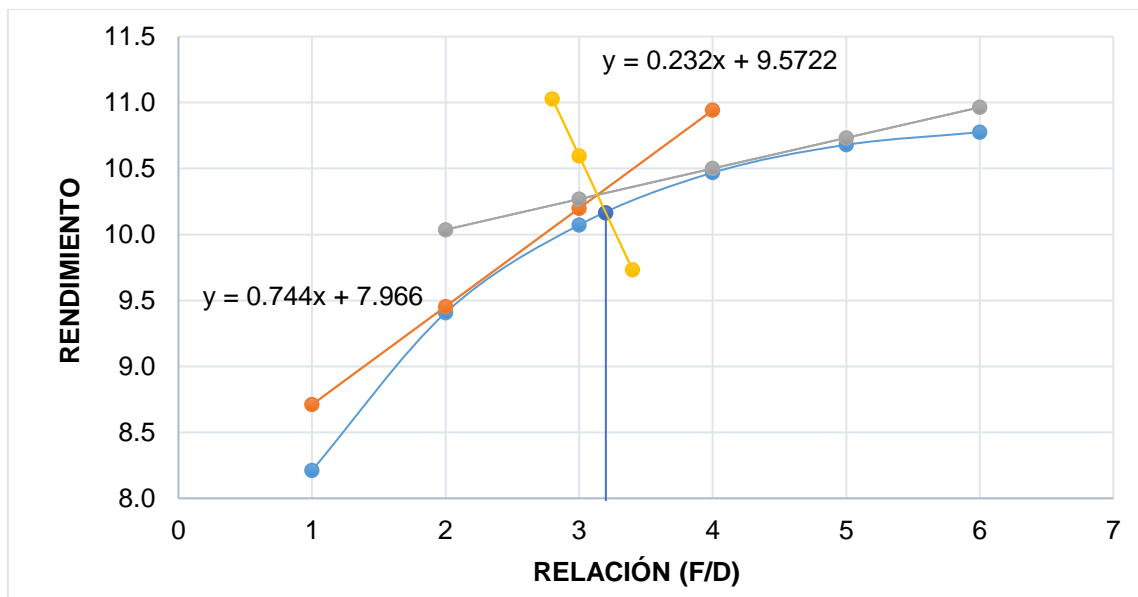


Figura A.2 Gráfica de la bisectriz y la recta perpendicular al eje "x".

Del mismo modo se optimizaron los parámetros de temperatura y tiempo como se presenta en las siguientes gráficas:

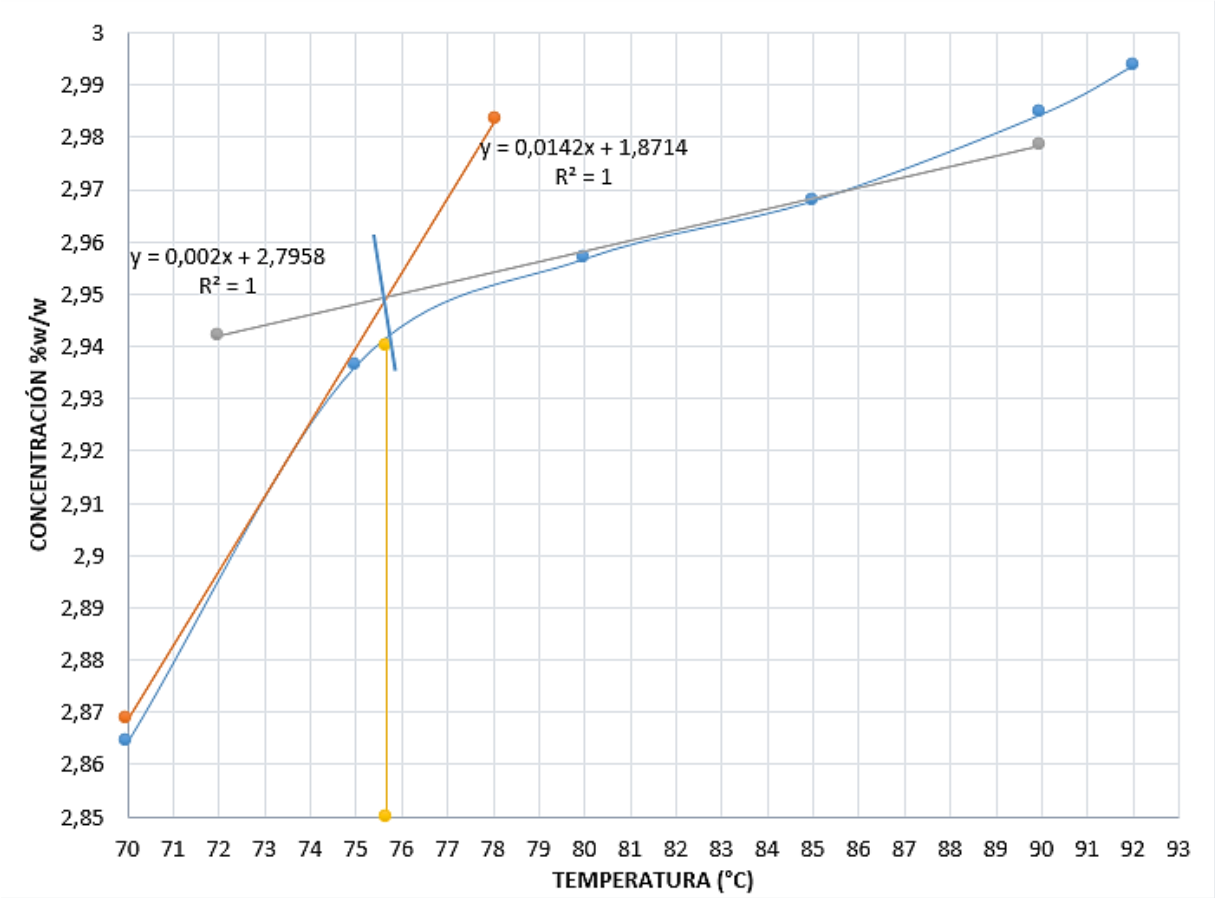


Figura A.3 Gráfica de las ecuaciones y la recta perpendicular para el parámetro de temperatura.



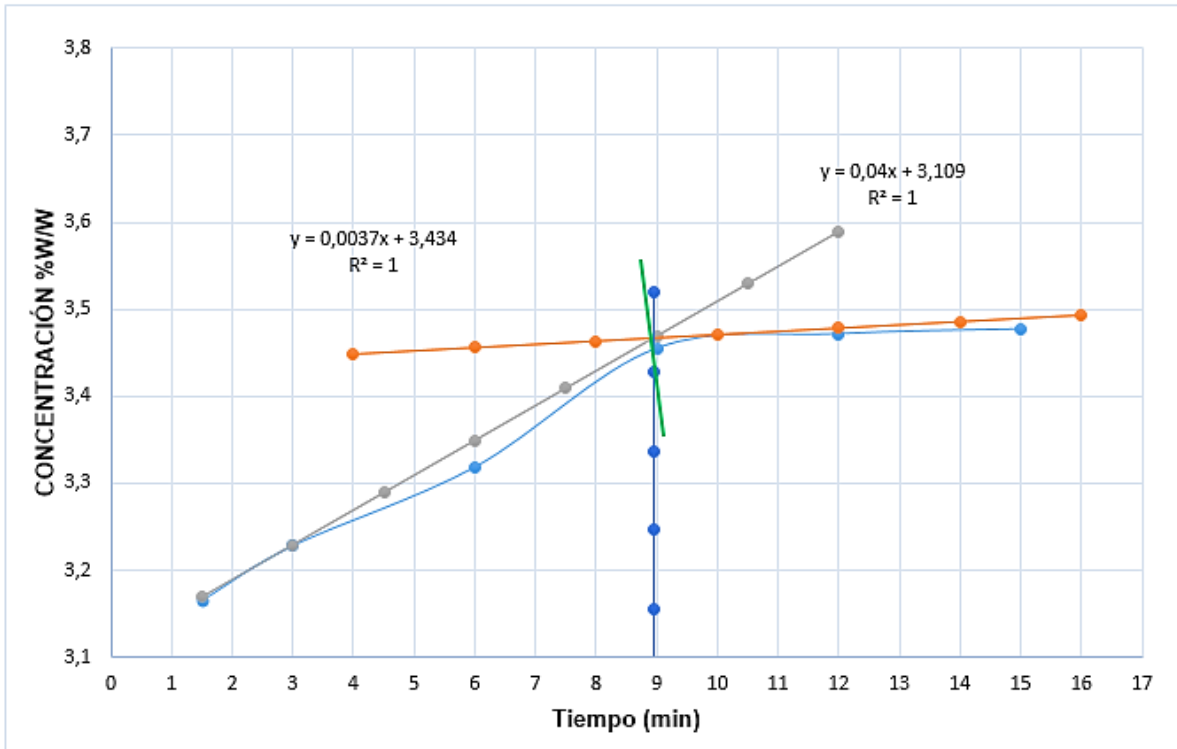


Figura A.4 Figura A.3 Gráfica de las ecuaciones y la recta perpendicular para el parámetro de tiempo.

## ANEXO II

### DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD

La humedad indica la cantidad de agua presente en la tuna morada (*Opuntia ficus-indica*). El método que se utilizó para ello fue la determinación de la humedad por estufa a una temperatura de 98 °C por un tiempo de 24 horas aproximadamente hasta alcanzar peso constante.

Datos	1	2	3
Masa del vaso (g)	52,34	52,34	54,24
Masa muestra + masa del vaso (g)	72,34	72,34	74,24
Masa de muestra seca + masa del vaso (g)	57,18	57,22	59,1

Con estos datos obtenidos en el procedimiento de secado calculamos la masa de la muestra seca:

N°	Masa de muestra seca
1	4,84
2	4,88
3	4,86

Con estos datos y la siguiente fórmula realizamos los cálculos para hallar el porcentaje de humedad:

$$\% \text{Humedad} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

Donde:

$M_1$ : masa inicial de la muestra (g).

$M_2$ : masa de muestra seca (g).

Tabla 4.2 Porcentaje de humedad.

<b>N°</b>	<b>%Humedad</b>
1	75,8
2	75,6
3	75,7
Promedio	75,7

## **ANEXO III**

### **III.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE HELADOS SABOR FRESA**

#### **A. Recepción y almacenamiento de los ingredientes**

Las materias primas se reciben en el almacén en estado seco, líquido, congelado, empacado dentro de cajas contenidas en bolsas u otros recipientes como botellas.

Los ingredientes que no están herméticamente cerrados y esterilizados se almacenan bajo refrigeración estricta, en el caso de que no se disponga de ellos inmediatamente. Los ingredientes secos serán puestos en un lugar de almacenamiento que forzosamente será seco y frío.

De igual modo, la materia prima que llega congelada se mantendrá en los congeladores o en contenedores endurecedores.

#### **B. Inspección**

La leche entera y la grasa vegetal son inspeccionadas, probadas y pesadas.

Estas materias primas se someten a pruebas para determinar si son adecuadas para su uso e incluyen: determinación de la densidad, punto de congelación, determinación de la acidez, precipitación con alcohol y ebullición.

#### **C. Dosimetría**

La materia prima sólida es dosificada en peso, mientras que los productos líquidos lo son por volumen. Como se trata de materias primas caras que deben dar un producto final homogéneo y uniforme en su composición, se deben utilizar sistemas de pesado y dosificación fiables y de precisión.

Los ingredientes sólidos se pesan uno a uno manualmente y dosifican de acuerdo a una fórmula prefijada.

#### **D. Mezcla de los ingredientes (Base – Mix)**

La mezcla o disolución de los ingredientes normalmente se efectúa dentro del pasteurizador. Se introducirán primero los líquidos, leche o agua, luego la nata o grasa vegetal (aquí hay diversidad de opiniones)

A unos 30°C podemos empezar a mezclar leche en polvo y azúcares en polvo; con agitación máxima del emulsionador. A continuación se incorporará el estabilizante, emulsionante con una parte de la sacarosa. Esto se hace para que no se encapsule el estabilizante y pueda disolverse correctamente. A unos 60°C-70°C agregamos los jarabes de glucosa.

Algunos ingredientes no serán pasteurizados, bien porque no sea necesario debido a su bajo pH y coagularían las proteínas de la leche; o bien porque no nos interese desde el punto de vista organoléptico y sepamos con total seguridad que el producto en cuestión no implica ningún riesgo como son los colorantes y esencias.

### **E. Homogeneización de la mezcla**

El objetivo que perseguimos con la homogeneización es desintegrar y dividir finamente los glóbulos de grasa que hay en la mezcla, para así conseguir una suspensión permanente y evitar que la grasa se separe del resto de los componentes y ascienda hacia la superficie por su menor peso. Al reducir el tamaño de los glóbulos de grasa se evita el batido de los mismos y se mejoran las propiedades espumantes y la incorporación de aire en la mezcla. Estos efectos se deben a la adsorción de las proteínas (y de los emulsionantes añadidos) sobre la superficie de los glóbulos grasos, las cuales forman una membrana. Así pues, la homogeneización lo que hace es disminuir la relación volumen/superficie, aumentando la superficie de los glóbulos grasos y consiguientemente la membrana protectora de los mismos que les impedirá volver a agregarse.

El diámetro medio de los glóbulos grasos antes de la homogeneización es de 3 a 4 micras, aunque existen glóbulos desde 0,1 a más de 20 micras. Tras la homogeneización, los glóbulos tendrán un diámetro medio de 0,3 a 0,4 micras, con lo que habremos reducido el tamaño a un décimo del tamaño inicial.

### **F. Pasteurización de la mezcla**

La pasteurización es un método de calentamiento que tiene como principal objetivo la destrucción de los microorganismos patógenos que puedan estar en la mezcla, reduciendo el número de los mismos hasta un valor aceptable. Además, se inactivan enzimas y microorganismos capaces de provocar indeseables modificaciones del olor y del sabor durante el almacenamiento de los helados, así como una completa disolución de los ingredientes de la mezcla. La refrigeración posterior tiene el objetivo de impedir el crecimiento de las bacterias que hayan podido sobrevivir.

### **G. Maduración de la mezcla.**

Tras la homogeneización y pasteurización de la base, esta es conducida a depósitos a una temperatura de 6°C por un periodo de 8 a 12 horas. Con esta maduración se consiguen cambios beneficiosos en la base, tales como:

- Cristalización de la grasa.
- Las proteínas y los estabilizadores añadidos tienen tiempo de absorber agua, con lo que el helado será de buena consistencia.
- La mezcla absorberá mejor el aire en su batido posterior.
- El helado obtenido tendrá mayor resistencia a derretirse.

### **H. Saborización**

Es la adición de aromas y colorantes al empezar con la maduración se añaden a la mezcla la harina o trozos de fruta fresca o frutos secos de acuerdo al sabor de helados que se desea y también añadimos los aditivos finales (colorantes y esencias). Estos no fueron añadidos durante la mezcla ya que en la pasterización podrían perder sus características organolépticas. Se les dosifica manualmente en forma líquida desde los bidones en los que vienen.

### **I. Mantecación de la mezcla**

La congelación o mantecación es una de las etapas que más influyen en la calidad del helado final. Es el punto clave de la transformación de una mezcla de ingredientes en helado, y es a partir de aquí cuando ya se habla de helado y no de mezcla. La mantecación se realiza a la temperatura de -6 a -8°C durante 8 minutos.

### **J. Moldeado**

Utilizaremos cubetas o moldes aptos para uso alimentario, limpio y desinfectado, donde iremos llenando los helados.

### **K. Endurecimiento del helado**

Tras el moldeado de los helados es necesario su endurecimiento, ya que a la salida del mantecador la temperatura era de -9°C, y durante las manipulaciones posteriores esta puede haber subido incluso por encima de -4°C, con lo que el helado tendrá una consistencia

semifluida y podría perder su configuración si no se vuelve a congelar. Las temperaturas alcanzadas en el centro del helado deben ser de al menos  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Esta etapa es clave para la obtención de un helado de calidad. Un endurecimiento lento provoca la aparición de cristales de hielo de gran tamaño que le dan un cuerpo más basto, empeorando la calidad del producto.

#### **L. Desmoldado y Embolsado**

Los moldes son retirados de la chupetera y se sumergen apresuradamente por un contenedor de agua para facilitar el desmoldado y seguidamente embolsamos las paletas.

#### **M. Conservación**

La conservación de los helados debe de estar por ley por debajo de  $-18^{\circ}\text{C}$ . En mi opinión, es una temperatura de conservación para unos pocos días. A esta temperatura tenemos riesgo de que el agua empiece a cristalizarse. Para mantener el helado durante un período largo de tiempo sin que ello afecte demasiado a su estructura deberíamos conservarlo a unos  $-24^{\circ}\text{C}$ .

#### **N. Exposición en carretas**

Los helados destinados a la venta tienen normalmente un PAC de  $-11^{\circ}\text{C}$ , pues esta es la temperatura en la superficie de las cubetas. Deberemos ajustar la temperatura para conseguir esa temperatura de venta.

## **III.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE YOGURT SABOR FRESA**

### **A. Recepción de la leche**

Recibir leche fresca de buena calidad sin antibióticos, sin mastitis. Luego del ordeño lo más pronto posible se debe realizar un tratamiento térmico.

### **B. Filtrado**

Por medio de filtros se retiran de la leche las impurezas gruesas como pelos, paja, estiércol. La filtración de la leche se acostumbra a hacer siempre que se cargue a un recipiente o se desplace a otro.

### **C. Pasteurizado**

Los objetivos de esta etapa del proceso es eliminar microorganismos patógenos, reducir la población microbiana total para que no interfiera con el desarrollo de las bacterias lácteas del cultivo iniciador.

### **D. Enfriamiento**

La leche debe enfriarse hasta los 45° C, temperatura óptima para la siembra de cultivos.

### **E. Inoculación**

La inoculación se realiza luego del tratamiento térmico, bajando la temperatura a 45 y 46°C en este momento se adiciona el fermento lácteo que está conformado por bacterias lácticas productoras de ácido láctico y aroma.

### **F. Incubación**

La mezcla con el cultivo se debe incubar a 45°C durante 4 horas, tiempo en el que el yogurt debe adquirir un pH de 4,6.

### **G. Saborizado**

La adición de sabores y frutas se efectúa al terminar la incubación; se rompe el gel mediante una agitación suave, se baja la temperatura a 20°C y se le adiciona la mermelada de frutas, azúcar, colorantes, esencias, saborizantes y conservantes.



## **H. Envasado**

La finalidad del envase es la de contener, proteger y conservar los alimentos, además de servir para informar al consumidor. También facilita la venta del producto y su empleo. El yogur se comercializa en envases de vidrio o plástico.

## **I. Refrigeración**

En la cámara de refrigeración se baja la temperatura de forma suave hasta temperaturas inferiores a 5° C. A esta temperatura el coágulo adquiere firmeza. Los yogures permanecerán en almacenamiento en esta cámara de refrigeración hasta su distribución. La temperatura debe mantenerse durante todo el periodo de conservación entre 2° C y 5° C, y nunca sobrepasar los 10° C en las etapas intermedias de la cadena de distribución.

## ANEXO IV

### EVALUACION SENSORIAL

#### PRUEBAS DE SATISFACCION

Escala Hedónica: Consiste en pedirle a los panelistas (no necesariamente preparados) que den su informe sobre el grado de satisfacción que tienen de un producto, al presentársele una escala hedónica o de satisfacción, pueden ser verbales o gráficas, la escala verbal va desde me gusta muchísimo hasta me disgusta muchísimo, entonces las escalas deben ser impares con un punto intermedio de ni me gusta ni me disgusta y la escala gráfica consiste en la presentación de caritas o figuras faciales.

La evaluación sensorial se realizó cerca a las instalaciones de una institución educativa, ofreciendo la degustación del producto seguida de su valoración del grado de satisfacción en una pequeña encuesta.

#### Resultados de la evaluación sensorial:

Producto: Yogurt sabor fresa

Puntaje	Nivel de satisfacción	Cantidad	Porcentaje (%)
5	Me gusta mucho	24	68,57
4	Me gusta moderadamente	8	22,86
3	No me gusta ni me disgusta	3	8,57
2	Me disgusta moderadamente	0	0
1	Me disgusta mucho	0	0
TOTAL		35	100

Se evaluó el nivel de agrado de un yogurt de fresa, potenciado en color con un concentrado de los sólidos solubles de la tuna morada, donde 24 personas de un total de 35 dieron un puntaje máximo de satisfacción (5: me gusta mucho), obteniendo un 68,57 % de aceptación.

### Resultados de la evaluación sensorial:

Producto: Helados sabor fresa

Puntaje	Nivel de satisfacción	Cantidad	Porcentaje (%)
5	Me gusta mucho	21	70,00
4	Me gusta moderadamente	7	23,33
3	No me gusta ni me disgusta	2	6,67
2	Me disgusta moderadamente	0	0
1	Me disgusta mucho	0	0
TOTAL		30	100

Se evaluó el nivel de agrado de helados sabor fresa, potenciado en color con un concentrado de los sólidos solubles de la tuna morada, donde 21 personas de un total de 30 dieron un puntaje máximo de satisfacción (5: me gusta mucho), obteniendo un 70 % de aceptación.

#### EVALUACIÓN SENSORIAL

**Producto:** Yogurt ( ) - Helados ( )

1. Pruebe el producto que se presenta a continuación:
2. Marque con un aspa (X), el cuadro que corresponde a la frase que mejor describa su opinión sobre el producto que acaba de probar:

PUNTAJE	NIVEL DE AGRADO	MARQUE DONDE CORRESPONDA
5	Me gusta mucho	
4	Me gusta moderadamente	
3	No me gusta ni me disgusta	
2	Me disgusta moderadamente	
1	Me disgusta mucho	

**COMENTARIOS:**

.....  
 .....

**¡GRACIAS!**

## GALERÍA DE FOTOS



Figura A.3 Tuna morada, *Opuntia ficus indica*.



Figura A.4 Muestra lista para los ensayos.



Figura A.5 Muestras para determinar el tamaño óptimo.



Figura A.6 Proceso de agitación para la extracción de los sólidos solubles.



Figura A.7 Filtrado para la obtención del extracto.



Figura A.8 Extractos obtenidos en el ensayo para determinar la velocidad de agitación.



Figura A.9 Extractos para determinar el tiempo de contacto.



Figura A.10 Extractos para determinar la relación (F/D).



Figura A.11 Espectrofotómetro



Figura A.12 Añadiendo el colorante natural a la base para helados.



Figura A.13 Proceso de moldeado de las paletas de helados.



Figura A.14 Desmoldado de las paletas de helados de crema.





Figura A.15 Añadiendo colorante natural al yogurt.



Figura A.16 Yogurt con colorante natural.



Figura A.17 Degustación para la evaluación sensorial.



Figura A.18 Degustación para la evaluación sensorial.



Figura A.19 Degustación para la evaluación sensorial.