

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



“DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES A PARTIR DE SUBPRODUCTOS DEL JUGO DE NARANJA (*Citrus sinensis L.*) Y SU EFECTO CONSERVANTE EN PAPILLAS DE CEREALES”

TESIS PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

VÍCTOR ÁNGEL DÍAZ GASPAR

Callao, 2020

PERÚ

A handwritten signature in blue ink, reading "Víctor Ángel Díaz Gaspar".

A handwritten signature in black ink, which is illegible.

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

Mg. DÍAZ BRAVO PABLO BELIZARIO	PRESIDENTE
Mg. MARÍA ESTELA TOLEDO PALOMINO	SECRETARIO
Mg. GUTIERREZ CUBA CÉSAR	MIEMBRO
Mg. REYNA SEGURA ANA MARÍA	MIEMBRO
Dra. AVELINO CARHUARICRA CARMEN GILDA	ASESORA

ACTA N°016-2020-UPG-FIQ

LIBRO: 001

FECHA DE SUSTENTACIÓN: DÍA 01 DE AGOSTO DEL AÑO 2020

ÍNDICE

ÍNDICE	1
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
RESUMEN.....	6
ABSTRATO	7
INTRODUCCIÓN	8
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1 Descripción de la realidad problemática	9
1.2 Formulación del problema	10
1.2.1 Problema general	10
1.2.2 Problemas específicos	10
1.3 Objetivos	11
1.3.1 Objetivo general	11
1.3.2 Objetivos específicos	11
1.4 Limitantes de la investigación	12
1.4.1 Teórico	12
1.4.2 Temporal	12
1.4.3 Espacial	13
II. MARCO TEÓRICO	14
2.1 Antecedentes del estudio	14
2.2 Bases teóricas	16
2.2.1 Naranja (<i>Citrus sinensis</i> L.)	16
2.2.2 Aceites Esenciales	21

2.2.3 Metodología de superficie de respuesta	32
2.3 Conceptual	34
2.4 Definición de términos básicos	35
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES	37
3.1 Hipótesis.....	37
3.1.1 Hipótesis general.....	37
3.1.2 Hipótesis específicas.....	37
3.2 Definición conceptual de variables	38
3.2.1 Variables independientes	38
3.2.2 Variables dependientes.....	38
3.2.3 Operacionalización de las variables:	38
IV. DISEÑO METODOLÓGICO	40
4.1 Tipo y diseño de investigación.....	40
4.1.1 Tipo de investigación.....	40
4.1.2 Diseño de la investigación.....	40
4.2 Método de investigación	41
4.2.1 Extracción de aceites esenciales	41
4.2.2 Elaboración de la papilla de cereales.....	46
4.2.3 Determinación de la vida útil de la papilla de cereales.....	47
4.3 Población y muestra	49
4.3.1 Población	49
4.3.2 Muestra	49
4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado.....	49
4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.....	49
4.6 Análisis y procesamiento de datos:	51

V. RESULTADOS	54
5.1 Resultados descriptivos.....	54
5.1.1 Rendimiento de aceites esenciales a partir de los subproductos del jugo de naranja (<i>Citrus sinensis L.</i>)	54
5.1.2 Vida útil de las papillas de cereales	55
5.2 Resultados inferenciales.....	56
5.2.1 Elaboración del modelo matemático que permite predecir los rendimientos del proceso de extracción de aceites esenciales.	56
5.2.2 Caracterización gráfica.....	61
5.2.3 Caracterización de los parámetros óptimos para el máximo rendimiento del proceso de extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (<i>Citrus cinensis L.</i>)	63
5.2.4 Determinación de diferencias significativas entre la vida útil de la papilla con aceites esenciales, versus otra sin preservantes.	65
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	68
6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.....	68
6.1.1 Hipótesis general versus resultados.....	68
6.1.2 Hipótesis específica 1 versus resultados	68
6.1.3 Hipótesis específica 2 versus resultados	69
6.1.4 Hipótesis específica 3 versus resultados	69
6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares	70
6.3 Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes	76
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS.....	80
ANEXOS	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Indicadores del Desarrollo del Cultivo de Naranja.	17
Tabla 2 Composición Química del Citrus Sinensis L.	20
Tabla 3 Composición del Aceite Esencial de Citrus Sinensis L.	23
Tabla 4 Propiedades Fisicoquímicas del Aceite Esencial de Citrus Sinensis L. Obtenidos a través del Método de Hidrodestilación por Arrastre de Vapor (HD) E Hidrodestilación Asistida por Microondas (MWHD).	24
Tabla 5 Componentes Derivados del Aceite Esencial de Cítricos Tratados Térmicamente.	29
Tabla 6 Operacionalización de las Variables.	39
Tabla 7 Diseño para el Desarrollo de la Superficie de Respuesta.	41
Tabla 8 Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información.	50
Tabla 9 Rendimiento de Aceites Esenciales.	54
Tabla 10 Vida Útil de la Papilla con Aceites Esenciales.	55
Tabla 11 Vida Útil de la Papilla sin Aceites Esenciales.	56
Tabla 12 ANVA para el Modelo de Primer Orden.	57
Tabla 13 ANVA para el Modelo de Segundo Orden.	58
Tabla 14 Coeficientes de Determinación.	59
Tabla 15 Valores Residuales.	60
Tabla 16 Parámetros de Máximo Rendimiento.	64
Tabla 17 Rendimientos del Proceso para una Cantidad de Solvente Cinco Veces Mayor a la Materia Prima.	65
Tabla 18 Datos de Prueba de Comparación de Medias de Dos Poblaciones con Varianza Desconocida.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Vista Microscópica del Flavedo.....	18
Figura 2 Corte Transversal de la Naranja.	19
Figura 3 Esquema de la Extracción por Métodos Directos.....	25
Figura 4 Esquema de la Extracción por Destilación.....	27
Figura 5 Esquema de la Extracción por Técnicas de Vanguardia.....	28
Figura 6 Diagrama de Extracción de Aceites Esenciales.	44
Figura 7 Diagrama de Flujo del Método De Investigación.....	48
Figura 8 Superficie de Respuesta del Rendimiento de Aceites Esenciales. ...	61
Figura 9 Superficie de Respuesta del Rendimiento de Aceites Esenciales(Vista Posterior).....	62
Figura 10 Gráfica de Contornos del Rendimiento de Aceites Esenciales.	63
Figura 11 Superficie de respuesta de un modelo cuadrático ideal.....	71
Figura 12 Gráfica de Contornos de un Modelo Cuadrático Ideal.....	72

RESUMEN

El despliegue experimental y teórico realizado a lo largo del desarrollo del presente documento, persiguió el objetivo de encontrar los parámetros óptimos de extracción de aceites esenciales a partir de los subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis* L.), de tal forma que se pueda obtener el máximo de rendimiento, en un proceso de arrastre por vapor, y una prolongación de la vida útil de la papilla de cereales elaborada con la adición de los aceites obtenidos. Para lo primero se empleó el método “Superficie de respuesta”, con el cuál se definió un modelo matemático para estimar los rendimientos que se obtendrán, cuando se alteren intencionalmente las variables: tiempo de proceso y relación de masa entre la materia prima (subproductos del jugo de naranja) y el solvente empleado para el proceso (vapor de agua). Todo ello, siempre dentro de los rangos de 1:1,38 y 1:5,62, y tiempos de 31,72 a 88,28 min.

Una vez desarrollado el modelo, se pudo ejecutar la técnica del punto estacionario, con el cual se definió que un tiempo de 68 minutos, y una relación materia prima – solvente de 1 a 5, son los parámetros adecuados de las variables independientes, que permitieron optimizar el proceso, consiguiendo así un rendimiento de 0.249 %. Sin embargo, al observar las representaciones gráficas del experimento, se pudo concluir que el punto óptimo no es un punto máximo de rendimiento, sino un punto a partir del cual una intensificación de las variables independientes representa un aporte no significativo al rendimiento del proceso, y por el contrario un consumo innecesario de recursos.

Por otra parte, este aceite esencial, al ser empleado como un aditivo al proceso de elaboración de una papilla de cereales, logró un incremento de la vida útil del mismo de 04 días (según lo estimado por el método de Arrhenius – modelo para la degradación cinética acelerada). Sin embargo, al emplear el estadístico “T de student” con una probabilidad de error del tipo I del 5 %, se concluyó que no existía una variación significativa de la vida útil de esta papilla, respecto a otra sin preservante alguno.

Palabras clave: aceites esenciales, papilla de cereales, superficie de respuesta

ABSTRATO

O desdobramento experimental e teórico realizado ao longo do desenvolvimento deste documento, buscou o objetivo de encontrar os parâmetros ótimos para a extração de óleos essenciais dos subprodutos do suco de laranja (*Citrus sinensis* L.), de forma que se possa obter desempenho máximo, em processo de arraste a vapor, e prolongamento da vida útil do mingau de cereais feito com a adição dos óleos obtidos. Para o primeiro, foi utilizado o método "Superfície de resposta", com o qual foi definido um modelo matemático para estimar os rendimentos que serão obtidos, quando as variáveis forem alteradas intencionalmente: tempo de processo e razão de massa entre a matéria-prima (subprodutos de o suco de laranja) e o solvente utilizado para o processo (vapor). Tudo isso, sempre dentro das faixas de 1:1,38 e 1:5,62, e tempos de 31,72 a 88,28 min.

Uma vez desenvolvido o modelo, pôde-se executar a técnica do ponto estacionário, com a qual foi definido que um tempo de 68 minutos, e uma relação matéria-prima - solvente de 1 a 5, são os parâmetros adequados das variáveis independentes, o que permitiu otimizar processo, alcançando assim um rendimento de 0,249%. No entanto, ao observar as representações gráficas do experimento, foi possível concluir que o ponto ótimo não é um ponto de desempenho máximo, mas um ponto a partir do qual uma intensificação das variáveis independentes representa uma contribuição não significativa para o desempenho do processo, e pelo contrário, um consumo desnecessário de recursos.

Por outro lado, este óleo essencial, quando utilizado como aditivo ao processo de fabricação de mingau de cereais, obteve um aumento em sua vida útil de 04 dias (conforme estimado pelo método de Arrhenius - modelo de cinética de degradação acelerada). No entanto, ao utilizar a estatística "T de Student " com probabilidade de erro tipo I de 5%, concluiu-se que não houve variação significativa na vida útil deste mingau, comparado a outro sem nenhum conservante.

Keywords : óleos essenciais, mingau de cereais, superfície de resposta

INTRODUCCIÓN

Que el estado y diversas organizaciones con intereses explícitos busquen educar a la población respecto a la correcta interpretación de la información declarada en las etiquetas, tales como sellos de calidad u octágonos de alimentación saludable, en búsqueda de una actitud crítica hacia los conocidos alimentos industrializados, no es casualidad. Pues el acceso a la información, y la preocupación constante por la preservación de la vida y la naturaleza, han llevado a que nos cuestionemos cada vez más respecto a las consecuencias de nuestras decisiones básicas, por ejemplo, los alimentos que elegimos para consumir, y su impacto en nuestro entorno social y ambiental.

En referencia a lo mencionado, es que empezamos a observar poco a poco un incremento en la activación de diversos programas de alimentación saludable dirigidas por el estado a través de personal especializado lo que, en conjunto con la proclamación de diversas normas y leyes, permite regular la industria de procesamiento de alimentos, en aras de mejorar los hábitos de consumo, sobre todo en los grupos vulnerables, tales como niños, mujeres gestantes, entre otros.

Entre los principales productos que suelen formar parte de los programas sociales de alimentación, se encuentran los denominados productos extruidos, esencialmente elaborados con granos de cereales, debido a su importante aporte de aminoácidos esenciales, y por ser un producto amigable a los procesos de fortificación, pues sus cualidades organolépticas le permiten gozar de gran aceptabilidad entre la población infantil.

Por otro lado, en lo que respecta a la protección del medio ambiente, son las tecnologías que aprovechan los subproductos de la industria, los que mayor acogida han tenido por parte de la empresa privada, pues ello les ayuda a no solo cumplir con los requisitos legales, sino que permiten optimizar sus recursos, con obviamente, un posterior incremento de utilidades.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

Desde hace unos años, y como resultado de abrumadoras campañas de educación alimentaria, impulsadas en gran medida por la academia y organizaciones mundiales – gubernamentales y no gubernamentales – del cuidado de la salud, en la sociedad se percibe un sentimiento colectivo de rechazo hacia los alimentos con altas cantidades de insumos procesados química e industrialmente, incluyendo a aquellos resultantes de procesos poco amigables al medio ambiente. Viéndose así, el surgimiento de la corriente moderna a la cual denomino “Alimentación sostenible”, una corriente que busca orientar el consumo hacia productos que generen valor a las comunidades de donde provienen sus constituyentes, y donde la participación tecnológica del hombre se ha reducido a su mínima expresión.

En este marco, la academia ha enfocado sus esfuerzos en la industria de los vegetales, orientando su visión al aprovechamiento de materias que en el pasado fueran denominadas “desechos”, pero que en la actualidad están demostrando ser una fuente importante de compuestos con actividad bioactiva y de gran desempeño industrial.

Siendo frutos como las naranjas, bananos, y otras de origen tropical, las que mayor participación han tenido en estos estudios, debido a su alta tasa de consumo por parte de la población. Reluciendo así, un buen número de trabajos de investigación donde tanto la industria como la academia han abrazado esfuerzos para encontrar nuevas alternativas que produzcan alimentos con una vida útil adecuada para su comercialización, a la par de condiciones que les permitan ser rentables y satisfacer las nuevas demandas del mercado.

Pese a que éstos estudios, ya han sacado a la luz resultados satisfactorios en cuanto al valor nutritivo y tecnológico de dichas materias, aún queda pendiente la realización de trabajos de investigación que provean a la industria de datos útiles en condiciones reales de trabajo, y no solo a nivel

de laboratorio, que le permitan manejar variables acorde a la tecnología que poseen, obteniendo un óptimo aprovechamiento de sus materias primas, y encontrando una relación armoniosa entre su rendimiento industrial y sus efectos como compuestos bioactivos.

Bajo las circunstancias descritas, si los profesionales del área no desarrollamos investigaciones con prontitud, productos como la naranja (*Citrus sinensis L.*), seguirán no solo desaprovechándose, en cuanto a su potencial como fuente de compuestos bioactivos; sino también, que seguirán causando un impacto negativo en nuestro ecosistema, ya que la mala gestión de sus residuos resulta en la contaminación de nuestro medio ambiente.

Por lo expuesto, es de suma importancia determinar los parámetros óptimos de relación materia prima - solvente y tiempo de extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*), a través de un modelamiento matemático, con los cuales se pueda optimizar el rendimiento y su efecto como conservante en papillas de cereales, debido a que este alimento es por lo general destinado para regímenes especiales que buscan garantizar una correcta nutrición de los niños.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuáles son los parámetros óptimos de la relación materia prima - solvente y tiempo de extracción, para aceites esenciales de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) que permitan el mayor rendimiento y la máxima prolongación de la vida útil de una papilla de cereales?

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuál es el rango de los parámetros óptimos de la relación materia prima - solvente y tiempo de extracción, que maximicen el rendimiento del

proceso de extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*)?

- b) ¿Cuál es el rango de los parámetros óptimos de relación materia prima - solvente y tiempo de extracción, del aceite esencial obtenido a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*), que maximicen la vida útil de la papilla de cereales?
- c) ¿Qué tanto difiere la vida útil de la papilla de cereales, debido al efecto del aceite esencial obtenido a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) con respecto a una muestra sin preservante alguno?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar los parámetros óptimos de la relación materia prima - solvente y tiempo de extracción, para aceites esenciales de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) que permitan el mayor rendimiento y la máxima prolongación de la vida útil de una papilla de cereales.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Valorar el rango de los parámetros óptimos de la relación materia prima - solvente y tiempo de extracción, que maximicen el rendimiento del proceso de extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*)
- b) Definir el rango de los parámetros óptimos de la relación materia prima - solvente y tiempo de extracción, del aceite esencial obtenido a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*), que maximicen la vida útil de la papilla de cereales.
- c) Precisar la diferencia entre la vida útil de una papilla de cereales, sometida al efecto del aceite esencial obtenido a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) con respecto a una muestra sin preservante alguno.

1.4 Limitantes de la investigación

1.4.1 Teórico

Al no conocer la distribución espacial de los compuestos químicos, ni los elementos con los que interactúan dentro de la matriz de donde serán extraídos – pepas, cáscaras y demás componentes del subproducto del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) –, se desconoce la ruta química y física que seguirán los elementos desde que son sometidos al proceso de extracción, hasta su conversión en el “extracto de aceites esenciales”. Ello provocaría que, una variación porcentual en la composición de la matriz de trabajo – subproductos del jugo de naranja – empleados en posibles réplicas, resulte en un índice de extracción diferente al obtenido en el presente trabajo.

Se desconoce el nombre de los compuestos químicos y su distribución proporcional dentro del “extracto esencial” obtenido, por lo que no se puede concluir respecto a qué componente influye con mayor grado en la afectación de las propiedades relacionadas a la prolongación de la vida útil de la papilla de cereales, ni en sus cualidades sensoriales.

1.4.2 Temporal

El presente trabajo fue desarrollado según las condiciones de tiempo descritos en el numeral 4.2 y 4.4 del presente documento. Por lo que sus conclusiones y resultados, especialmente los relacionados con los índices de extracción de aceites esenciales y sus propiedades finales, aplican a los subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) comercializados en el mes de abril del año 2019.

Estudios o réplicas realizadas fuera de los límites temporales del presente trabajo podrían presentar desviaciones vinculadas al grado de madurez de los frutos empleados, y otras condiciones – climáticas, por ejemplo – de desarrollo del cultivo que son propias del espacio temporal en el que se ejecutó esta investigación.

1.4.3 Espacial

El presente trabajo fue desarrollado según las condiciones de espacio descritos en el numeral 4.2 y 4.4 del presente documento. Por lo que sus conclusiones y resultados, especialmente los relacionados con los índices de extracción de aceites esenciales y sus propiedades finales, aplican a los subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) comercializados en el mercado mayorista de Santa Anita en Lima.

Estudios o réplicas realizadas fuera de los límites temporales del presente trabajo podrían presentar desviaciones vinculadas al origen de los frutos empleados – técnicas de cultivo, por ejemplo – que son propias del lugar geográfico de donde es cosechado el fruto.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

Fon Fay (2015), en su tesis de grado en ingeniería agroindustrial, “Evaluación del proceso de extracción de aceites esenciales de hojas de *Citrus aurantifolia* (Limón sutil) *Citrus sinensis* (Naranja) y *Citrus nobilis* (Mandarina) mediante hidroddestilación”, realizó un estudio con el objetivo de evaluar las condiciones del proceso de extracción de los aceites esenciales, a través del método de hidroddestilación, y así determinar las condiciones que generen un mayor rendimiento, obteniendo el mejor resultado para hojas en estado deshidratado y con un pH básico de entre 7,5833 y 8,267.

León et al. (2015), desarrollaron un estudio sobre la “Comparación de dos métodos de extracción del aceite esencial de *Citrus sinensis* L.”, siendo estos métodos, la hidroddestilación tradicional y la hidroddestilación asistida por microondas, a partir del pericarpio de la fruta. Con el objetivo de determinar aquella con mayor rendimiento, obteniendo un resultado de 0,51 % para el método asistido por microondas en comparación con un 0.42% del tradicional.

Muñoz et al. (2014), en su investigación “Actividad insecticida de aceites esenciales de plantas nativas contra *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae)” evaluó la actividad insecticida de ocho aceites esenciales obtenidos de plantas, entre ellas las cáscaras de *Citrus sinensis*, sobre larvas en tercer estadio y en etapa adulta. Obteniendo una dosis diagnóstica (el doble de concentración mínima que causa el 99% de mortalidad) de 819,8 ppm, la más baja entre las plantas en estudio.

Guiotto (2014), en su tesis doctoral “Aplicación de subproductos de Chía (*Salvia hispánica* L.) y Girasol (*Helianthus annuus* L.) en alimentos”, desarrolló aceites de mezcla girasol-chía con el objetivo de alcanzar una realización de ácidos grasos omega 6 – omega 3 acorde a las recomendaciones de la FAO/OMS y evaluar la influencia de diferentes

parámetros sobre su estabilidad. Para la extracción emplearon un prensado en frío y estudios fisicoquímicos, como el índice de peróxido, y sensoriales para la estabilidad. Llegando a la conclusión de que el factor que más influye en su estabilidad es la adición de antioxidantes al aceite esencial.

Paredes y Quinatoa (2010), determinaron en su tesis de grado en ingeniería mecánica, “Desarrollo de un sistema de extracción de aceites esenciales”, que el mejor método para la extracción de aceites esenciales es aquel donde se emplea como principio el arrastre con vapor. Para llegar a dicha conclusión emplearon como factores determinantes: la calidad del producto obtenido, la facilidad de elaboración del sistema mecánico, buenos rendimientos, entre otros.

Rojas et al. (2009), ejecutaron un estudio, “Obtención de aceites esenciales y pectinas a partir de subproductos de jugos cítricos”, con el objetivo de determinar los valores del rendimiento de los procesos de extracción de pectina, mediante hidrólisis ácida y de aceites esenciales, mediante la técnica de hidrodestilación asistida por microondas, ambos a partir de subproductos de jugos cítricos. Concluyendo que los mayores rendimientos de aceites esenciales le corresponden al pomelo Star Ruby (0.23%) seguido de la naranja Valencia Frost (0.20%)

Reátegui (2005), en su tesis para optar al título de Ingeniero Químico, “Hidroextracción y fraccionamiento del aceite esencial de cáscara de naranja”, se planteó como objetivo el determinar los parámetros adecuados para la hidroextracción del aceite esencial de cáscara de naranja y la obtención de limoneno por destilación del aceite esencial al vacío, obteniendo el mayor rendimiento (4,2%) para un tamaño de partícula menor a 4 mm y con un flujo de vapor de 10 g/min, con un 95,58% de Limoneno en la composición final del aceite esencial.

Martínez et al. (2003), en su trabajo de investigación “Actividad antibacteriana del aceite esencial de mandarina”, persiguieron el objetivo de estudiar la actividad antimicrobiana y la concentración mínima inhibitoria

(CMI) del aceite; empleando para el primero, el método de difusión en agar y para el segundo el método de dilución en caldo a seis concentraciones. Reportando positivo para la actividad bactericida y una CMI entre 7 y 9 % dependiendo del microorganismo.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Naranja (*Citrus sinensis* L.)

El género *Citrus* aparentemente es originario de las regiones orientales del Himalaya, Pakistán y Birmania. Incluso, Teofrasto ya describía en el siglo III una especie de *Citrus* introducida en Europa por los bizantinos, apareciendo a continuación el naranjo amargo, dulce y el limonero (Drouet, 1982).

El naranjo, desde entonces ha sufrido numerosas modificaciones debido a la selección natural y a hibridaciones tanto naturales como producidas por el hombre. Originándose así, las numerosas variedades de naranja que actualmente conocemos.

La propagación geográfica de los cítricos puede ser explicada fundamentalmente por los grandes movimientos migratorios de las antiguas civilizaciones, a raíz de las conquistas de Alejandro Magno, la expansión del islam, cruzadas, el descubrimiento de América, etc. (Infoagro, 2018)

Weiss (1997), señala que los cítricos se caracterizan por crecer en países de clima cálido y templado. Es por ello, que no extraña su buen desarrollo en nuestro país, especialmente en las zonas costeras y selváticas, por debajo de los 2 000 msnm, donde sus cifras alientan a aquellos interesados en el rubro del cultivo de naranjas y otras frutas cítricas. En la *Tabla 1* se detallan algunas de estas cifras, recopiladas del Ministerio de Agricultura y Riego.

Tabla 1*Indicadores del Desarrollo del Cultivo de Naranja.*

Parámetro	Año			Tasa de Crecimiento
	2014	2015	2016	
Producción (t)	450423	456154	490869	4.39
Superficie cosechada (ha)	28057	28877	30860	4.88
Rendimiento (kg / ha)	16054	15796	15906	-0.46
Precio en chacra (S/. / kg)	0.56	0.60	0.63	6.07

Fuente: Minagri (2019).

i. Biología

En Infoagro (2019), describe su taxonomía de la siguiente manera:

Familia	:	<i>Rutaceae</i>
Género	:	<i>Citrus</i>
Especie	:	<i>Citrus sinensis</i> (L.)
Porte	:	Reducido (6 - 10 m). Ramas poco vigorosas (casi tocan el suelo). Tronco corto.
Hojas	:	Limbo grande, alas pequeñas y espinas no muy acusadas.
Flores	:	Ligeramente aromáticas, solas o agrupadas con o sin hojas. Los brotes con hojas (campaneros) son los que mejores frutos dan.

El fruto del naranjo generalmente es de forma esférica, aunque de tamaño variable y con tonalidades de color que varían entre el amarillo dorado a rojo amarillento; posee la corteza llena de vejiguillas convexas. Posee una pulpa formada por entre ocho y doce gajos, que envuelven las semillas y el líquido amarillento al que se denomina “zumo”, el cual posee un sabor dulce, ligeramente ácido y muy agradable al gusto (Luna, 1999).

Como señalan Ruiz y Saavedra (2007) al realizarle un corte transversal al fruto se observan las regiones:

- a) **Epicarpio o Flavedo**, es una capa parenquimatosa con una gran cantidad de cloroplasto y saquillos que contienen el aceite esencial.

Los cloroplastos se encuentran en los plastidios, coloreando al fruto en su etapa inicial de desarrollo con una tonalidad verdosa; sin embargo, el color varía a amarillo o anaranjado conforme va llegando a su estado de madurez.

Figura 1

Vista Microscópica del Flavedo.



Fuente: Ruiz y Saavedra (2007).

b) Mesocarpio o Albedo, es una capa de textura esponjosa y color blanquecino.

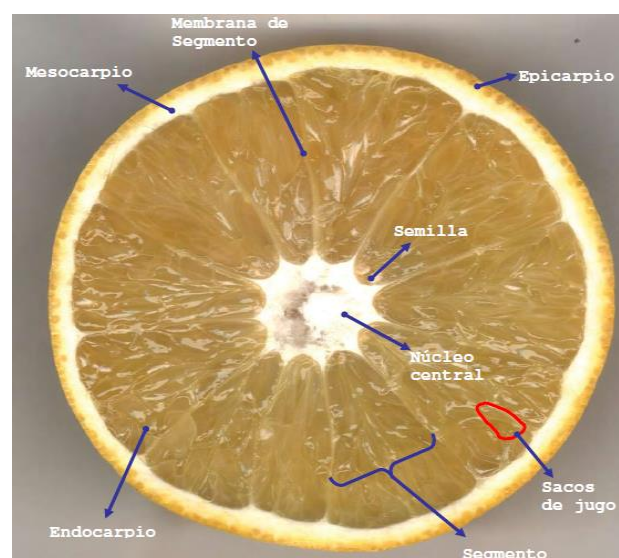
Morfológicamente sus células se alargan y dividen mientras va madurando, formando una malla con prolongados campos de vacío intercelular, dándole la característica de esponjosidad a la cáscara, lo cual es muy importante, debido a que, durante la extracción del aceite esencial por medios mecánicos, es esta capa la que reabsorbe el aceite, generando una disminución del rendimiento en el proceso.

c) Endocarpio (porción comestible), compuesta por segmentos (carpelos, gajos) dispuestos alrededor de una médula blanca que se extiende desde el albedo.

Posee pequeñas vesículas multicelulares unidas a las paredes con pequeñas papilas capilares, en donde se encuentra el jugo de los cítricos. Su color responde a la proporción en la que están distribuidos los carotenoides, xantofila y caroteno. tornándose más anaranjado, cuanto mayor sea su proporción de xantofila.

Figura 2

Corte Transversal de la Naranja.



Fuente: Ruiz y Saavedra (2007).

La composición química del fruto del naranjo, por cada 100 g de porción comestible, es tal y como la describe Collazos (1993) en la Tabla 2.

Tabla 2

Composición Química del Citrus Sinensis L.

Componentes	Valor
Energía	40 cal
Agua	88,5 g
Proteína	0,6 g
Grasa	0,2 g
Carbohidratos	10,1 g
Fibra	0,4 g
Ceniza	0,6 g
Calcio	23 mg
Fósforo	51 mg
Ácido ascórbico	92,3 mg

Fuente: Collazos (1993).

ii. Industrialización

Aldana (2001) enuncia que la naranja (*Citrus sinensis L.*), se destina para el consumo como fruta fresca, componente de bebidas frutadas e incluso formando parte de algunos postres; por lo que existe una constante preocupación por el aumento del rendimiento de su cultivo, ya que el mercado parece jamás saciarse de tan exquisito fruto. En el caso de nuestro país, las cifras de su cultivo se detallan en la *Tabla 1* de la página 17.

Cabe resaltar que la sección comestible del fruto no representa más del 50 % de su peso en bruto, lo que significa que son toneladas de material de desecho, tales como cáscaras, hojas y semillas, las que son eliminadas por la industria, y que generan costos significativos para las

empresas e impactos negativos para el medio ambiente (Sahraoui et al., 2011).

Es así, que el aprovechamiento de los residuos con alto valor añadido permitiría a las empresas reducir sus costos globales, mejorar su rentabilidad y con ello generar ventajas competitivas. Siendo, en el caso de los cítricos, las hojas y cáscaras, los materiales de desecho más empleados en la cruzada por el desarrollo sostenible y protección del medio ambiente (Sahraoui et al., 2011).

En el caso de las naranjas, Rojas et al. (2009), caracterizaron su cáscara obteniendo un rendimiento en promedio de 0,20 % de aceites esenciales y 21 % de pectina; siendo ambos compuestos, materiales importantes por su uso en la industria de alimentos. En el caso de las pectinas, éstos cumplen funciones tales como espesantes, gelificantes, emulsificantes y estabilizantes (Mesbahi et al., 2005).

En el caso de los aceites esenciales, su uso se puede extender a la industria de licores, perfumes, artículos de aseo y como materia prima para la manufactura de productos farmacéuticos debido a su poder antimicrobiano (Juárez et al., 2010). Cabe resaltar, que es un número cada vez más grande de consumidores los que exigen alimentos sin lo que ellos perciben como “productos químicos artificiales y perjudiciales”, incluyendo en ellos a los tradicionales conservantes alimenticios, industrialmente procesados. Provocando así, que las miradas giren hacia los antimicrobianos naturales que permitan extender la vida útil y disminuir los riesgos de contaminación por patógenos transmitidos por alimentos.

2.2.2 Aceites Esenciales

Los aceites esenciales son mezclas de sustancias orgánicas con apariencia homogénea, caracterizándose por su naturaleza líquida de menor densidad que el agua, pero más viscosa que ella; con coloración en la gama del amarillo hasta transparente en casos pocos comunes. No

son tóxicos, aunque sí inflamables. Sufren degradación química en presencia de calor, aire, luz solar, ácidos y álcalis fuertes, con génesis de oligómeros de naturaleza indeterminada (Cerpa, 2007). Sus compuestos más frecuentes, según Cabra (1988), derivan biológicamente del ácido mevalónico, y son clasificados como terpenos, siendo lo más abundantes, los monoterpenos (C₁₀) y los sesquiterpenos (C₁₅).

La producción de aceites esenciales en la planta responde a diversos objetivos; por un lado, las protegen de plagas, enfermedades, e incluso del ataque de otras plantas; y por otro, les permite atraer insectos y aves polinizantes. Estas funciones las lleva a cabo gracias a sus propiedades antisépticas, antiinflamatorias, antidepresivas y otras, presentes en mayor o menor grado en la totalidad de los aceites (Morales, 1996). Pues según explica Stashenko (2009), dependiendo de la especie, se calcula que un aceite esencial puede contener entre 50 a 300 compuestos químicos, los cuales pertenecen a los grupos de hidrocarburos terpénicos, alcoholes, aldehídos, compuestos fenólicos, éteres, ésteres, cetonas, fenilpropanoides, y más. Siendo la proporción de éstos, los que determinan sus propiedades funcionales (Thongson et al., 2004).

Específicamente para el caso de la naranja (*Citrus sinensis* L.), el aceite esencial se ubica junto a los cromoplastos en el Epicarpio (literal i, inciso "a" en la página 18), distribuyéndose de manera irregular, y en toda la extensión de esta capa, en forma de sacos o glándulas de esencia. Estas glándulas poseen un diámetro entre 0,4 a 0,6 mm y fronteras formadas por tejidos degradados, que las enrollan y subyugan a una presión de turgencia pronunciada, debido a los componentes intracelulares de dichas capas (Ruiz y Saavedra, 2007).

En la composición del aceite esencial del limón y naranja, el componente mayoritario es el d-limoneno, el cual representa más del 90 % del mismo (Weiss, 1997).

Tabla 3

Composición del Aceite Esencial de Citrus Sinensis L.

Identificación	Concentración Relativa
Limoneno	90,93 %
Trans-Dihidrocarvona	1,78 %
Trans-p-Mentano	1,66 %
Canfeno	1,62 %
P-Menta-1(7), 8-dieno	0,69 %
Dihidromircenol	0,45 %
Isocitroneleno	0,43 %

Fuente: Adaptación de Yáñez et al. (2007).

Tal y como declara Albaladejo (1999), no es fácil determinar unos valores límites para sus componentes, ya que además de las limitaciones de los propios métodos analíticos, existen otros factores que influyen tanto en la cantidad como la distribución de este compuesto en el fruto. Estos factores son: la época del año, la cantidad de agua de riego, el sol, grado de maduración y más (Attaway et al., 1967).

Por ejemplo, Bartholomew y Sinclair (1945 y 1951) comparan la cantidad de aceite esencial obtenido del polo estilar y el polo peduncular del limón, y en distintos grados de maduración, llegando a la conclusión que había una mayor cantidad en el polo peduncular de frutos no excesivamente maduros.

León et al. (2015), de la universidad de Cartagena en Colombia, llegaron también a la conclusión de que estas modificaciones ocasionadas en la composición de los aceites esenciales por los métodos de extracción empleados generaban distintos resultados al medir sus parámetros de calidad.

Tabla 4

Propiedades Fisicoquímicas del Aceite Esencial de Citrus Sinensis L. Obtenidos a través del Método de Hidrodestilación por Arrastre de Vapor (HD) E Hidrodestilación Asistida por Microondas (MWHD).

Análisis	<i>Citrus Sinensis L.</i>	
	HD	MWHD
Rendimiento (%)	0,42 ± 0,003	0,51 ± 0,002
Índice de refracción (20 °C)	1,4701 ± 0,0003	1,4710 ± 0,0002
Solubilidad (Etanol 70 % v/v)	positiva	positiva
Densidad (g/mL a 20 °C)	0,8423 ± 0,0001	0,8448 ± 0,0003

Fuente: León et al. (2015).

i. Métodos de extracción

Stashenko (1995) indica que los principales métodos de extracción de aceites esenciales son:

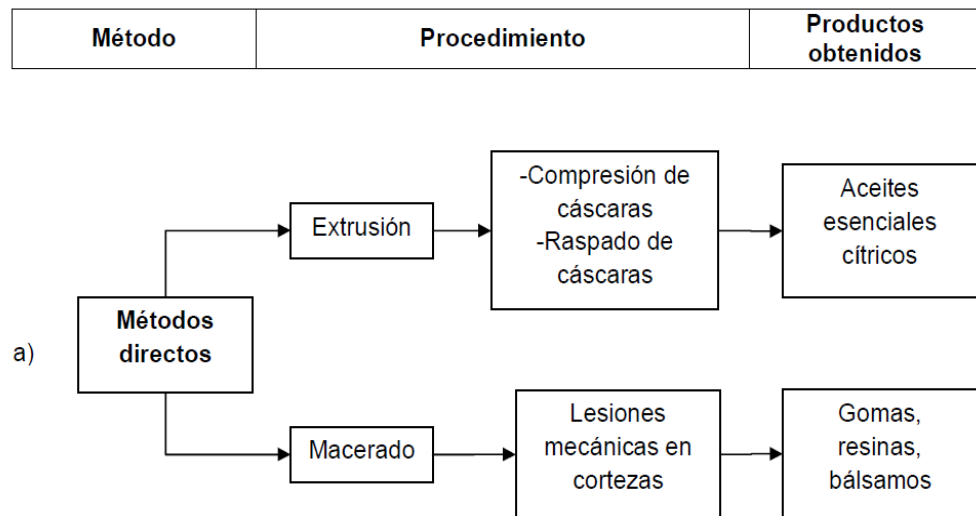
- Métodos directos: Compresión, raspado, lesiones mecánicas de la corteza.
- Destilación: con agua o hidrodestilación, destilación con agua y vapor, destilación con vapor seco.
- Extracción: Con solventes volátiles, con solventes no volátiles, con fluidos supercríticos.
- Enfleurage: Adsorción sólido-líquido y/o sólido-gas.
- Headspace: Purga y trampa simultánea, purga y extracción con solvente simultáneas.

a. Métodos directos.

El método más utilizado a nivel de planta piloto es el prensado en frío; ya que, minimiza las reacciones de deterioro del aceite esencial causados por reacciones con el oxígeno y la presencia de altas temperatura. Para ello se secciona la corteza de la cáscara en tiras largas y se colocan entre dos placas de acero inoxidable frías (15 a 25 °C) aplicando una presión de 2 500 psi, a fin de obtener una emulsión de aceite – agua, la cual se ultra centrifuga a 6 000 rpm durante 15 minutos, a una temperatura de 10 °C. El aceite debe ser almacenado en atmósfera de N₂ y en ausencia de luz (Araujo, 2000).

Figura 3

Esquema de la Extracción por Métodos Directos.



Fuente: Albarracín y Gallo (2003).

b. Métodos de destilación.

Entre los métodos más populares encontramos:

Hidrodestilación; aquí se emplea como material solvente al agua, el cual se encuentra dentro de un balón de destilación junto con la matriz

a trabajar. Posteriormente, se somete al sistema a una fuente de calor para que el agua se transforme en vapor y así arrastré el aceite esencial, haciéndolo pasar por el condensador de vapores, donde se enfría hasta llegar a un recipiente ya en fase líquido, formando dos fases con el agua. Esto sucede a pesar de que los aceites esenciales poseen un punto de ebullición superior al del agua; sin embargo, al formarse la mezcla de aceite esencial más agua, su punto de ebullición disminuye y puede ser destilada.

Las fases que se obtienen son:

Fase acuosa: La cual contiene cierta cantidad de esencia como es el caso del agua de rosas debido a que los aceites esenciales poseen en su estructura una fracción de componentes hidrófilos.

Fase orgánica: Es la parte que contiene el aceite esencial.

La separación de estas fases es posible gracias a la diferencia de densidades (Ortuño, 2006).

Destilación por arrastre con vapor; En este método se inyecta directamente el vapor de agua al sistema.

Se deposita en un recipiente cerrado la matriz a ensayar y se le somete a una corriente de vapor de agua, para que el aceite esencial sea arrastrado y posteriormente condensado, recolectado y separado de la fracción acuosa.

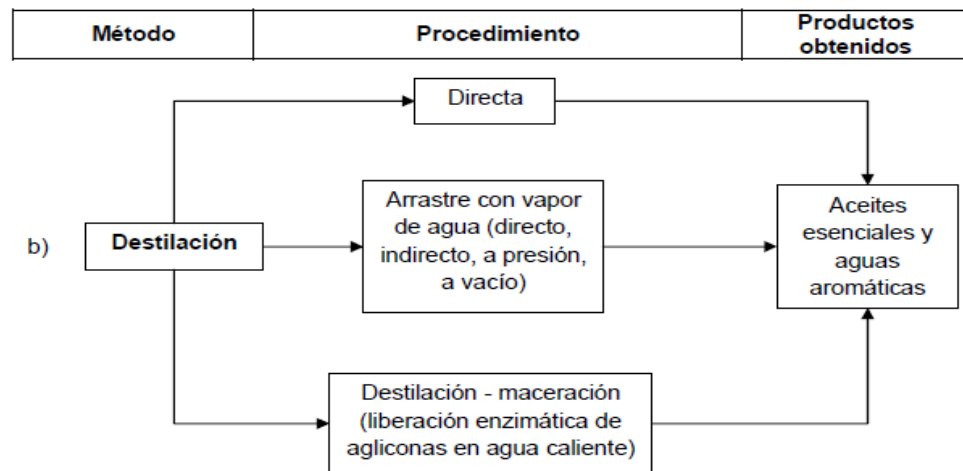
Esta metodología es muy usada en la industria por su alto rendimiento con relación a costo de inversión y producto obtenido.

Es una destilación donde participan dos líquidos inmiscibles y busca una vaporización a temperaturas inferiores a las de ebullición de cada uno de los componentes volátiles por efecto de una corriente directa de vapor de agua, la cual ejerce la doble función de calentar la mezcla hasta su punto de ebullición y adicionar tensión de vapor a los

componentes volátiles del aceite esencial; evitándose así los daños causados al aceite esencial por las altas temperaturas de un método convencional de destilación (Ortuño, 2006).

Figura 4

Esquema de la Extracción por Destilación.



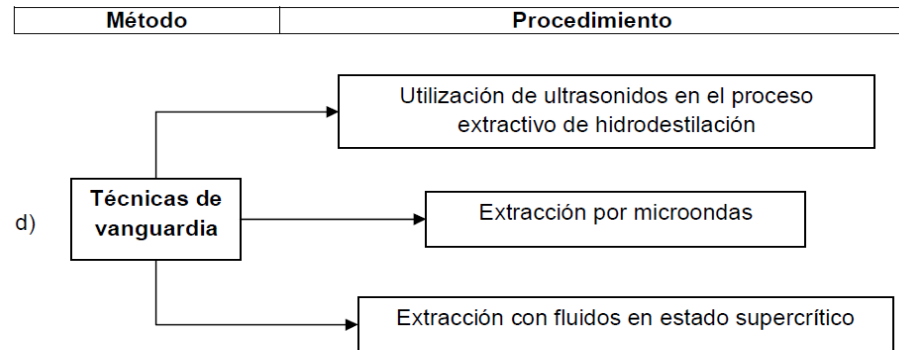
Fuente: Albarracín. y Gallo (2003).

Métodos de vanguardia.

Son métodos empleados solo en laboratorios, ya que la tecnología y el diseño del proceso no es económicamente factible a escala industrial.

Figura 5

Esquema de la Extracción por Técnicas de Vanguardia.



Fuente: Albarracín. y Gallo (2003).

Como ya se ha mencionado líneas arriba, el método de extracción influirá en la calidad del aceite esencial final que se obtenga de un determinado producto. Ferhat et al. (2006), compararon, por ejemplo, los procesos de hidrodestilación y la destilación asistida por microondas, obteniendo en este último un mayor número de compuestos oxigenados; sin embargo, Blanco et al. (1995), por su parte, al comparar el proceso de extracción por destilación con vapor versus el prensado en frío, no encontraron diferencia cuantitativa ni cualitativa de la composición de los aceites esenciales obtenidos a partir de cítricos colombianos. Lo que demuestra que, en la elección de un método de extracción de aceites esenciales, es imprescindible el conocer los fundamentos y los factores que rigen estos métodos, ya que ello permitirá predecir el nivel de calidad del producto final.

Algunos de estos factores importantes son la temperatura de extracción y el tiempo de exposición a esta temperatura; ya que, un mal control puede generar la aparición de componentes no deseados en el producto final, una lista de estos productos se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5

Componentes Derivados del Aceite Esencial de Cítricos Tratados Térmicamente.

Precursor	Derivado	Aroma
Limoneno	α -terpineol	rancio, envejecido.
Linalol	α -terpineol	rancio, envejecido.
Cis-1,8-p-mentanodiol	1,8 cineol 1,4 cineol	purgante, alcanfor
P-menta-1,5-dien-8-ol	p-cimen-8-ol	desagradable no especificado
P-menta-1(7), 2-dien-8-ol	p-cimeno α ,p-dimetilestireno	desagradable terpénico
γ -Terpineno	p-cimeno	desagradable terpénico

Fuente: Lee y Nagy (1996).

ii. Industrialización

Albaladejo (1999), expresa que para el control de calidad del aceite esencial se utilizan factores de control, tales como, el peso específico, índice de rotación y refracción, solubilidad en etanol, residuo de

evaporación, índice de carbonilo, entre otros. Este control es importante, ya que determina muchas de las propiedades que finalmente dictaminan el uso industrial que se le dará al compuesto; por ejemplo, como aromatizante, antimicrobiano o antioxidante.

a. Actividad Antimicrobiana

En los últimos años se han realizado variadas investigaciones con el fin de demostrar el poder antimicrobiano de los aceites esenciales, especialmente los extraídos de frutos cítricos. Una referencia importante es por ejemplo el estudio, pionero en el tema, de Dabbah et al. (1970), el cual afirma que los aceites esenciales de la mandarina, naranja y toronja poseen actividad antimicrobiana para cepas bacterianas de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Salmonella*; mientras que en un estudio más reciente realizado por Martínez et al. (2003) determinaron que dicho poder antimicrobiano depende de la concentración del aceite esencial y el tipo de microorganismo; así por ejemplo, para el *B. subtilis* se requiere concentraciones del 9 %, mientras que para el *S. aureus* y *L. monocytogenes* 7 %.

b. Actividad Antioxidante

Un estudio que merece ser citado, es el de Bocco et al. (1998), allí se concluye que generalmente los aceites obtenidos de las semillas se caracterizan por tener una mayor actividad antioxidante que los obtenidos de la corteza, y esto es debido a que, el aceite de las semillas de limón contiene hesperidina y eriocitrina, mientras que su piel es próspera en neoeriocitrina, neohesperidina y naringina; siendo la concentración de las flavononas glicosiladas, también distinta; pues la neoeriocitrina y naringina tienen una concentración proporcionalmente similares en la piel, en cambio, en la semilla la eriotricina es 40 veces mayor que la de naringina.

c. Aromatizante

Albaladejo (1999), indica que la técnica más empleada para la producción de esencias en polvo es la microencapsulación por “Spray drying”. Para ello, se forma una emulsión del aceite esencial con el componente de revestimiento y se pulveriza.

Los principales materiales empleados para el revestimiento son polímeros orgánicos como gomas y gelatinas modificadas. Pero su elección final depende de que su uso este permitido como aditivo alimentario por las entidades gubernamentales; así como también, la tecnología disponible para realizar el proceso.

La proporción de materia seca en la emulsión puede variar entre el 25 al 50 %, y su principal ventaja es la protección del aceite esencial frente a la vaporización y oxidación incluso a temperaturas elevadas y durante periodos mayores a un año; además, el producto micro encapsulado se puede añadir directamente a mezclas sólidas (en polvo, como en caso de las papillas de reconstitución instantánea), obteniendo fácilmente mezclas homogéneas.

Finalmente, por su escaso contenido de humedad no sufren contaminación bacteriana, ni se aglomeran durante tiempos prolongados. (Di Giacomo y Mincione, 1994)

iii. Almacenamiento

Di Giacomo y Mincione (1994), señalan que, para mantener las cualidades de calidad del aceite esencial, después de su extracción, éstos deben ser almacenados de forma industrial, en tanques de acero inoxidable, a temperaturas comprendidas entre los -5 y -25 °C por un tiempo de 20 días, en un proceso al que se denomina “winterización”. Posteriormente, éste se trasvasa y almacena en bidones revestidos con resinas fenólicas de atmósfera de nitrógeno en una temperatura de 10 °C.

El empleo de nitrógeno como atmósfera de conservación se debe a que, si los aceites esenciales se dejan en contacto con el aire, éstos se oxidan, solidifican y resinifican, perdiendo su olor característico. Incluso su color puede verse afectado si entra en contacto con la luz, volviéndolos amarillos y oscuros por la interacción con los terpenos, es por esto que constantemente se buscan procedimientos de extracción que permitan minimizar el contenido de terpenos de los aceites esenciales. (Albarracín y Gallo, 2003)

2.2.3 Metodología de superficie de respuesta

Realizando diversas mediciones de la cantidad de aceites esenciales obtenidos en un proceso donde se modifiquen, en forma controlada, sus variables independientes, es que se genera una base de datos que nos permite establecer un modelo matemático que optimice el rendimiento esperado. Para tal fin se podría utilizar el método de experimentación tradicional o uno a la vez, que consiste en mantener constante los valores de todos los factores excepto el que se analiza (Pinto, 1995), pero no resulta económicamente eficiente, debido a que requiere un gran número de experimentos, consume mucho tiempo y no permite extrapolar ni interpolar datos. Razón por la cual, una mejor opción a todas luces es el empleo del Método de Superficies de Respuesta (MSR), el cual según Montgomery (2002), es una herramienta estadística – matemática que simplifica los diseños experimentales, y permite a la vez manipular simultáneamente muchas variables, obteniéndose así una zona de formulación factible, que corresponde a alternativas de mezclas de diferentes factores y que a su vez cumplen con restricciones impuestas y aclaradas desde el diseño mismo del proceso.

Si todos los factores que se manipulan son variables cuantitativas, es lógico considerar que la variable dependiente puede ser definida como una función de los niveles de estas variables.

$$Y_u = f(X_{1u}, X_{2u}, \dots, X_{iu}) + e$$

Donde: $u=1, 2, \dots, N$ representan las N observaciones en el experimento factorial y X_{iu} representa el nivel i -ésimo del factor en la u -ésima observación. A la función f se le llama “superficie de respuesta”. El residuo e_u mide el error experimental de la u -ésima observación (Cochran y Cox, 1990)

Esta metodología será de mayor utilidad cuando las variables independientes puedan presentar algún tipo de interacción entre sus efectos. Además, la región experimental de la variable dependiente puede poseer una curvatura, que permitirá obtener un punto óptimo. En ese caso se deberá encontrar el punto estacionario del proceso, el cual puede representar un punto máximo cuando se desea maximizar la variable dependiente, o un punto mínimo, cuando lo que se busca es disminuirla (Montgomery, 2002).

El objetivo principal de la MSR, según Montgomery (2002), es determinar las condiciones de operación óptimas del sistema o determinar una región del espacio de los factores en la que se satisfagan los requerimientos de operación. Y es justamente ahí, cuando el experimentador se encuentra relativamente cerca del óptimo, que se requiere de un modelo matemático que incorpore la curvatura para aproximar la respuesta. En la mayoría de los casos, el modelo es de segundo orden. Para ajustar tal modelo, se requiere el Diseño Central Compuesto o DCC. En general, el DCC consta de una factorial 2^k , donde “ k ” es el número de factores, con n_c corridas centrales. Sin embargo, una ecuación cuadrática posee seis parámetros (constantes) por estimar, los cuales desafortunadamente no pueden ser hallados con este modelo pues solo posee cinco corridas independientes. Por lo que una solución simple y de gran efectividad es aumentarle al diseño $2k$ “corridas axiales” o estrellas al modelo.

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \hat{\beta}_{11} x_1^2 + \hat{\beta}_{22} x_2^2 + \hat{\beta}_{12} x_1 x_2 .$$

Habr  entonces dos parámetros muy importantes en el diseño que deben especificarse: la distancia α de las corridas axiales al centro del diseño y el número de puntos centrales n_c (Montgomery, 2002).

Un criterio muy usado para la elección del α es la “Rotabilidad” del modelo, esto quiere decir, que el modelo tenga una varianza razonablemente consistente y estable de la respuesta predicha en los puntos de interés. Por lo tanto, la varianza de la respuesta predicha es constante en esferas. Un diseño con esta propiedad dejar  la variabilidad de “ y ” sin cambio cuando el diseño se rota alrededor del centro (0, 0, ..., 0), de ahí el nombre de Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR).

2.3 Conceptual

A lo largo de este trabajo se ha desarrollado una exploración científica de la destilación por arrastre de vapor, manipulando intencionalmente variables poco estudiadas como la relación entre la masa de la matriz de análisis y el solvente empleado para la extracción de los aceites esenciales.

Esta investigación brinda una herramienta matemática que no solo permite optimizar un proceso, sino que facilita la predicción de los rendimientos para diferentes valores de los factores en estudio – siempre dentro del rango de experimentación planteado –, pudiendo así encontrar una región óptima del proceso donde se establezca una relación armoniosa entre dos de los aspectos más valorados por esta industria; es decir, un mayor rendimiento del proceso de extracción, y la maximización del efecto esperado sobre la estabilidad de la vida en anaquel de una papilla de cereales, la cual, como se menciona líneas atrás, es empleada generalmente como un alimento para régimenes especiales.

Por esta razón, se han realizado un total de 13 experimentos, cuyos resultados alimentan la base de datos del Diseño Central Compuesto Rotacional. Mientras que, para la caracterización de la vida útil de la papilla de cereales, se empleó el método acelerado de la cinética de Arrhenius, el

cual permite modelar los cambios en sus características, con lo cual se estableció su periodo de vida útil.

2.4 Definición de términos básicos

- **Alimentos para regímenes especiales:** Alimentos elaborados o preparados especialmente para satisfacer necesidades determinadas por condiciones físicas o fisiológicas particulares. La composición de estos alimentos es fundamentalmente diferente de la composición de los alimentos ordinarios de naturaleza análoga. Están incluidos los alimentos de uso infantil, destinados a Programas Sociales de Alimentación.
- **Cinética de Arrhenius:** Es una expresión matemática que relaciona la temperatura a la que se da una determinada reacción, con su respectiva constante de velocidad.
- **Papilla de cereales:** Alimento para regímenes especiales de consumo directo (requiere dilución en agua), elaborado, en este estudio, a partir del endospermo de granos de trigo.
- **Parámetros óptimos:** Para efectos del presente estudio se define como la combinación de los factores preestablecidos de las variables independientes en el diseño experimental, de tal forma que se pueda generar una sinergia entre ellos, si existiese interacción, y a su vez permita maximizar la variable de respuesta minimizando el esfuerzo de manipulación de las variables independientes.
- **Programas sociales de alimentación:** Alimentación destinada a poblaciones de características vulnerables como niños y niñas de 6 a 36 meses, preescolares, escolares, madres gestantes, mujeres en lactancia, ancianas, y otros grupos quienes constituyen los beneficiarios de dichos programas.
- **Subproductos del jugo de naranja:** En este estudio se considera así a la cáscara, semillas y partes del albedo y endocarpio que son desechadas luego de someter a la naranja al proceso de extracción de su jugo.

- **Vapor sobrecalentado:** Es un estado en el cual el vapor se encuentra a temperatura superior a la del punto de ebullición correspondiente a la presión a que se halla sometido.
- **Vida útil:** Tiempo durante el cual el alimento mantiene sus propiedades de inocuidad y calidad, de tal forma que el consumidor no perciba diferencias significativas en él, a raíz de los procesos propios de la descomposición.
- **Zona óptima de proceso:** Área que describe los valores máximos que toma la variable de respuesta tras la manipulación de las variables independientes en los factores preestablecidos del diseño experimental.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Los parámetros óptimos del proceso de extracción de aceites esenciales están comprendidos dentro del rango de relación materia prima - solvente de 1:1,38 y 1:5,62, y tiempo de 31,72 a 88,28 minutos, caracterizando con ello la zona óptima del proceso para la extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) que permita el mayor rendimiento del proceso y la máxima prolongación de la vida útil de una papilla de cereales.

3.1.2 Hipótesis específicas

- a) Los parámetros óptimos del proceso de extracción de aceites esenciales están comprendidos dentro del rango de relación materia prima - solvente de 1:1,38 y 1:5,62, y tiempo de 31,72 a 88,28 minutos, caracterizando con ello la zona óptima del proceso para la extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) que permita el máximo rendimiento del mismo.
- b) Los parámetros óptimos del proceso de extracción de aceites esenciales están comprendidos dentro del rango de relación materia prima - solvente de 1:1,38 y 1:5,62, y tiempos de 31,72 a 88,28 minutos, caracterizando con ello la zona óptima del proceso para la extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) que permita la máxima prolongación de la vida útil de una papilla de cereales.
- c) La vida útil de la papilla de cereales elaborada con aceites esenciales obtenidos a partir de subproductos de jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) es significativamente mayor con respecto a la vida útil del mismo producto sin preservante alguno.

3.2 Definición conceptual de variables

3.2.1 Variables independientes

a) Parámetros del tiempo de extracción (X_1)

Son los valores de minutos prefijados, lo cuales se detallan en el Diseño del experimento (Tabla 6 de la página 39), que adquiere la variable tiempo en la cual se dio el proceso de extracción de aceites esenciales.

b) Parámetros de la relación materia prima – solvente (X_2)

Son los valores prefijados y detallados en el Diseño del experimento (Tabla 6 de la página 39), que adquiere la variable relación entre las masas de la materia prima y el solvente empleado en el proceso de extracción de aceites esenciales.

3.2.2 Variables dependientes

a) Rendimiento de aceites esenciales (Y_1)

Es la cantidad, en masa, de aceites esenciales que se obtuvo como resultado de someter a los subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) al proceso de arrastre por vapor.

3.2.3 Operacionalización de las variables:

Se detallan en la Tabla 6 que se presenta a continuación:

Tabla 6*Operacionalización de las Variables.*

Tipo	Nombre / Dimensión	Tipo	Método de Lectura	Indicador / Valores
Variables independientes	Tiempo De Extracción	cuantitativa	medición directa (cronómetro)	31,72 min
				40 min
				60 min
				80 min
				88,28 min
Variables independientes	Materia Prima Solvente	cuantitativa	medición directa (balanza)	1 g : 1,38 g
				1 g : 2 g
				1 g : 3,5 g
				1 g : 5 g
				1 g : 5,62 g
Variables Dependientes	Rendimiento De Aceites Esenciales	cuantitativa	medición directa (balanza)	$\frac{G_{aceites\ esenciales}}{G_{materia\ prima}} \times 100$

Fuente: Elaboración propia.

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y diseño de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

Se realizó una investigación del tipo aplicada, pues los resultados obtenidos se emplean con el fin de resolver un problema de naturaleza práctica, específicamente, el mejorar, el proceso de extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis* L.).

La investigación adquiere un sentido experimental y cuantitativo, puesto que se realizó una recolección de datos por medio de la experimentación en un laboratorio de ensayos, a partir de la operacionalización de las variables planteadas, pudiendo así explicar su conducta en las condiciones pre - establecidas en el diseño de la investigación (Tabla 6 de la página 39).

4.1.2 Diseño de la investigación

Para hallar el modelo matemático que permite predecir el rendimiento del proceso de extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis* L.)

Se decidió emplear un Diseño Central Compuesto Rotacional (DCCR), cuya estructura es:

- Factor A: (X_1) Tiempo;

nivel bajo: 40 min

puntos axiales: 31,72 y 88,28 min

nivel alto: 80 min

punto central: 60 min

- Factor B: (X_2) Relación materia prima : solvente;

nivel bajo: 1:2

puntos axiales: 1:1,38 y 1:5,62

nivel alto: 1:5

punto central: 1:3,5

Asimismo, los niveles del diseño se codificaron, con el fin de facilitar el lenguaje matemático a emplear durante el modelamiento, con -1 para los niveles bajos, con +1 para los altos; los puntos centrales con 0 y los puntos axiales con $\sqrt{2}$ y $-\sqrt{2}$, para sus niveles superiores e inferiores respectivamente; haciendo una corrida en cada uno de los puntos factoriales y axiales, mientras que para los puntos centrales se hicieron cinco réplicas.

Tabla 7

Diseño para el Desarrollo de la Superficie de Respuesta.

Variables Naturales		Variables Codificadas		Código de Corrida (Aleatorio)
Factor A	Factor B	X ₁	X ₂	
40	2	-1	-1	M05
80	2	+1	-1	M09
40	5	-1	+1	M11
80	5	+1	+1	M06
60	3.5	0	0	M01
60	3.5	0	0	M02
60	3.5	0	0	M07
60	3.5	0	0	M08
60	3.5	0	0	M13
88.28	3.5	$\sqrt{2}$	0	M03
31.72	3.5	$-\sqrt{2}$	0	M10
60	5.62	0	$\sqrt{2}$	M12
60	1.38	0	$-\sqrt{2}$	M04

Fuente: Elaboración propia

4.2 Método de investigación

4.2.1 Extracción de aceites esenciales

La primera etapa del estudio consistió en descubrir los valores de rendimiento del extracto de aceite esencial obtenido a partir de los

subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*). Para ello, el autor diseñó – en base a los trabajos referenciados en los antecedentes – una metodología de ensayo, la cual fue entregada al laboratorio contratado para su ejecución.

Las etapas del método fueron:

Materia prima

Los subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) fueron adquiridos en el mercado mayorista de Santa Anita, en Lima, el día 16 de abril a las 09:00 am, adquiriendo muestras al azar de diversos puestos de jugos, y con un tiempo máximo de 02 horas de procesadas las frutas.

Lavado y desinfección

Se aplicó el lavado y desinfección por inmersión en agua clorada a 25 ppm por 3 minutos, para reducir la carga microbiana a la que pudo estar sometida la muestra.

Transporte

Finalizado el tiempo de inmersión, las muestras fueron inmediatamente sometidas a un proceso de enfriamiento con gel pack, en un recipiente con aislamiento térmico, para evitar una posterior proliferación microbiana o de otras reacciones que afecten significativamente la composición de la muestra.

Recepción

La muestra se recibió en el laboratorio de ensayos a las 10:45 am, siendo caracterizada, por medio sus procedimientos internos, con una temperatura de 6 °C.

Pesado

Se realizó el pesado de la muestra como parte del proceso de su caracterización, según procedimientos del laboratorio de ensayos, obteniendo un peso total de 20 Kg; con una composición porcentual de 87% de cáscaras, 10% de membranas y vesículas de jugo remanente, y 3% de pepas.

Almacenado

La muestra fue colocada en refrigeración (3 ± 2 °C), mientras el personal del laboratorio adecuaba las condiciones para ejecutar cada una de las corridas experimentales.

Trozado

Tanto las cáscaras como el albedo y endocarpio fueron picados en trozos de aproximadamente 4 mm, mientras que las pepas fueron sometidas a un tratamiento de molienda suficiente para ocasionar un colapso en su estructura.

Mezclado

Se mezclaron las secciones picadas y molidas que forman parte de los subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) para así poder obtener submuestras representativas de la muestra original ingresada al laboratorio.

Pesado

La muestra original de 20 Kg fue dividida en 13 submuestras, de tal forma que se satisfagan las condiciones de la Tabla 7 de la página 41.

Extracción de aceites esenciales

Cada submuestra fue colocada en un equipo del tipo autoclave para poder mantener constante los parámetros de temperatura y presión (100 °C y 14.5 psi). Ello con el objetivo de que toda el agua empleada en el sistema pase a su estado de "vapor sobrecalentado", caso contrario, en un estado de saturación tendríamos una mezcla de estados que haría imposible saber si realmente se están respetando los valores propuestos para la cantidad de solvente a emplear.

La muestra fue colocada en una canastilla, y sometida al proceso, de extracción, según los parámetros establecidos en la Tabla 7 de la página 41.

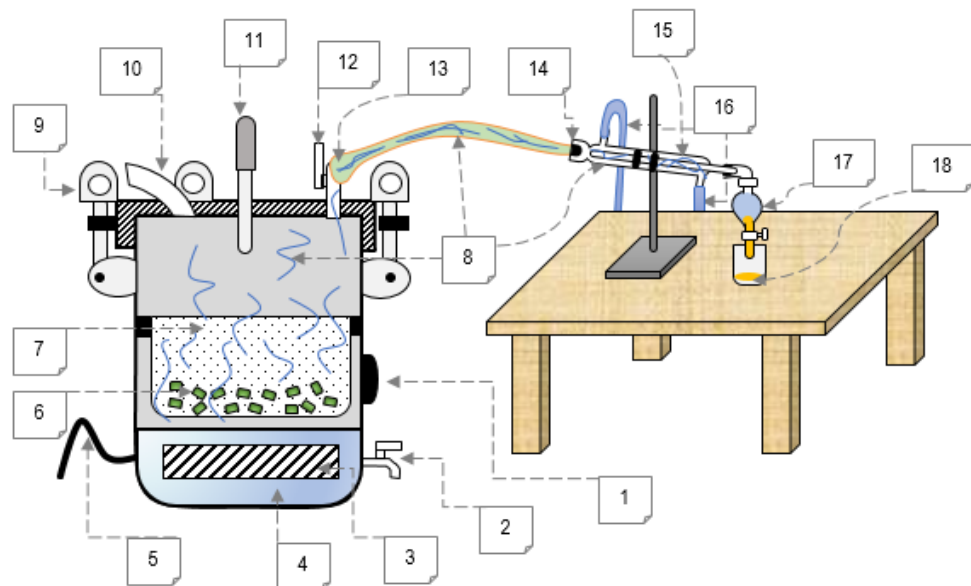
Enfriado y decantado

Se enfrió el extracto hasta debajo de los 30°C, con el objetivo de obtener, por diferencia de densidades, dos fases bien definidas.

Empleando una pera de decantación, se procedió a aislar el extracto de aceites esenciales.

Figura 6

Diagrama de Extracción de Aceites Esenciales.



Nota.

- | | |
|---|---|
| 1. Controles para la programación eléctrica | 2. Llave de para purga de agua |
| 3. Evaporador eléctrico | 4. Agua destilada |
| 5. Alimentación eléctrica | 6. Muestras tratadas |
| 7. Canastilla contenedora de muestras | 8. Vapor sobrecalentado |
| 9. Seguros para mantener la presión | 10. Válvula de purga para emergencias |
| 11. Barómetro | 12. Válvula manual para purga |
| 13. Salida de mezcla de vapor y aceites | 14. Ingreso de la mezcla al sistema de condensación |
| 15. Sistema de condensación | 16. Ingreso y salida del fluido refrigerante |
| 17. Mezcla de agua y aceites esenciales | 18. Aceites esenciales |

Fuente: Elaboración propia.

Cuantificación de los aceites esenciales

Se pesó el extracto obtenido, empleando para ello un vaso precipitado, previamente tarado, de una capacidad de un litro. El resultado fue expresado en porcentaje de masa.

Envasado y rotulado

El extracto obtenido fue envasado en frascos previamente esterilizados, polarizados para evitar el efecto de la luz, y se llenaron al tope para evitar la presencia de oxígeno.

Las muestras fueron rotuladas según el orden de corrida del que provienen (Tabla 7 de la página 41).

Almacenado

Inmediatamente se colocaron a una temperatura de -18 ± 2 °C, mientras se preparaban para la siguiente etapa.

Transporte

Las muestras se depositaron en recipientes con aislación térmica y fuentes refrigerantes (gel pack) para que mantengan la temperatura hasta que sean incorporadas como parte de la formulación de la “Papilla de cereales”, que posteriormente fue sometido a los estudios de vida útil.

Elaboración de la superficie de respuesta

Para el procesamiento de datos se usó un Diseño Central Compuesto Rotacional (DCCR) con 4 (2^k) puntos factoriales, 4 ($2k$) puntos axiales y 5 repeticiones en su punto central, teniéndose un total de 13 tratamientos.

Obtención de los parámetros óptimos

Los parámetros óptimos del proceso se hallaron con la metodología del punto estacionario descrito por Montgomery (2002).

4.2.2 Elaboración de la papilla de cereales

Una vez obtenidas las muestras de extracto de aceite esencial, estas fueron incorporadas como parte de la formulación de una papilla de cereales, siguiendo la siguiente metodología:

Materia prima

Se recibieron las siguientes materias primas e insumos: trigo, proteína aislada de soya, fumarato ferroso y el extracto de aceites esenciales.

Extrusión

El trigo entero se ingresó al equipo extrusor con el objetivo de tener un producto en forma de pellets cocido, en el cual se logró una inactivación de las enzimas que perjudican las cualidades sensoriales del producto, así como una reducción de la carga microbiana a niveles aceptables, garantizando un producto inocuo. Para ello los parámetros del proceso fueron 120 °C por un tiempo de 30 segundos, aunque ello puede variar según el tipo de extrusor empleado; en nuestro caso fue, un extrusor de husillo simple, con capacidad energética de 50 – 90 amperios.

Molienda

Aquí el producto extruido ingresó a un molino de martillos locos de acero inoxidable para que los pellets sean transformados en harina con un diámetro de partícula de 0,5 mm.

Envasado

En el mismo equipo, un transportador neumático llevó la harina por ductos a un ciclón, donde fue recepcionada en sacos de polipropileno.

Dosimetría

Se pesaron los insumos de acuerdo con la formulación para la obtención de una papilla de cereales.

Respecto a los aceites esenciales, se empleó un porcentaje del 0.3 % respecto al total de producto final, dicha cantidad para cada una de las 13 muestras que serán sometidas al posterior estudio de vida útil.

Mezclado

La harina extruida de trigo y la proteína aislada de soya fueron mezcladas hasta obtener un polvo homogéneo, posteriormente se adicionó el fumarato ferroso y por último el aceite esencial.

Envasado y rotulado

La harina extruida mezclada y fortificada se depositó en ollas de acero inoxidable, y a partir de ella fue envasada manualmente, obteniéndose envases primarios de polipropileno biorientado (BOPP) de 100 g cada una. El sellado se realizó con una máquina térmica.

Las muestras fueron rotuladas según el orden de corrida del que proviene el aceite esencial empleado (Tabla 7 de la página 41).

Almacenado

El producto fue almacenado a temperatura ambiente, y en condiciones asépticas mientras se preparaba el envío al laboratorio.

4.2.3 Determinación de la vida útil de la papilla de cereales

El estudio de vida útil fue realizado por un laboratorio de ensayos contratado, solicitándose el cumplimiento de los siguientes parámetros:

Metodología: método acelerado de la cinética de Arrhenius

Temperaturas de trabajo: 25 °C, 40 °C y 55 °C

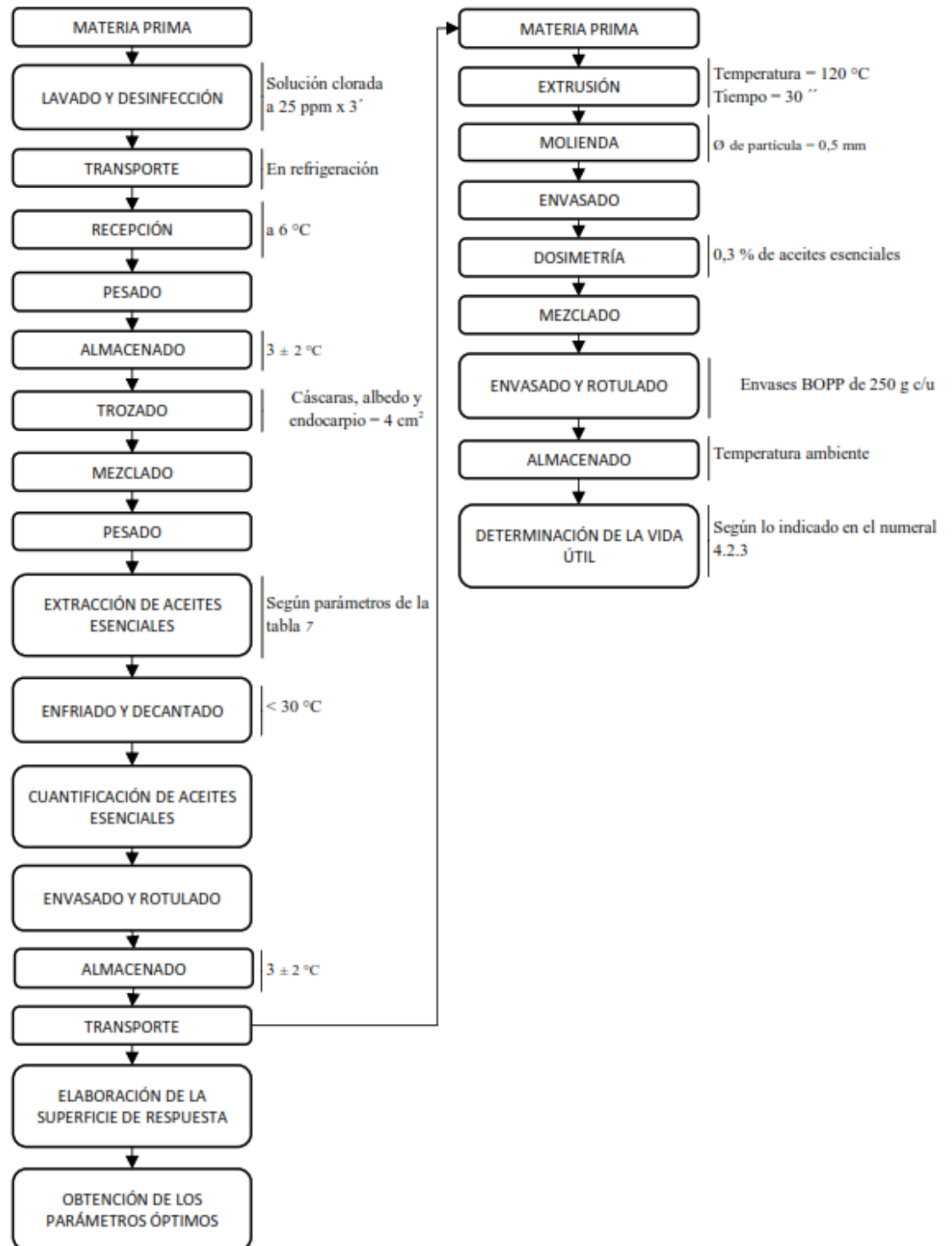
Parámetros sensoriales: color, olor, sabor, aspecto y textura.

Parámetros microbiológicos: Según el ítem IX.2 de la NTS N° 071 MINSA/DIGESA-V.01

Parámetros químicos: humedad, acidez (expresado en ácido sulfúrico).

Figura 7

Diagrama de Flujo del Método De Investigación.



Fuente: Elaboración propia.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

Está determinada por la totalidad de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) del mercado mayorista de Santa Anita en Lima.

4.3.2 Muestra

Para la caracterización del proceso de extracción de aceites esenciales, se entregó al laboratorio 20 Kg de subproductos de jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*), mientras que, para la comparación de la vida útil de la papilla de cereales, se ensayó 15 raciones – cada una de 100 gramos – para cada punto experimental (Tabla 7 de la página 41), sin considerar réplicas en el punto central. La misma cantidad de estudios de vida útil se realizó para muestras sin aceites esenciales.

4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado

La extracción de aceites esenciales y el estudio de vida útil, objetivos del presente estudio, fueron desarrollados en las instalaciones del laboratorio de ensayos “Certificaciones Alimentarias, Hidrobiológicas y Medio Ambientales S.A.C.”, el cual cuenta con acreditación en la NTP-ISO/IEC 17025 para su sistema de gestión. Ubicado en calle Gamarra N° 294 Urb. Miramar – San Miguel – Lima.

El periodo de diseño, ejecución y procesamiento de datos de la parte experimental del estudio fue de dos meses (abril y mayo del 2019).

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Cabe indicar que la recolección de los datos fue realizada empleando los recursos de un laboratorio acreditado bajo la NTP-ISO/IEC 17025, buscando con ello una mayor confiabilidad de los resultados obtenidos.

El autor solicitó se siguieran las metodologías descritas por él, y que son detalladas en el numeral 4.2 del presente trabajo.

Tabla 8*Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información.*

Parámetro	Técnica y/o instrumento
Tiempo de extracción	Medición directa con cronómetro.
Materia prima : solvente	Medición directa con balanza.
Rendimiento de aceites esenciales	Medición directa con balanza.
Color, olor, aspecto y textura	Estimación de la vida útil empleando escala de valoración de calidad por parámetro de Karlsruhe.
Humedad	NTP 209.264:2013 Alimentos cocidos de reconstitución instantánea. Determinación de humedad. Método gravimétrico / COR 1:2013.
Acidez	NTP 205.039:1975 (Revisada el 2016) Harinas. Determinación de la acidez titulable.
Vida útil Recuento de Aerobios Mesófilos	ICMSF Microorganismos de los alimentos. Su significado y métodos de enumeración. Método 1. Pág. 120-124, 2da Ed. 1983. Reimpresión 2000.
Recuento de Mohos y levaduras	ICMSF. Pág. 165-167. 2da Ed. 1983. Reimpresión 2000. Recuento de mohos y levaduras. método de recuento de levaduras y mohos por siembra en placa por todo el medio.
Recuento de Coliformes	AOAC 991.14, Cap. 17.3.04, 20th Ed. Coliform and Escherichia Coli counts in foods. Dry rehydratable film. Petrifilm E. Coli/coliform count plate, petrifilm Coliform count plate 2016.
Recuento presuntivo de Bacillus cereus	ICMSF. Pág. 285-286. 2da Ed. 1983. Reimpresión 2000. Recuento de presuntos Bacillus Cereus.
Detección de Salmonella spp.	ISO 6579:2002 /Cor 1. Microbiology of food and animal feeding stuffs - Horizontal method for the detection of Salmonella spp.

Fuente: Elaboración propia

4.6 Análisis y procesamiento de datos:

- a) Para hallar el modelo matemático que permitirá predecir el rendimiento del proceso de extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*)

El primer paso fue realizar un análisis de varianza para poder descartar que el experimento tenía una conducta lineal, pues es de esperarse que, si nos encontramos muy cerca de la zona óptima del proceso, los datos tendrán una curvatura espacial, que puede responder a un máximo o un mínimo, dependiendo de la naturaleza de lo que está evaluando, en nuestro caso se buscaba alcanzar un máximo.

Para este primer análisis se utilizaron solo los puntos factoriales y centrales (sin considerar los axiales).

Luego al análisis se le incrementaron los puntos axiales, los cuales fueron codificados según el siguiente criterio de rotabilidad de su varianza:

$$\alpha = (n_f)^{1/4}$$

Reemplazando para n_f = número de puntos factoriales, α obtuvo el valor de $\sqrt{2}$.

Con la adición de los datos de los puntos axiales se hizo un nuevo análisis de varianza para verificar la adecuación del modelo cuadrático descrito a continuación.

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \hat{\beta}_{11} x_1^2 + \hat{\beta}_{22} x_2^2 + \hat{\beta}_{12} x_1 x_2,$$

Donde:

X1: Factor A

X2: Factor B

β : Coeficiente de regresión

Para el cálculo de los coeficientes de regresión se utilizó el método de mínimos cuadrados expresado en su versión matricial:

$$\beta = (X'X)^{-1} X'y$$

Donde:

y = es un vector ($n \times 1$) de las observaciones

X = es una matriz ($n \times p$) de los niveles de las variables Independientes

β = es un vector ($n \times 1$) de los coeficientes de la regresión

n = número de observaciones totales

$p = k + 1$

k = número de factores en estudio

Habiéndose determinado la ecuación de regresión, se desarrolló la gráfica de superficie de respuesta y la gráfica de contornos, con las cuales se visualiza la zona de mayor rendimiento del proceso en estudio.

- b) Para hallar los parámetros óptimos de la relación materia prima - solvente y tiempo de la extracción de aceites esenciales partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis* L.)

Mediante la técnica del punto estacionario:

$$X_s = (-1/2) B^{-1} b$$

Donde:

B : es una matriz simétrica ($k \times k$) cuyos elementos de la diagonal principal son los coeficientes cuadráticos puros, y cuyos elementos que están fuera de la diagonal principal son la mitad de los coeficientes cuadráticos mixtos.

b : es un vector ($k \times 1$) de los coeficientes de primer orden.

- c) Para determinar si los valores de vida útil de la papilla de cereales que posee aceites esenciales son significativamente mayores a los que presentan las papillas sin preservantes.

Se compararon la media de ambas poblaciones en estudio (con aceites esenciales y la papilla sin preservantes), mediante el estadístico “T de Student”:

$$T_c = \frac{y_1 - y_2}{S_p \sqrt{(1/n_1) + (1/n_2)}}$$

Donde:

$y_1 - y_2$ = a la diferencia de medias de ambos tipos de papilla

S_p = estimación de la Desviación estándar muestral.

n_1 y n_2 = son el número de muestras de ambas papillas.

Este T_c fue comparado con el T_{tabulado} para poder determinar la existencia o no de diferencias significativas.

V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos

En el anexo 02, 03 y 04 se adjuntan los informes de ensayo emitidos por el laboratorio contratado, los cuales pueden ser consultados, en caso se requiera un mayor detalle de las pruebas realizadas. Sin embargo, se considera necesario, el exponer a continuación, un resumen de los datos que fueron posteriormente sometidos a los análisis estadísticos objetos del presente estudio.

5.1.1 Rendimiento de aceites esenciales a partir de los subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis* L.)

Los códigos M01 al M13 responden a lo descrito en la Tabla 7 de la página 41. Mientras que las unidades de rendimiento son expresadas en porcentaje de masa ($\frac{g_{aceites}}{g_{muestra}} \times 100$).

Tabla 9

Rendimiento de Aceites Esenciales.

Código	Rendimiento
M01	0.2345
M02	0.2336
M03	0.2349
M04	0.1727
M05	0.1723
M06	0.2378
M07	0.2339
M08	0.2348
M09	0.1729
M10	0.1844
M11	0.2329
M12	0.2399
M13	0.2342

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Vida útil de las papillas de cereales

Se llevaron a cabo dos estudios en paralelo. El primero se realizó sobre la muestra de papilla de cereales, cuya formulación contenía un porcentaje de aceites esenciales, cumpliendo la función de preservante, mientras que el segundo estudio, se aplicó a una papilla con la misma formulación, pero que no contenía preservante alguno.

En el caso de la papilla con aceites esenciales, se emplearon nueve (09) muestras, cada una representando a un punto experimental de la Tabla 7 de la página 41, no considerándose las réplicas del punto central del experimento. Mientras que, para la papilla sin aceites esenciales, también se corrieron nueve (09) réplicas con el objetivo de facilitar el posterior cálculo estadístico para identificar diferencias entre las vidas útiles de ambos tipos de productos.

Tabla 10

Vida Útil de la Papilla con Aceites Esenciales.

Código	Vida Útil (Días)	Meses (Días / 30)
M01	186	6
M03	182	6
M04	185	6
M05	168	6
M06	181	6
M09	178	6
M10	179	6
M11	191	6
M12	172	6

Fuente: Elaboración propia.

Cabe indicar que los resultados presentados en la tabla 10 y 11, son una estimación en base a proyecciones realizadas cuando las condiciones de almacenamiento no superan una temperatura de 30 °C (Anexo 03 y 04).

Tabla 11

Vida Útil de la Papilla sin Aceites Esenciales.

Código	Vida Útil (Días)	Meses (Días / 30)
M01	181	6
M02	172	6
M03	174	6
M04	182	6
M05	169	6
M06	171	6
M07	179	6
M08	178	6
M09	183	6

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Resultados inferenciales

Con los datos obtenidos en la etapa anterior se procedió a realizar el análisis estadístico que permite responder las hipótesis planteadas. Para ello, dividimos el proceso de la siguiente forma:

5.2.1 Elaboración del modelo matemático que permite predecir los rendimientos del proceso de extracción de aceites esenciales.

Como se indica en el numeral 4.6, el primer paso consistió en realizar un análisis de varianza a fin de descartar que los datos obtenidos tengan una conducta lineal. El resultado se muestra a continuación:

Tabla 12*ANVA para el Modelo de Primer Orden.*

Fuente de Varianza	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F _c	F _t
Modelo	3	0.00395	0.00132	3.24	24.26
Factor X ₁	1	0.00001	0.00001	33.61	31.33
Factor X ₂	1	0.00394	0.00394	17500.28	31.33
Interacción X ₁ X ₂	1	0.00000	0.00000	20.54	31.33
Residual	5	0.00203	0.00041		
Cuadrática Pura	1	0.00203	0.00203	9022.72	31.33
Error Puro	4	0.0000009	0.0000002		
Total	8	0.01			

Fuente: Elaboración propia.

El valor del F_c para el término cuadrático puro se encuentra muy por encima del valor tabulado, por lo que con un nivel de certeza estadística del 99,5%, se puede afirmar que el modelo de primer orden no describe adecuadamente el comportamiento del proceso de extracción de aceites esenciales. Además, esta curvatura en los datos indica que nos encontramos cerca de un valor máximo.

Es, por tanto, que el siguiente paso consiste en desarrollar un análisis de varianza que permita demostrar si un modelo cuadrático puede describir adecuadamente el comportamiento de los datos.

Tabla 13*ANVA para el Modelo de Segundo Orden.*

Fuente de Varianza	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Modelo Cuadrático	5	0.00929	0.00186	8254.302	22.46
Factor X ₁	1	0.00074	0.00074	3286.859	31.33
Factor X ₂	1	0.00608	0.00608	27019.863	31.33
Factor X ₁ ²	1	0.00123	0.00123	5482.575	31.33
Factor X ₂ ²	1	0.00156	0.00156	6953.411	31.33
Interacción X ₁ X ₂	1	0.00000	0.00000	20.544	31.33
Residual	7	0.00069	0.00010		
Falta De Ajuste	3	0.00069	0.00023	1023.937	31.33
Error Puro	4	0.0000009	0.0000002		
Total	12	0.010			

Fuente: Elaboración propia.

Aquí se puede observar que a pesar que el valor de significancia de los factores cuadráticos es muy alto, la falta de ajuste del modelo es muy superior al valor teórico límite, lo cual indica que el comportamiento de los datos experimentales no necesariamente responde un modelo ideal – ello será discutido con mayor detalle en el capítulo VI –; sin embargo, tomando como indicador el bajo valor del error puro, el valor de su coeficiente de determinación y sus residuales, se estableció el modelo cuadrático como “apropiado” para describir la conducta de los datos, al menos dentro del rango de trabajo en el que se llevó a cabo el estudio.

Aplicando las ecuaciones del numeral 4.6, se estableció la siguiente ecuación como modelo matemático para predecir el comportamiento del proceso de extracción de aceites esenciales a partir de los subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis* L.):

$$Y = -0.05231 + 0.00434X_1 + 0.06274X_2 + 0.00004X_1X_2 - 0.00003X_1^2 - 0.00664X_2^2$$

Donde Y representa al valor esperado del rendimiento del proceso de extracción de aceites esenciales, a partir de la manipulación de las variables X_1 y X_2 , las cuales representan el tiempo de proceso y la cantidad de solvente empleado por unidad de muestra, tal y como se indica en la tabla 6 de la página 39.

Para validar la decisión de emplear el modelo cuadrático, a pesar de que el análisis de varianza advierte que una tendencia por fuera del rango de trabajo podría tener desviaciones significativas en cuanto al valor esperado y el real. Se presenta el valor del coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de determinación ajustado ($R^2_{ajustado}$):

Tabla 14

Coefficientes de Determinación.

R^2	$R^2_{ajustado}$	Diferencia
0.93	0.88	0.04

Fuente: Elaboración propia.

El alto valor de este estadístico nos da confianza respecto a la validez de los datos pronosticados – siempre dentro del rango de trabajo usado en este estudio –. Sin embargo, para una mayor seguridad se procedió a demostrar lo dicho, mediante el análisis de los residuales (valor resultante de la diferencia entre el valor real y el estimado por el modelo matemático):

Tabla 15*Valores Residuales.*

Real	0.173	0.1729	0.2329	0.2378	0.2345	0.2336	0.2339	0.2348	0.2342	0.2349	0.1844	0.2399	0.1727
Estimado	0.1699	0.1869	0.2229	0.2442	0.2342	0.2342	0.2342	0.2342	0.2342	0.2212	0.1941	0.2433	0.1653
Residual	0.0024	0.014	0.01	- 0.0064	0.0003	- 0.0006	- 0.0003	0.0006	0.0000	0.0137	- 0.0097	-0.0034	0.0074

Fuente: Elaboración propia.

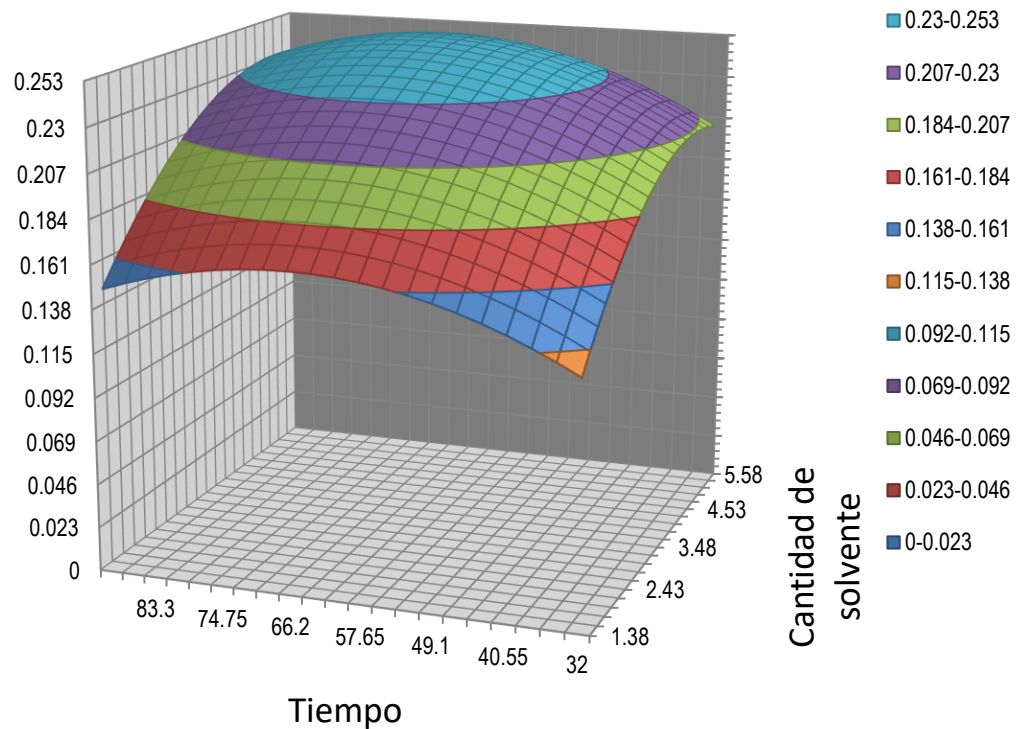
Como se puede apreciar en la tabla 15, el valor de los residuales confirma que el modelo matemático de segundo orden que se ha establecido es confiable para predecir el rendimiento del proceso de extracción de aceites esenciales, dentro del rango de trabajo planteado en este estudio.

5.2.2 Caracterización gráfica

Para ello se plotearon diversos valores dentro del rango de trabajo descrito en la Tabla 7 de la página 41.

Figura 8

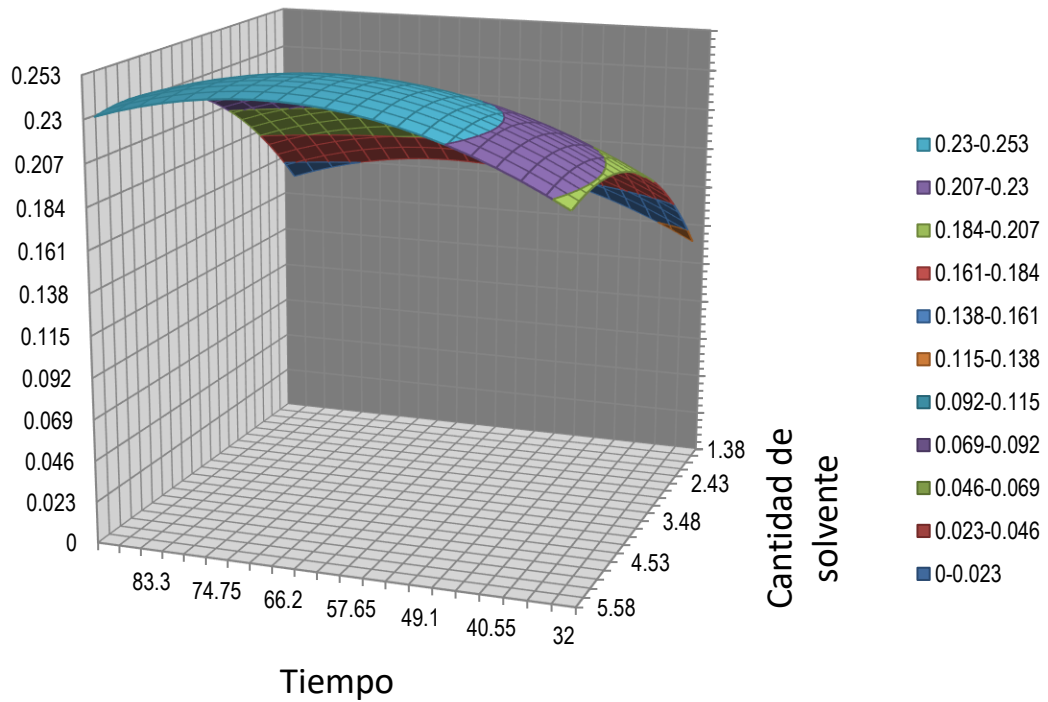
Superficie de Respuesta del Rendimiento de Aceites Esenciales.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9

Superficie de Respuesta del Rendimiento de Aceites Esenciales(Vista Posterior).



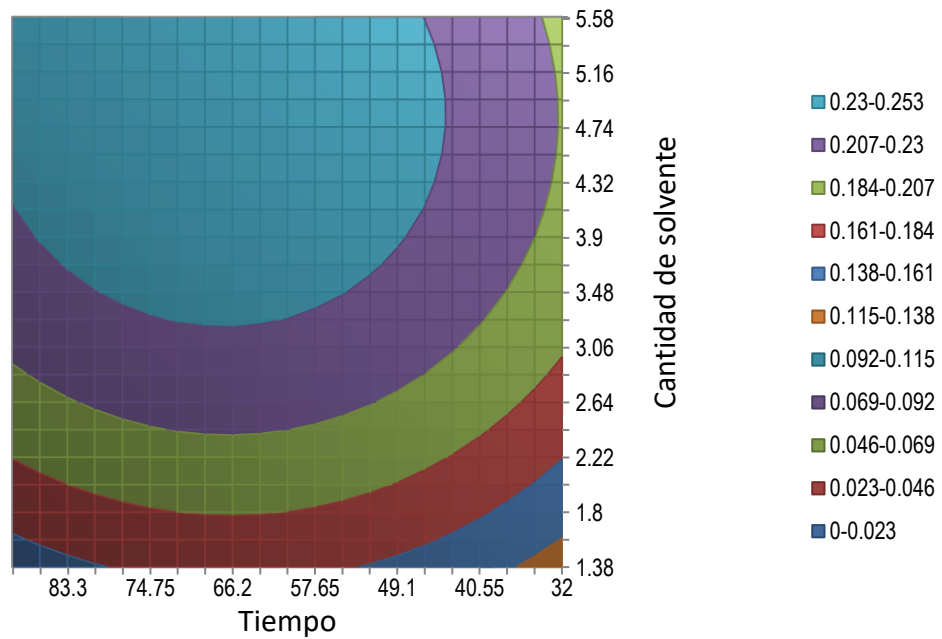
Fuente: Elaboración propia.

Tanto la gráfica 1 como la 2 serán de vital importancia al momento de explicar, en el capítulo VI, por qué el modelo cuadrático no puede emplearse para pronosticar valores de rendimiento por fuera del rango de trabajo empleado en el presente estudio.

Por otro lado, también se consideró necesario presentar los datos mediante una gráfica de contornos, el cual nos permite apreciar su conducta cuando las variables de tiempo y cantidad de solvente son modificadas. Ello en una gráfica de dos dimensiones, la cual a veces resulta más fácil de analizar.

Figura 10

Gráfica de Contornos del Rendimiento de Aceites Esenciales.



Fuente: Elaboración propia.

La zona de mayor rendimiento se encuentra sombreada de color turquesa, y presenta valores comprendidos entre el 0.23 % y el punto de máximo rendimiento. Es decir, ésta es la zona que debemos explorar para obtener el punto óptimo.

5.2.3 Caracterización de los parámetros óptimos para el máximo rendimiento del proceso de extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus cinensis L.*)

Aplicando los pasos definidos en el numeral 4.6, literal b), se han definido los siguientes parámetros:

Tabla 16

Parámetros de Máximo Rendimiento.

Nomenclatura	Variable	Valor Óptimo	Unidades
Tiempo	X_1	68	minutos
Solvente	X_2	5	$g_{sol} : g_{muestra}$
Rendimiento	Y	0.249	% masa

Fuente: Elaboración propia.

Los valores descritos en la Tabla 16, representan al punto de máximo rendimiento del proceso de extracción de aceites esenciales; sin embargo, si analizamos los datos presentados en la Tabla 13 de la página 58, en la gráfica 3 de la página 63 y por último la propia de ecuación de estimación del rendimiento del proceso de extracción, podremos identificar que, para las condiciones de trabajo del presente estudio, la variable de respuesta es mucho más dependiente de la cantidad de solvente empleado en la extracción, que del propio tiempo del proceso, por lo que no es nada descabellado intentar disminuir la variable “tiempo” a la vez que el rendimiento se mantenga en sus valores más altos. Es por ello, que en la siguiente tabla se realiza un ploteado de los valores de rendimientos a diferentes tiempos, pero manteniendo constante la cantidad de solvente, con el fin de mantener en un nivel alto el rendimiento del proceso:

Tabla 17

Rendimientos del Proceso para una Cantidad de Solvente Cinco Veces Mayor a la Materia Prima.

Tiempo (minutos)	Rendimiento (% masas)
50	0.238
52	0.240
55	0.243
58	0.246
60	0.247
62	0.248
65	0.249
68	0.249

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar, la variable tiempo puede ser incluso disminuida considerablemente sin necesidad de sacrificar significativamente el rendimiento del proceso; sin embargo, el grado de significancia que se desea “sacrificar”, debe ser una consideración del usuario de la presente investigación, lo cual escapa a nuestro objetivo de estudio, por lo que estos datos se presentan solo a manera informativa.

5.2.4 Determinación de diferencias significativas entre la vida útil de la papilla con aceites esenciales, versus otra sin preservantes.

Como se explicó en el numeral 4.2.2, tras la elaboración de una papilla de cereales extruidos, en base a trigo, se procedió a tomar diversas muestras, algunas de ellas, a las cuales se le adicionó un determinado porcentaje de aceites esenciales. Esperando que, su vida útil se vea positivamente influenciada con respecto a otras muestras sin dicho aditivo.

Para demostrar ello, se hicieron estudios, cuyos resultados fueron presentados en el numeral 5.1.2, y estos, a su vez fueron procesados de acuerdo a lo que se indica en el numeral 4.6 obteniéndose la siguiente tabla:

Tabla 18

Datos de Prueba de Comparación de Medias de Dos Poblaciones con Varianza Desconocida.

Nomenclatura	Variable	Valor
Vida útil de la papilla con preservante (promedio)	Y_1	180,222
Vida útil de la papilla sin preservante (promedio)	Y_2	176,556
Estimación de la varianza muestral	S_p^2	6,1936
Tamaño de muestra de la papilla con preservante	n_1	9
Tamaño de muestra de la papilla sin preservante	n_2	9
Nivel de significancia	α	0,05
Variable estadística calculada	T_c	1,2558
Variable estadística tabulada	T_t	2,1199
Diferencia entre medias	(Con preservante) – (Sin preservante)	4 días

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos se plantearon las siguientes hipótesis estadísticas:

$$H_0: Y_1 = Y_2$$

$$H_1: Y_1 \neq Y_2$$

Comparándose los valores de T_c versus T_t de la Tabla 18, se pudo concluir con un nivel de significancia del 5%, que la vida útil de la papilla de cereales con aceites esenciales no difiere significativamente de otra de la misma formulación, pero sin aceites esenciales. Ya que, la diferencia entre ambos resultados oscila en el intervalo de confianza de entre - 3 a 10 días, según la siguiente ecuación:

$$y_1 - y_2 - T_{\alpha/2} S_p \sqrt{(1/n_1) + (1/n_2)} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq y_1 - y_2 + T_{\alpha/2} S_p \sqrt{(1/n_1) + (1/n_2)}$$

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contratación y demostración de la hipótesis con los resultados

6.1.1 Hipótesis general versus resultados

La hipótesis general fue que, los parámetros óptimos del proceso de extracción de aceites esenciales están comprendidos dentro del rango de relación materia prima - solvente de 1:1,38 y 1:5,62, y tiempos de 31,72 a 88,28 min, caracterizando con ello la zona óptima del proceso para la extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) que permita el mayor rendimiento del proceso y la máxima prolongación de la vida útil de una papilla de cereales.

Ante ello, la hipótesis fue confirmada, ya que se pudo demostrar que el punto de máximo rendimiento se consigue con una relación de materia prima – solvente de 1:5, y un tiempo de 68 minutos, siendo justamente, el máximo rendimiento obtenido el de 0.249 %, y una prolongación de la vida útil de la papilla de cereales de 4 días.

6.1.2 Hipótesis específica 1 versus resultados

La hipótesis específica 1 fue que, los parámetros óptimos del proceso de extracción de aceites esenciales están comprendidos dentro del rango de relación materia prima - solvente de 1:1,38 y 1:5,62, y tiempo de 31,72 a 88,28 min, caracterizando con ello la zona óptima del proceso para la extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) que permita el máximo rendimiento del mismo.

En el numeral 5.2.3 se determinó que, aplicando la técnica matemática del punto estacionario – descrita en el numeral 4.6, literal b) – sobre los datos de rendimiento obtenidos experimentalmente, se establece como parámetros óptimos del proceso, una relación de materia prima – solvente de 1:5, y un tiempo de 68 minutos, consiguiendo así, el máximo rendimiento de aceites esenciales, esto es un total del 0.249 % en masa.

Por lo tanto, al contrastar la hipótesis específica 1, con los resultados inferenciales obtenidos en el numeral 5.2.3, se confirma que el máximo rendimiento se obtiene con los parámetros óptimos del proceso de extracción de aceites esenciales, los cuales están comprendidos dentro del rango de las variables empleadas en el diseño experimental, tal y como indica dicha hipótesis.

6.1.3 Hipótesis específica 2 versus resultados

La hipótesis específica 2 fue que, los parámetros óptimos del proceso de extracción de aceites esenciales están comprendidos dentro del rango de relación materia prima - solvente de 1:1,38 y 1:5,62, y tiempo de 31,72 a 88,28 min, caracterizando con ello la zona óptima del proceso para la extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) que permita la máxima prolongación de la vida útil de una papilla de cereales.

En el numeral 5.2.4, específicamente en la Tabla 18, se presenta el resumen del tratamiento estadístico realizado a los datos de vida útil de las muestras de papilla con y sin adición de aceites esenciales. Ahí se pudo determinar que, al adicionar los extractos que se obtuvieron al trabajar con los parámetros definidos en el diseño experimental, indicados en la Tabla 7, de la página 41, y planteados en la hipótesis, se logró una prolongación promedio de 04 días en la vida útil de la papilla de cereales.

Por lo tanto, al contrastar la hipótesis específica 2, con los resultados inferenciales obtenidos en el numeral 5.2.4, se confirma que la máxima prolongación de la vida útil de la papilla de cereales se obtiene con los parámetros establecidos en el diseño experimental, tal y como indica la hipótesis planteada.

6.1.4 Hipótesis específica 3 versus resultados

La hipótesis específica 3 fue que, la vida útil de la papilla de cereales elaborada con aceites esenciales obtenidos a partir de subproductos del

jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*) es significativamente mayor con respecto a la vida útil del mismo producto sin preservante alguno.

En el numeral 5.2.4, específicamente en la Tabla 18, se presenta el resumen del tratamiento estadístico realizado a los datos de vida útil de las muestras de papilla con y sin adición de aceites esenciales. Ahí se pudo determinar que, si bien existe una diferencia entre las vidas útiles de dichos productos, la cual en promedio es de 04 días, al aplicar el estadístico “T de Student” se concluyó, con un nivel de significancia del 5 %, que esta diferencia no es estadísticamente significativa, ya que la variación se distribuye en el rango de -3 hasta los 10 días a favor de la muestra con aceites esenciales.

Por lo tanto, al contrastar la hipótesis específica 3, con los resultados inferenciales obtenidos en el numeral 5.2.4, se rechaza la misma, pues no existe evidencia estadística que respalde la hipótesis planteada.

6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Los resultados obtenidos en el presente estudio, tal y como se ha podido apreciar en el numeral 6.1, no han podido confirmar todas las hipótesis planteadas inicialmente, siendo, por lo tanto, necesario realizar algunas aclaraciones que expliquen lo sucedido. Ante ello se expone:

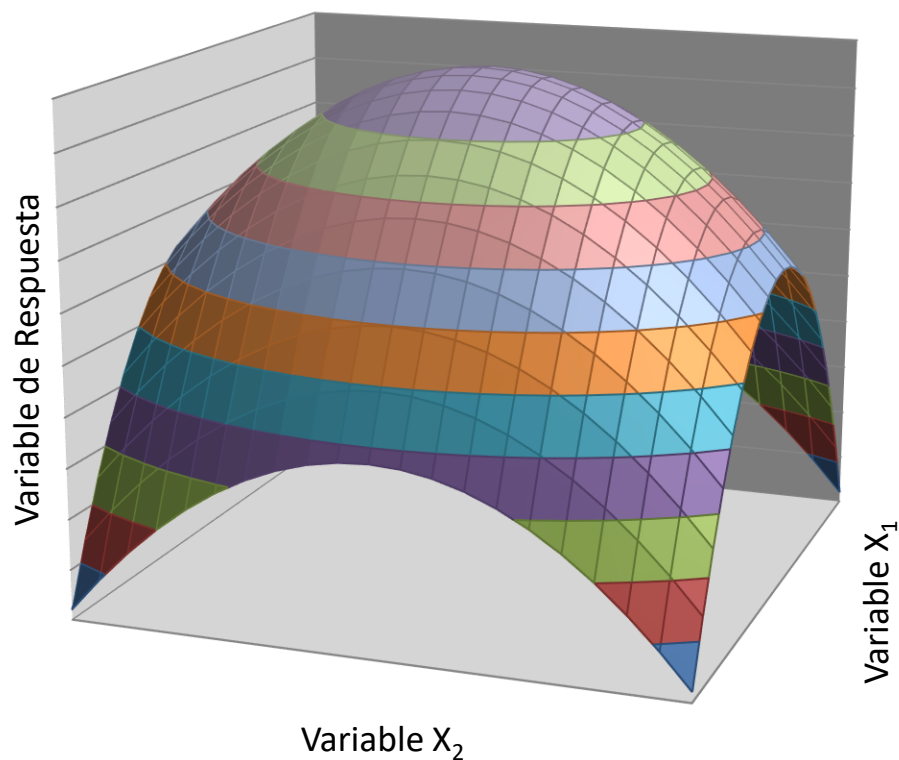
- *Respecto al desempeño de los datos del rendimiento obtenido a lo largo del experimento:* En Tabla 13 ANVA para el Modelo de Segundo Orden., se puede apreciar que a pesar que el valor de significancia para los factores cuadráticos es muy alto – lo cual confirma que su empleo en el modelo matemático es necesario – el estadístico “Falta de ajuste del modelo” es muy superior al valor teórico límite. Ello podría generar un aparente cuestionamiento respecto a si es apropiado o no el uso de la ecuación presentada en la página 57.

Ante ello, cabe señalar, en primera instancia, que la falta de ajuste del modelo sugiere que los datos experimentales no siguen fielmente la

conducta “ideal” o “esperada” para un modelo cuadrático. Pues tal y como indica Montgomery (2002), un modelo cuadrático ideal, tendría que alcanzar un punto máximo y luego, a partir de éste, la variable de respuesta debe disminuir – conforme se intensifiquen los parámetros de las variables independientes – al mismo ritmo en que se dio el crecimiento hasta alcanzar dicho punto máximo. Es decir, un experimento con ajuste ideal cuadrático debe presentar una cualidad “Simétrica” respecto a su punto de inflexión, tal y como se presenta en las siguientes figuras:

Figura 11

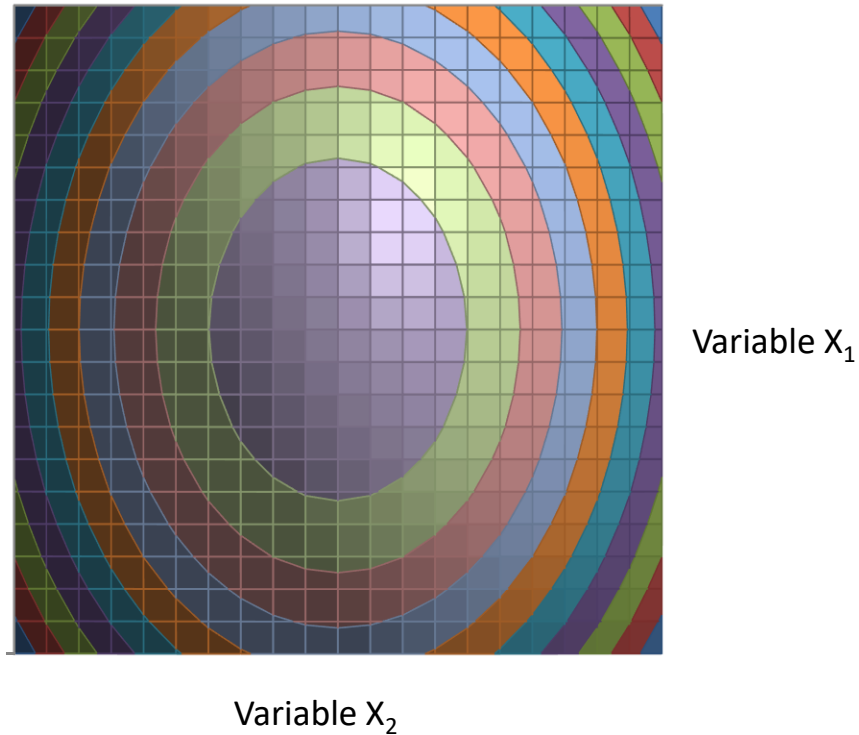
Superficie de respuesta de un modelo cuadrático ideal.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12

Gráfica de Contornos de un Modelo Cuadrático Ideal.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en las figuras 8 y 9, tanto la variable X_1 como la variable X_2 son “Simétricas” respecto a su punto inflexión. Por lo que ajustan adecuadamente al modelo cuadrático ideal.

Los datos obtenidos experimentalmente en este estudio no presentan esta cualidad “Simétrica”, pues como se pudo observar en la gráfica 1, gráfica 2 y gráfica 3, lo que tenemos es un punto máximo de rendimiento, y luego una conducta aparentemente estacionaria, de lento descenso (no simétrica respecto a la velocidad de crecimiento hasta el punto máximo); es decir, el rendimiento no disminuye con la misma intensidad con que aumentó, y por el contrario su descenso es poco significativo. Siendo justamente esto, lo que provoca la “Falta de ajuste del modelo”. Por lo que nuestro parámetro óptimo no debería

interpretarse necesariamente bajo el concepto de un punto aislado de máximo rendimiento, sino un punto a partir del cual, un incremento en los parámetros de las variables independientes ocasiona un consumo no rentable de recursos, por lo que deja de ser económicamente viable operar más allá del punto óptimo.

La conducta que acabamos de describir, también fue observada por Paredes y Quinatoa (2010), quienes en su estudio “Desarrollo de un sistema de extracción de aceites esenciales”, donde sometieron a 3 productos diferentes (eucalipto, menta y ciprés) a un proceso de extracción por arrastre de vapor, concluyeron que la extracción de aceites es esencialmente rápida hasta aproximadamente los 50 minutos, donde se extrae el 89 % del aceite, y en los 40 minutos restantes de su estudio, la velocidad cambia, y se extrae apenas el 11 % restante, por lo que ellos catalogan este tiempo, como “tiempo muerto del proceso”.

Ante lo expuesto, la pregunta sobre si es correcto emplear el modelo cuadrático para describir el experimento, tiene como respuesta un “Sí”, pero solamente dentro del rango definido en el diseño del experimento (Tabla 7 de la página 41). Pues el estadístico “Falta de ajuste” es un indicador de la presencia de una “Asimetría” en los datos alrededor del punto máximo, más no específicamente un indicador sobre el ajuste de los valores reales versus los predichos por el modelo. Y para verificar precisamente si el modelo matemático se ajusta de manera correcta a los valores experimentales, en las tablas Tabla 14 y Tabla 15 (presentadas en la página 59) se analiza el coeficiente de determinación y los valores residuales (Valores teóricos menos los valores experimentales), demostrándose que para el rango de las variables empleadas en el diseño experimental, el modelo empleado se ajusta significativamente bien a los valores reales obtenidos. Por lo que el uso del modelo es correcto, pero solo dentro de dicho rango, pues

fuera de éste, la falta de “Simetría” del modelo empezará a generar predicciones inexactas.

- *Respecto a la vida útil de la papilla de cereales:* Tal y como se puede apreciar en el anexo 02, el punto de corte para el estudio fue la “humedad” del producto, la cual, al superar el 5 % dejó de ser adecuado para su consumo (según lo establecido en la Norma Sanitaria para la Fabricación de Alimentos a Base de Granos y otros, destinados a Programas Sociales de Alimentación aprobada mediante Resolución Ministerial N°451-2006/MINSA el 17 de Mayo de 2006).

Pues, si bien se pudo apreciar un ligero incremento de la vida útil del producto, éste resultó no significativo, ya que el parámetro que determina su vida útil no está directamente relacionado con el efecto que se logra controlar con la adición del aceite esencial, esto es, porque el aceite esencial tiene un efecto de control sobre la proliferación de microorganismos, lo cual se puede detectar en el anexo 03 y 04. Dicho efecto inhibitorio, permitió una disminución de la carga bacteriana y un consecuente control de la acidez del producto, lo cual, a su vez, favoreció que la estructura de la matriz alimenticia se pueda conservar mejor, y así se retarde un poco la absorción de agua del ambiente; sin embargo, como ya se explicó, ese es un efecto indirecto y poco significativo del empleo del aceite esencial.

Lo mencionado es respaldado por diversos autores como Dabbah; Edwards y Motas, quienes ya en 1970 advertían sobre el efecto antimicrobiano del aceite esencial en productos cítricos, en su obra: “Antimicrobial activity of some citrus fruits oils on selected food-borne bacteria Appl. Microbiology”.

Por otro lado, también resulta importante contrastar los resultados que sí confirmaron nuestras hipótesis:

- *Respecto al rendimiento de aceites esenciales obtenidos:* podemos citar a León et al. (2015), quienes en su estudio “Comparación de

dos métodos de extracción del aceite esencial de *Citrus sinensis L.*”, obtuvieron un rendimiento del 0.42 % por medio de un proceso de hidrodestilación; dicho rendimiento es superior al nuestro. Pero se debe aclarar que si bien el método de hidrodestilación es menos efectivo que el de arrastre de vapor – el cual se empleó en este estudio – la matriz de análisis empleada por León et al., fue exclusivamente las cáscaras del *Citrus sinensis L.*, en el cual se encuentran la mayor concentración de este compuesto, por lo que es lógico que, al no incluir otros subproductos, de menor contenido en aceites esenciales, el rendimiento de su proceso sea mayor.

Mientras que Rojas et al. (2009), al finalizar su estudio de “Obtención de aceites esenciales y pectinas a partir de subproductos de jugos cítricos”, consiguieron un rendimiento en la naranja Valencia Frost del 0.20% de aceites esenciales.

Si bien es cierto, este rendimiento es más cercano al que se reporta en el capítulo V, también hay que resaltar que en el presente estudio no se determinó la especie de naranja empleada, pues la población de la cual se tomó la muestra, fueron subproductos de naranjas, que ya previamente habían sido procesadas para la obtención de jugo, en el mercado de Santa Anita de Lima. Además, en este estudio se realizó una caracterización de la composición de la muestra sometida al proceso de extracción (87% de cáscaras, 10% de membranas y vesículas de jugo remanente, y 3% de pepas) aspecto que Rojas et al. no realizaron, por lo que, considerando que el contenido de aceites esenciales no es homogéneo en los componentes del subproducto del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*), la composición de la muestra que ellos emplearon pudo ocasionar la variación que se evidencia en el rendimiento obtenido en ambos trabajos.

- *Respecto a los parámetros definidos como óptimos del proceso de extracción:* volvemos a citar a Paredes y Quinatoa (2010), quienes en su estudio “Desarrollo de un sistema de extracción de aceites

esenciales”, trabajaron en un sistema de extracción similar al empleado en este trabajo. Ellos indicaron que los mejores parámetros de extracción, para un caldero, es de 89 °C, una presión de 40 psi, y un tiempo de 50 minutos para obtener el 89 % del aceite, mientras que para alcanzar un valor del 100 % necesitaron prolongar el tiempo hasta los 90 minutos; sin embargo, Paredes y Quinatoa no mencionan la cantidad de vapor empleado en su caldero, ni la relación respecto a la cantidad de materia prima empleada, por lo que este parámetro no puede ser comparado con nuestros resultados. Mientras que los demás parámetros (a excepción de la presión) presentan cierta similitud a los que se presentan en este estudio (100 °C; 14,5 psi y 68 minutos).

6.3 Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes

El autor es responsable de los resultados reportados, la información declarada como consecuencia de la elaboración de la presente tesis, y reconoce a los autores de los trabajos referenciados como propietarios de la información citada a lo largo de este documento.

CONCLUSIONES

Se concluye en función a los objetivos definidos en el estudio:

- Los parámetros óptimos para el proceso de extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (*Citrus sinensis L.*), son: un tiempo de 68 minutos, y una relación (en masa) de materia prima: solvente, de 1:5. Consiguiendo con ello un rendimiento del 0,249 %, y una prolongación de la vida útil de la papilla de cereales de 04 días.
- El modelo matemático, que describe el comportamiento de la variable, rendimiento del proceso de extracción de aceites esenciales, cuando se manipulan el tiempo y la proporción en masa de materia prima y solvente, dentro de los rangos del presente estudio, es:

$$Y = -0.05231 + 0.00434X_1 + 0.06274X_2 + 0.00004X_1X_2 - 0.00003X_1^2 - 0.00664X_2^2$$

- El punto óptimo del proceso no debería interpretarse necesariamente bajo el concepto de un punto aislado de máximo rendimiento, sino un punto a partir del cual, un incremento en los parámetros de las variables independientes ocasiona un consumo no rentable de recursos, por lo que deja de ser económicamente viable operar más allá del punto óptimo.
- Con un nivel de significancia del 5 % se concluyó que la adición de aceites esenciales al producto papilla de cereales, no prolonga significativamente su vida útil.
- Otras conclusiones derivadas del análisis de los datos obtenidos en el estudio:
- El proceso de extracción de aceites esenciales, bajos las condiciones del estudio realizado, tiene un mayor grado de dependencia de la concentración de materia prima – solvente, que del tiempo del proceso. Con un nivel de probabilidad de error tipo I del 0,5 %.
- Las variables, tiempo de proceso y relación materia prima – solvente, no tienen un efecto combinado que influya significativamente en el rendimiento de aceites esenciales. Con un nivel de probabilidad de error tipo I del 0,5 %.

- El contenido de humedad del producto “Papilla de cereales”, es el parámetro que determina el fin de su vida útil, pues éste es el más susceptible a alterarse en condiciones normales de almacenamiento.
- La vida útil del producto “Papilla de cereales con adición de aceites esenciales” es en promedio 181 días, a una temperatura de almacenamiento de 30 °C.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda no emplear el modelo matemático establecido en el presente estudio, más allá de las condiciones en las cuales se desarrolló, y son descritas en la *Tabla 7* Diseño para el Desarrollo de la Superficie de Respuesta.
- de la página 41. Pues como ya se explicó en los capítulos VI y VII, se podría incurrir en pronósticos que no se ajusten a la realidad esperada.
- Se recomienda realizar nuevos estudios respecto al papel que pueden desempeñar los aceites esenciales como un compuesto que aporte valor a la industria de procesamiento de alimentos, estos estudios pueden estar orientados a su función como un inhibidor del crecimiento microbiano, o como potenciador de ciertas cualidades organolépticas – especialmente sabor y olor – de alimentos.
- Los aceites esenciales son compuestos de estructura “frágil”; es decir, son muy susceptibles a sufrir modificaciones químicas a efectos de factores ambientales como la luz, potencial Redox de la atmósfera, entre otros, lo cual hace que la tecnología empleada para su conservación por tiempo prolongados incremente sus costos de comercialización. Por tanto, se recomienda enfocar futuros estudios en el desarrollo de nuevos mecanismos para la conservación de los aceites esenciales, que disminuyan dicho costo, y a la vez permitan un tiempo de almacenamiento adecuado para su comercialización.
- Se recomienda que siempre que se emplee la metodología de superficies de respuesta, se tenga muy presente la naturaleza de la variable dependiente que se busca optimizar, pues como se evidenció en el presente estudio, la conducta teórica del modelo no siempre responde a lo que se puede observar en la experimentación, por lo que el criterio del investigador es un factor muy importante al momento de definir la adecuación del método desarrollado.

REFERENCIAS

- Albaladejo, Q. (1999). *El aceite esencial de limón producido en España. Contribución a su evaluación por organismos internacionales* [tesis de doctorado, Universidad de Murcia]. Repositorio Institucional UM. <http://hdl.handle.net/10201/121>
- Albarracín, G. & Gallo, S. (2003). Comparación de dos métodos de extracción de aceite esencial utilizando *Piper aduncum* (cordoncillo) procedente de la zona cafetera [tesis de fin de grado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UN. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2624>
- Araujo, D. (2000). Análisis cromatográfico del aceite esencial de mandarina variedad Dancy (*Citrus reticulata* blanco). [tesis de grado, Universidad de Zulia]. Repositorio Luz.
- Bartholomew, E. & Sinclair, W. (1945). Apparatus for the determination of volatile citrus oil. *J. Assoc. Offic. Agr. Chem.* (28), 339-344.
- Bartholomew, E. & Sinclair, W. (1952). The lemon fruit: Its composition, physiology, and products. *Journal of the American Pharmaceutical Association*, 41(3), 169. <https://doi.org/10.1002/jps.3030410327>
- Blanco, C., Stashenko, E., Combariza, M. & Martinez, J. (1995). Comparative study of colombian citrus oils by high-resolution gas chromatography and

- gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 697(1-2), 501-513. [https://doi.org/10.1016/0021-9673\(94\)00955-9](https://doi.org/10.1016/0021-9673(94)00955-9)
- Bocco, A., Cuvelier, M., Richard, H. & Berset, C. (1998). Antioxidant activity and phenolics composition of citrus peel and seed extracts. *J. Agric. Food Chem*, 46(6), 2123-2129. <https://doi.org/10.1021/jf9709562>
- Cabra, E. (1990). Los aceites esenciales, panorama internacional y del mercado colombiano. *Tecnología* 1. 1988. 175 (5): 55-60.
- Cerpa, M. (2007). Hidrodestilación de aceites esenciales: modelado y caracterización. [tesis de doctorado, Universidad de Valladolid]. <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.1994.0644>
- Cochran, W. G. & Cox G. M. (1990). Diseños experimentales (2.^a ed.). Trillas.
- Collazos, C. (1993). Tablas peruanas de composición de alimentos. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1652.pdf>
- Dabbah, R.; Edwards, V. & Motas, W. (1970). Antimicrobial activity of some citrus fruits oils on selected food-borne bacteria. *Appl. Microbiology*, 19(1), 27–31. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/4905947/>
- Di Giacomo, A. y Mincione, B. (1994). Gli olii essenziali agrumari in Italia. Sottoprogetto 4. Lauffa.
- Drouet, S. (1982). Contribution a l'étude d'une huile essentielle de citron de Côte d'Ivoire et au controle des médicaments aromatisés au citron. [tesis de doctorado, Université de Nantes]. Repositorio UN.

- Ferhat, M., Meklati, B., Smadja, J. & Chemat, F. (2006). An improved microwave Clevenger apparatus for distillation of essential oils from orange peel. *Journal of Chromatography A*, 11 (12), 121-126. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.12.030>
- Fon Fay, V. F. (2015). Evaluación del proceso de extracción de aceites esenciales de hojas de *Citrus aurantifolia* (limón sutil) *Citrus sinensis* (naranja) y *Citrus nobilis* (mandarina) mediante hidrodestilación. [tesis de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio UTEQ. <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/627>
- Guiotto, E. N. (2014). Aplicación de subproductos de chía (*Silvia hispanica* L.) y girasol (*Helianthus annuus* L.) en alimentos. [tesis de doctorado, Universidad Nacional de la Plata]. Repositorio UNLP. <https://doi.org/10.35537/10915/34268>
- InfoAgro. (2019). El cultivo de arándano. Consultado el 02 de abril del 2019. <https://www.infoagro.com/>
- Juárez, J. R., Castro, A. J., Jaúregui, J. F., Lizano, J. V., Carhuapoma, M., Choquesillo, F. F., Félix, L. M., Cotillo, P. A., López, J. P., Jaramillo, M. R., Córdova, A. I., Ruiz, J.R., Ramos, N. J. (2010). Chemical composition, antibacterial activity of essential oil *Citrus sinensis* L. (Sweet orange) and formulation of a pharmaceutical form. *Ciencia e Investigación*, 13 (1), 9-13. <https://doi.org/10.15381/ci.v13i1.3157>
- Lee, H.S. & Nagy, S. (1996). Chemical degradative indicators to monitor the quality of processed and stored citrus products. *American Chemical*

Society, 631(9),86-106. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/bk-1996-0631.ch009>

León, G., Osorio, M. & Martínez, S. (2015). Comparación de dos métodos de extracción del aceite esencial de Citrus sinensis L. Revista cubana de farmacia, 49 (4), 742-750.

Luna, T. (1999). Las frutas. Camino de vida.

Martínez, J., Sulbarán, B., Ojeda, G., Ferrer, A. & Nava, R. (2003). Actividad antibacteriana del aceite esencial de mandarina. Revista de la facultad de agronomía LUZ, 20(4), 502-512.
https://www.researchgate.net/publication/262737376_Actividad_antibacteriana_del_aceite_esencial_de_mandarina_Antibacterial_activity_of_mandarin_essential_oil

Mesbahi, G., Jamalían, J. Y. & Farahnaky, A. (2005). A comparative study on functional properties of beef and citrus pectins in food systems. Food Hydrocolloid, 19 (4), 731-738.

Minagri. (2018). Series históricas de producción agrícola – compendio estadístico. Consultado el 15 de enero del 2018.
<http://frenteweb.minagri.gob.pe/sisca/>

Montgomery, D. C. (2002). Diseño y análisis de experimentos (2ª ed.). Limusa.

Morales, V. (1996). Extracción y caracterización del aceite esencial de Lima Haití Citrus aurantiifolia (Chritms) Swingle. [tesis de fin de grado, Universidad del Zulia]. Repositorio Luz.

- Muñoz, J., Staschenko, E. & Ocampo, C. (2014). Actividad insecticida de aceites esenciales de plantas nativas contra *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Revista colombiana de entomología*, 40 (2), 198-202. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-04882014000200012&lng=en&tlng=es
- Ortuño, M. (2006). *Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes*. Aiyana.
- Paredes, D., Quinatoa, F. (2010). Desarrollo de un sistema de extracción de aceites esenciales. [tesis de fin de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1710>
- Pinto J. (1995). Aplicación de la metodología de superficie de respuesta en la optimización del proceso de clarificación de jugo de manzana. [tesis de fin de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Reátegui, L. (2005). Hidroextracción y fraccionamiento del aceite esencial de cáscara de naranja. [tesis de fin de grado, Universidad Nacional Mayor De San Marcos]. Repositorio institucional UNMSM. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/3329>
- Rojas, J., Perea A. & Stashenko E. (2009). Obtención de aceites esenciales y pectinas a partir de subproductos de jugos cítricos. *Vitae, revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 16(1), 110-115. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042009000100013&lng=en&tlng=es

- Ruiz, G. & Saavedra, J. (2007). Determinación de los parámetros óptimos de funcionamiento para un equipo de extracción sólido – líquido en la extracción de aceite esencial de naranja usando un sistema de cáscara de naranja – alcohol etílico. [tesis de fin de grado, Universidad Nacional Mayor De San Marcos]. Repositorio institucional UNMSM. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/431>
- Stashenko, E. E. (1995). Plantas aromáticas y aceites esenciales. Universidad Industrial de Santander, Grupo de Fitoquímica.
- Stashenko, E. E. (2009). Aceites esenciales. Uis-Cenivam.
- Terranova Editores. (2001). Enciclopedia agropecuaria Terranova (2da edición). <http://www.worldcat.org/oclc/689513803>
- Thongson, C., Davidson, P. M., Mahakarnchanakul, W. & Weiss, J. (2004, 16 de setiembre). Antimicrobial activity of ultrasound-assisted solvent-extracted spices. *Letters in Applied Microbiology*, 39(5), 401-406. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2004.01605.x>
- Weiss, E. A. (1997). Essential oil crops. Cab. International.
- Yáñez, R. X., Lugo, M. L. & Parada, P. D. (2007, 21 de febrero). Estudio del aceite esencial de la cáscara de la naranja dulce (*Citrus sinensis*, variedad Valenciana) cultivada en Labateca (Norte de Santander, Colombia). *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 5(1), 3-8. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90350101>

ANEXOS

ANEXO 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

“DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS ÓPTIMOS PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES DE SUBPRODUCTOS DEL JUGO DE NARANJA (<i>Citrus sinensis L.</i>) Y SU EFECTO CONSERVANTE EN PAPILLAS DE CEREALES”					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES		
			TIPO	DIMENSIÓN	INDICADOR
¿Cuáles son los parámetros óptimos de la relación materia prima - solvente y tiempo de extracción, para aceites esenciales de subproductos del jugo de naranja (<i>Citrus sinensis L.</i>) que permitan el mayor rendimiento y la máxima prolongación de la vida útil de una papilla de cereales?	Determinar los parámetros óptimos de la relación materia prima - solvente y tiempo de extracción, para aceites esenciales de subproductos del jugo de naranja (<i>Citrus sinensis L.</i>) que permitan el mayor rendimiento y la máxima prolongación de la vida útil de una papilla de cereales.	H₀ : Los parámetros óptimos del proceso de extracción de aceites esenciales están comprendidos dentro del rango de relación materia prima - solvente de 1:1,38 y 1:5,62, y tiempos de 31,72 a 88,28 min, caracterizando con ello la zona óptima del proceso para la extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (<i>Citrus sinensis L.</i>) que permita el mayor rendimiento del proceso y la máxima prolongación de la vida útil de una papilla de cereales.	VARIABLE INDEPENDIENTES	TIEMPO DE EXTRACCIÓN	31,72 min
					40 min
60 min					
80 min					
88,28 min					
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	H₁ : Los parámetros óptimos del proceso de extracción de aceites esenciales están comprendidos dentro del rango de relación materia prima - solvente de 1:1,38 y 1:5,62, y tiempo de 31,72 a 88,28 min, caracterizando con ello la zona óptima del proceso para la extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (<i>Citrus sinensis L.</i>) que permita el máximo rendimiento del mismo.		MATERIA PRIMA : SOLVENTE	1 g : 1,38 g
¿Cuál es el rango de los parámetros óptimos de la relación materia prima - solvente y tiempo de extracción, que maximicen el rendimiento del proceso de extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (<i>Citrus sinensis L.</i>)?	Valorar el rango de los parámetros óptimos de la relación materia prima - solvente y tiempo de extracción, que maximicen el rendimiento del proceso de extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (<i>Citrus sinensis L.</i>)		1 g : 2 g		
		1 g : 3,5 g			
			1 g : 5 g		
			1 g : 5,62 g		
¿Cuál es el rango de los parámetros óptimos de relación materia prima - solvente y tiempo de extracción, del aceite esencial obtenido a partir de subproductos del jugo de naranja (<i>Citrus sinensis L.</i>), que maximicen la vida útil de la papilla de cereales?	Definir el rango de los parámetros óptimos de la relación materia prima - solvente y tiempo de extracción, del aceite esencial obtenido a partir de subproductos del jugo de naranja (<i>Citrus sinensis L.</i>), que maximicen el efecto sobre la vida útil de la papilla de cereales.	H₂ : Los parámetros óptimos del proceso de extracción de aceites esenciales están comprendidos dentro del rango de relación materia prima - solvente de 1:1,38 y 1:5,62, y tiempo de 31,72 a 88,28 min, caracterizando con ello la zona óptima del proceso para la extracción de aceites esenciales a partir de subproductos del jugo de naranja (<i>Citrus sinensis L.</i>) que permita la máxima prolongación de la vida útil de una papilla de cereales.	VARIABLE DEPENDIENTE	RENDIMIENTO DE ACEITES ESENCIALES	g aceites esenciales g materia prima