



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y**  
**AMBIENTALES**  
**CARRERA DE AGROINDUSTRIAS**

**TÍTULO DEL PLAN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TEMA:**  
**DISEÑO DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN A ESCALA PILOTO DE**  
**ZUMO DE LIMÓN CONCENTRADOS Y NO CONCENTRADOS.**

**PLAN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PARA OBTENER EL**  
**TÍTULO DE INGENIERA EN AGROINDUSTRIAS**

**Línea de investigación: Gestión, producción, productividad, innovación y desarrollo**  
**socioeconómico.**

**AUTOR:**  
**LUIS DAVID CHALACÁN NARVÁEZ**

**DIRECTOR:**  
**ING. JUAN CARLOS DE LA VEGA QUINTERO MSc.**

**Ibarra-Ecuador**

**2026**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003984083		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Chalacán Narváez Luis David		
<b>DIRECCIÓN:</b>	San Isidro		
<b>EMAIL:</b>	ldchalacann@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	x	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0983981861

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	Diseño de línea de producción a escala piloto de zumo de limón concentrados y no concentrados.
<b>AUTOR (ES):</b>	Chalacán Narváez Luis David
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	06/03/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniería Agroindustrial
<b>DIRECTOR:</b>	Ing. Juan Carlos de la Vega Quintero MSc.

## **2. CONSTANCIAS**

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 06 días del mes de marzo de 2026

### **EL AUTOR:**

Chalacán Narváez Luis David  
C.I: 1003984083

## **CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO EN INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Ibarra, 06 de marzo del 2026

Ing. Juan Carlos de la Vega Quintero MSc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**  
**CERTIFICA:**

Haber revisado el informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normativas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f).....

Ing. Juan Carlos de la Vega Quintero MSc

## **APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR**

El Comité Calificador del trabajo de integración Curricular titulado “Diseño de línea de producción a escala piloto de zumo de limón concentrados y no concentrados.”, elaborado por Luis David Chalacán Narváez, como requisito previo a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial, aprueba el presente informe de investigación, en virtud de que cumple con los requisitos académicos y metodológicos establecidos, en representación de la Universidad Técnica del Norte.

(f).....

Ing. Juan Carlos de la Vega Quintero MSc.

C.I: 1002958856

(f).....

Dr.C Marco Lara Fiallos PhD.

C.I: 1717227761

## **AGRADECIMIENTO**

*Primero dar las gracias a Dios por siempre cuidarme y bendecirme con salud para poder culminar una etapa más de vida.*

*A mis padres y hermano por ser mi apoyo total en cada día de mi vida con su amor, cariño y consejos, son el pilar fundamental de cada paso en mi vida y mi mayor motivación.*

*A mi tutor por la paciencia y su gran profesionalismo para sacar adelante este trabajo ya que sin el nada de esto sería posible.*

*A mis amigos que siempre estuvieron apoyándome en el día a día en la universidad en especial a Robert, Waleska y Nicol.*

*Agradezco a la vida por rodearme de personas maravillosas y permitirme crecer en mi vida profesional.*

## ***DEDICATORIA***

*Toda la gloria siempre sea para Dios.*

*A mi padre por su ejemplo de perseverancia y templanza, a mi madre por la demostración mas grande de amor y dedicación por lo que uno hace y a mi hermano por ser ese apoyo día a día en lo que me propongo.*

## INDICE

CAPITULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 Problema .....	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Objetivos .....	3
1.4.1 Objetivo General: .....	3
1.4.2 Objetivos Específicos: .....	3
1.5 Preguntas de investigación. ....	4
CAPITULO II .....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Línea de Producción .....	5
2.1.1 Antecedentes e historia .....	5
2.1.2 Características de Línea de Producción .....	5
2.1.3 Tipos de Línea de Producción .....	6
<b>2.1.4 Línea Productiva en el mercado de las bebidas</b> .....	6
2.2 El Zumo de limón no concentrado y concentrado.....	6
2.2.1 Valor nutricional.....	7
2.2.2 El zumo de limón concentrado .....	8
2.2.2.1 Aplicaciones del zumo concentrado de limón en la industria. ....	8
2.3 Citrus x Meyeri.....	9
2.3.1 Propiedades fisicoquímicas del “Citrus x Meyeri” .....	9
2.3.2 Propiedades físicas del Limón Meyer .....	9
2.3.3 Propiedades químicas del Limón Meyer.....	10
2.4 Tecnología para producir zumo de limón concentrado y no concentrado .....	11
2.4.1 Tecnología para producir Zumo de Limón No Concentrado (ZLNC).....	12
2.4.2 Tecnología para producir zumo de limón concentrado (ZLC) .....	14
2.5 Nuevas tecnologías para la producción de zumo de limón concentrado y no concentrado	14
2.5.1 Tecnología actualizada de Línea de Producción de zumo.....	14
2.5.2 Tecnologías para la innovación de la calidad del zumo (HPP) .....	15
2.6 Desarrollo de tecnología básica para la producción de zumo de limón concentrado y no concentrado .....	16
2.6.1 Localización de planta .....	17
2.6.2 LAYOUT .....	17

CAPITULO III.....	18
3.1 Descripción de la investigación .....	18
3.1.1 Enfoque .....	18
3.1.2 Diseño de la investigación .....	18
3.1.3 Materiales y equipos .....	19
3.2 Métodos, técnicas e instrumentos. ....	19
3.2.1 Identificación de las propiedades fisicoquímicas del limón. ....	20
3.2.2 Análisis de la tecnología adecuada para el procesamiento de zumos de cítricos concentrados y no concentrados en una línea de producción .....	22
3.2.3 Criterios de evaluación: .....	24
3.2.4 Desarrollo de la ingeniería básica para la línea de producción de concentrados y no concentrados de limón.....	26
3.2.4.2 Determinación del flujo másico .....	28
3.2.5 Macro localización. ....	29
3.2.6 Micro localización .....	30
3.2.7 Evaluación de alternativas .....	31
3.2.8 Criterios de Evaluación.....	32
3.2.9 Diagrama de flujo del proceso .....	33
3.2.9.1 Distribución de la planta .....	33
3.2.9.2 Determinación del área mediante el método Guerchet.....	34
CAPITULO IV.....	35
RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	35
4.1 Análisis de las propiedades fisicoquímicas del limón "Citrus x Meyeri " .....	35
4.2 Análisis de tecnologías para la extracción y concentración de zumo de limón. ....	37
4.2.1 Análisis de tecnologías de extracción de zumo de cítricos.....	37
4.2.2 Análisis de tecnologías de concentración de zumo de limón .....	41
4.3 Desarrollo de la ingeniería básica para la línea de producción de concentrados y no concentrados de limón.....	44
4.3.1 Determinación del tamaño de muestra para el estudio de mercado .....	44
4.3.2 Determinación del flujo volumétrico de producción .....	45
4.3.3 Estimación de la demanda potencial de zumo de limón.....	46
4.3.4 Localización de planta .....	48
4.3.5 Macro localización de la planta .....	48
4.3.6 Micro localización de la planta .....	51
4.3.7 Diagrama de flujo del proceso .....	53
4.3.8 Balance de Materia .....	55
4.3.9 Diagrama de balance de materia .....	61

4.3.10	Determinación del flujo másico del proceso .....	63
4.3.11	Selección de equipos de la línea de producción .....	66
4.3.12	Distribución de la planta .....	68
CAPITULO V .....		71
CONCLUSIONES .....		71
RECOMENDACIONES .....		72
Referencias.....		73
ANEXOS .....		75
Anexo 1.....		75
Anexo 2 Informe de Compilatio .....		76

#### Índice de figuras

Figura 1:Limón Meyer .....	9
Figura 2:Línea de Producción de ZLNC .....	12
Figura 3:Línea de Producción de ZLC .....	14
Figura 4: Nuevas tecnologías en el procesamiento de cítricos.....	15
Figura 5:Tabla de color del limón. ....	20
Figura 6:Representación gráfica de la macro localización mediante el método del centro de gravedad para la planta piloto de producción de zumo de limón.....	51
Figura 7:Diagrama de balance de materia del proceso de producción de zumo de limón concentrado y no concentrado. ....	54
Figura 8:Diagrama de balance de materia del proceso de producción de zumo de limón concentrado y no concentrado. ....	62
Figura 9:Distribución general de la planta piloto para la producción de zumo de limón concentrado y no concentrado .....	70

## Índice de tablas

Tabla 1: .....	7
Tabla 2: .....	8
Tabla 3: .....	10
Tabla 4: .....	10
Tabla 5: .....	12
Tabla 6: .....	19
Tabla 7: .....	20
Tabla 8: .....	24
Tabla 9: .....	31
Tabla 10: .....	35
Tabla 11: .....	37
Tabla 12: .....	39
Tabla 13: .....	41
Tabla 14: .....	43
Tabla 15: .....	49
Tabla 16: .....	52
Tabla 17: .....	56
Tabla 18: .....	56
Tabla 19: .....	57
Tabla 20: .....	58
Tabla 21: .....	58
Tabla 22: .....	59
Tabla 23: .....	60
Tabla 24: .....	64
Tabla 25: .....	66
Tabla 26: .....	68

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar una línea de producción a escala piloto para la obtención de zumo de limón (*Citrus × meyeri*) en presentaciones concentradas y no concentradas en la ciudad de Ibarra, provincia de Imbabura. La investigación surge ante la limitada industrialización del limón en Ecuador, situación que genera desperdicio de materia prima, baja rentabilidad para los productores y escaso valor agregado dentro de la cadena productiva. La metodología empleada correspondió a un estudio exploratorio–descriptivo de carácter aplicado, desarrollado bajo un enfoque mixto. Se realizó la caracterización fisicoquímica de la materia prima mediante análisis de sólidos solubles, pH, acidez titulable y densidad del jugo. Posteriormente se evaluaron diferentes tecnologías de extracción y concentración mediante matrices de selección tecnológica basadas en criterios técnicos y económicos. Finalmente, se desarrolló la ingeniería básica del proceso, incluyendo balance de materia, determinación de flujos de producción, selección de equipos, localización de planta y diseño de la distribución en planta. Los resultados obtenidos indican que el limón Meyer presenta propiedades adecuadas para su procesamiento industrial, con valores promedio de 7,23 °Brix, pH de 2,35 y acidez de 4,49 g/100 g. La evaluación tecnológica determinó que el extractor tipo reamer y la evaporación al vacío constituyen las alternativas más adecuadas para una planta piloto debido a su eficiencia, costo moderado y facilidad de operación. Asimismo, el balance de materia estableció que a partir de 100 kg de fruta se obtienen aproximadamente 20,73 kg de zumo no concentrado y 3,22 kg de concentrado. El diseño de planta propuesto requiere una superficie aproximada de 70 m<sup>2</sup> y una capacidad operativa de 20 L/h.

Se concluye que el diseño de la línea de producción es técnicamente viable y representa una alternativa para impulsar la industrialización del limón en la provincia de Imbabura, contribuyendo a la generación de valor agregado, la reducción de pérdidas de materia prima y el fortalecimiento de la cadena agroindustrial del limón.

Palabras clave: zumo de limón, planta piloto, concentración de jugos, evaporación al vacío, diseño de procesos agroindustriales.

## ABSTRACT

This project designs a pilot plant to produce concentrated and regular lemon juice (*Citrus × meyeri*). The facility will be located in Ibarra, Imbabura, Ecuador. Currently, Ecuador does not industrialize lemons very much. Because of this, farmers lose a lot of fruit after harvest, make little money, and add almost no value to their crops. This project tries to solve that problem.

The methodology included both descriptive and applied research. First, we tested the fresh lemons in a lab to measure soluble solids, pH, acidity, and density. Then, we compared different machines to extract and concentrate the juice. We used a selection matrix to pick the best options based on price and technical features. Finally, we did the basic engineering work. This meant calculating the mass balance, finding a good location, selecting the equipment, and drawing the plant layout.

The lab tests showed that Meyer lemons are great for making juice. They have an average of 7.23 °Brix, a pH of 2.35, and 4.49 g/100 g of citric acid. For the equipment, a reamer-type extractor and a vacuum evaporator were the best choices. They work efficiently, are affordable, and fit perfectly in a small pilot plant. According to the mass balance, 100 kg of lemons produce about 20.73 kg of pasteurized juice and 3.22 kg of concentrated juice. Overall, the plant needs about 70 m<sup>2</sup> of space and will process 20 liters per hour.

In conclusion, building this production line is technically possible. It is a practical way to industrialize lemons in the Imbabura area. This project will help add value to the fruit, reduce food waste, and support local farming businesses.

Keywords: lemon juice, pilot plant, juice concentration, vacuum evaporation, agroindustrial process design.



## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

Según la FAO, Ecuador en el 2010 y 2011, logró producir 115,2 y 100,6 mil toneladas métricas de cítrico. Datos del Banco Central del Ecuador, señalan que, entre limón Tahití, sutil, y lima se exporto 6.622 toneladas métricas y a diferentes partes del mundo (Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones, 2013).

Según Bernal (2019), tras el auge que ha cobrado el interés por los denominados alimentos funcionales, frutas como el limón han sido revalorizadas por constituir matrices alimenticias con contenido de micronutrientes, antioxidantes y fibra con un potencial para el desarrollo de este tipo de alimentos. Sin embargo, en la actualidad los procesos más utilizados para la conservación y comercialización de frutas son la congelación, deshidratación, métodos químicos por adición de sustancias conservantes, enlatados, jugos, néctares, mermeladas y jaleas.

Según Sindhu (2018), el método de conservación de los jugos no concentrados de limón que menos afectaciones químicas y organolépticas tuvo es pasteurizar el jugo y mantenerlo en refrigeración, lo cual ayudó a que el jugo de limón pueda ser almacenado 90 días y a temperatura ambiente durante una semana.

Según Berk (2016), la evaporación es el método líder de eliminación de agua en la industria de los cítricos. La evaporación de jugos de cítricos plantea una serie de problemas específicos como daño térmico a la calidad, pérdida de aroma volátil y aumento de la viscosidad. El daño térmico se minimiza evaporando al vacío. La pérdida de aroma se compensa reduciendo con jugo fresco o con esencia recuperada de los vapores.

Las plantas piloto a menudo equilibran la verificación de tecnologías por un lado y la creación de un primer mercado comercial por el otro. Por lo tanto, las actividades de desarrollo que se llevan a cabo en las plantas piloto y en torno a ellas abordan no solo los desafíos puramente técnicos, sino que también reducen los riesgos e incertidumbres organizacionales, de mercado e institucionales que enfrentan los actores clave en el avance de nuevas tecnologías (Hendry et al., 2010).

## **1.2 Problema**

En Ecuador, la producción de limón alcanza las 28 107 toneladas anuales, según datos del INEN (2023). A pesar de esto, no hay una industria que transforme esta materia prima para darle mayor valor agregado. Actualmente no se conoce en el país una planta dedicada a procesar el limón. Esto ocurre por la falta de tecnología y el desconocimiento técnico sobre cómo aprovechar mejor la fruta. Gran parte de la producción solo se destina al consumo en fresco, lo que genera bastantes desperdicios, sobre todo cuando baja la demanda.

En Imbabura se produce el 6% del total nacional, es decir, 1 568 toneladas en 2023.

Aquí se nota el impacto de una cadena de valor poco desarrollada. Los productores de limón tienen problemas económicos por culpa de los intermediarios, que reducen sus ganancias al no pagar un precio justo. Además, como el limón fresco dura poco y la demanda varía dependiendo la época del año, se pierden cosechas y bajan los ingresos del sector.

No contar con tecnologías para alargar la vida útil del limón, como extraer y concentrar el zumo, es una oportunidad perdida en nuestro medio como es Imbabura. Esto afecta a los productores y a los consumidores, que terminan pagando precios altos cuando hay escasez de limón. Por este motivo, diseñar una línea de producción a escala piloto para obtener zumo de limón concentrado y no concentrado en Ibarra se presenta como una solución. El proyecto busca reducir los desperdicios, dar valor agregado al producto y ayudar a mejorar la economía de los productores del limón así mismo como a los consumidores .

## **1.3 Justificación**

Según el Ministerio de Comercio Exterior e Inversiones (COMEX), entre 2019 y 2021 Ecuador importó unos 19,8 millones de dólares en bebidas y jugos de frutas. Esto demuestra que existe una gran oportunidad para industrializar el limón tanto a nivel nacional como en la provincia de Imbabura. Se puede extraer el zumo de limón y concentrarlo para la industria, usando procesos industriales.

En ese mismo periodo, el país exportó cerca de 30 millones de dólares en jugos. A pesar de

esto, los concentrados de limón no están en esa lista de exportaciones. El motivo es que este cítrico casi no se industrializa a nivel local. Para poder entrar a los mercados internacionales, el producto necesita durar más tiempo. Solo así se asegura su almacenamiento, transporte y venta comercial.

Por eso, diseñar una planta piloto para hacer zumo de limón y concentrado es una opción muy práctica. De este modo se logra alargar la vida útil del jugo. El proyecto también daría mayor estabilidad económica a los productores, sobre todo cuando baja la demanda y caen los precios de la fruta. Al mismo tiempo, el consumidor final podría comprar zumo natural a un precio estable todo el año, sin importar la temporada de año en la que se encuentre.

Dicho esto, el diseño de esta planta busca procesar el limón y alargar la vida útil del limón. Esto ayuda a cubrir las necesidades del mercado de Imbabura y crea productos que luego se pueden distribuir a más lugares del país. Además, la propuesta motiva a los productores de limón a sembrar más limón en la zona, genera fuentes de trabajo y fomenta el uso de tecnologías para conservar el zumo.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo General:***

- Diseñar una línea de producción a escala piloto de zumo de limón concentrados y no concentrados.

### ***1.4.2 Objetivos Específicos:***

- Identificar las propiedades fisicoquímicas del limón Meyer para el proceso de zumos concentrados y no concentrados.
- Analizar la tecnología adecuada para el procesamiento de zumos de cítricos concentrados y no concentrados en una línea de producción.
- Desarrollar la ingeniería básica para la línea de producción de zumos concentrados y no concentrados de cítricos.

### **1.5 Preguntas de investigación.**

- ¿Cuál es la tecnología adecuada para la producción de zumos de cítricos en la zona de Imbabura?
- ¿Cuál es el mejor método de concentración de cítricos considerando las limitaciones y restricciones de la zona de Imbabura?

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Línea de Producción**

Dentro del marco administrativo y de producción, la línea de producción es un organismo que se establece con el fin de, a partir de materia prima, crear productos elaborados (Schroeder, 1992, pág. 56). Su historia es reciente, si se aplica este concepto en estricto régimen, aunque no todos los autores están de acuerdo al respecto.

##### ***2.1.1 Antecedentes e historia***

En realidad, la línea de producción en la historia de la administración se origina en el siglo XVIII en plena revolución industrial. Sin embargo, fue a partir de principios del siglo XX donde se formalizó con el montaje de la primera línea de ensamblaje de la famosa compañía automotriz Ford Motor Company (Villalobos, Chamorro, & Fontálvo, 2002, pág. 17). Tras este hecho, la administración se hizo científica con el aporte del ingeniero estadounidense Fredrick Taylor, precursor de la Administración Científica. En lo posterior se hicieron avances como el de la fábrica Toyota con su sistema “Just in Time” (JIT) con el que se hizo más eficiente la producción, a mediados del siglo XX. Desde ese entonces, cada vez más se refinaron los sistemas productivos hasta lograr la automatización computarizada que se usa actualmente (Schroeder, 1992, pág. 35).

##### ***2.1.2 Características de Línea de Producción***

La Administración Científica se ha encargado de estructurar y hacer metódica la producción. Así es como nace la caracterización de la línea productiva, con sus diversos estadios o estaciones. Entre estas se encuentran como primera etapa (Noori & Radford, 1997) “Input” de Materias Primas que es el paso productivo en el que la materia bruta de la producción es entregada e ingresada. Seguidas se encuentran las etapas de “Workstations” que son fases o hitos claves en el proceso productivo donde se realizan tareas fundamentales para la consecución del producto final. Posteriormente se presenta la circulación productiva que es el movimiento que tiene la materia no terminada en la cadena productiva, mediante el uso de fuerza humana, cintas transportadoras, rieles u otros artilugios. Casi al final se encuentra

“Quality Control” que es una de las estaciones fundamentales en el proceso productivo. Este es el que determina la calidad del producto y de la producción, evitando cada vez más los fallos del sistema. Por último, la producción final que es la fase en la que el producto está terminado y aprobado por el control de calidad.

### ***2.1.3 Tipos de Línea de Producción***

En la actualidad, los tipos de Línea de Producción se pueden dividir en tres: 1, los manuales, donde predomina la fuerza del hombre; 2, los semiautomáticos, donde se hace uso de máquinas y la fuerza humana; y 3, los automáticos en los que su producción es computarizada, como en la producción de “chips”, por ejemplo.

### ***2.1.4 Línea Productiva en el mercado de las bebidas***

La producción en el mercado de las bebidas es extenso y variado, según su complejidad. Cada tipo de producto requiere una diferente línea productiva. La clasificación de estas es la siguiente (Federación Española de Industrias de Alimentación y Bebidas, 2019): bebidas alcohólicas, cervezas, bebidas gasificadas, bebidas vinícolas, bebidas sidras y zumos. Dentro de estos, la producción que le interesa al presente estudio es el de sidra y zumo.

## **2.2 El Zumo de limón no concentrado y concentrado**

Para (Llorente, 2015, pág. 30), el zumo de limón es una bebida que se obtiene del proceso mecánico de la extracción del jugo de limón; el zumo se obtiene del endocarpio de la fruta. Su sabor es cítrico, es decir, de sabor ácido y con porcentajes altos de Vitamina C. Esta definición es aplicable al zumo no concentrado.

### 2.2.1 Valor nutricional

A modo general, el valor nutricional del zumo de limón, por cada 100 gramos del mismo, es el siguiente, como lo demuestra la **Tabla 1**.

*Tabla 1:*

*Valor nutricional del zumo de limón.*

Rubro	Unidad	Cantidad
Energía	(kcal)	22
Proteínas	(g)	0,4
Hidratos de carbono	(g)	7
Fibra alimentaria	(g)	0,3
Ácidos grasos trans	(g)	0
Grasas Totales	(g)	0,2
Potasio	(mg)	103
Colesterol	(mg)	0
Vitamina C	(mg)	37,8
Hierro	(mg)	0,1
Vitamina B6	(mg)	0
Vitamina B12	(µg)	0
Magnesio	(mg)	6
Calcio	(mg)	6
Vitamina D	UI	0

**Fuente:** (Fundación Española de la Nutrición, 2012)

**Elaborado por:** Elaboración personal.

### 2.2.2 *El zumo de limón concentrado*

El Zumo de limón concentrado (así también llamado Aceite esencial de limón), según (Llorente, 2015, pág. 71) se realiza a partir del zumo no concentrado. A este último se le elimina la mayor parte porcentual de agua contenida, a través de diversos procesos como la evaporación o centrifugación, logrando un líquido pesado y condensado en cuanto sus azúcares y aromas naturales, conservando sus nutrientes.

Existen varios métodos de separación, uno de ellos es el de la centrifugación, mediante el uso de una extractora, donde se forma una emulsión con el agua del aceite durante la extracción, separándose así la parte más densa (Llorente, 2015, pág. 72).

#### 2.2.2.1 *Aplicaciones del zumo concentrado de limón en la industria.*

Las aplicaciones del zumo concentrado de limón son múltiples y variadas, lo que evidencia su valor alimenticio y nutricional. Entre otras aplicaciones se tienen las siguientes, las cuales se presentan en la **Tabla 2**.

*Tabla 2:*

*Aplicaciones del zumo concentrado de limón*

Aplicaciones	
Industria	
Industria alimenticia	<ul style="list-style-type: none"><li>• Emulsionante de lácteos;</li><li>• Aromatizante crítico en el sector de la panadería y pastelería;</li><li>• Saborizante cárnico;</li><li>• Como catalizador de pH de fermentos;</li></ul>
Industria farmacéutica	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fabricación de vitamina C, en sus distintas presentaciones comerciales;</li></ul>
Industria química	<ul style="list-style-type: none"><li>• Como parte fundamental de productos de limpieza, como principio para desengrasantes.</li></ul>
Industria cosmética	<ul style="list-style-type: none"><li>• Elaboración de productos de limpieza para la piel y equilibrio del pH;</li><li>• Conservante de productos de cuidado personal;</li><li>• Ayuda a eliminar el crecimiento bacteriano.</li></ul>

Fuente: (Julian Soler, 2024)

Elaborado por: Elaboración propia.

### **2.3 Citrus x Meyeri**

Para el Sistema Integrado de Consulta de Clasificaciones y Nomenclaturas (SIN) del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) (Ecuador en Cifras, 2012), el *Citrus x Meyeri* es el tipo de limón que se le conoce como Limón Meyer. Es un tipo de fruto de limonero redondo y de matiz amarillo. Su piel es fragante y fina. Su sabor es ácido, pero no tanto como el de otras especies. La pulpa es blanquecina, con ligeros tonos amarillentos. El árbol que lo alimenta es relativamente pequeño, llegando a medir entre 2 a 3 metros; las hojas son de un verdor brillante, pero oscuro; las flores, por otra parte, son blancas con base granate y perfumado. Así lo demuestra la siguiente figura:



*Figura 1: Limón Meyer*

**Nota:** Tomado de la página WEB (Istockphoto, 2025).

#### ***2.3.1 Propiedades fisicoquímicas del “Citrus x Meyeri”***

El “*Citrus x Meyeri*” o Limón Meyer es una fruta híbrida originaria del Lejano Oriente, más específicamente en lo que hoy es China. Se considera que es una hibridación entre el limón y una especie de mandarina y pomelo. Su nombre lo obtiene debido a un funcionario del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Frank Meyer, quién lo introdujo al territorio norteamericano a principios del siglo XX; la adaptabilidad de este a climas templados y variados relieves lo convirtió en un cultivo muy productivo (Berdonces, 1998, pág. 165).

#### ***2.3.2 Propiedades físicas del Limón Meyer***

Según el estudio de tesis para la obtención del título de licenciatura de (Medina, 2007), las características físicas del limón meyer se las puede analizar desde tres etapas: 1, en su etapa

de verdor; 2, en su etapa de pintón; y, 3, en su etapa de maduras. Por motivos prácticos, no se consideran las dos primeras etapas y se observan sólo las características del limón en su tercera etapa de desarrollo. Siendo así, estas son, como la demuestra la **Tabla 3**.

*Tabla 3:*

*Características físicas del limón meyer.*

<i>Nro.</i>	<i>Variable</i>	<i>Detalle</i>	<i>Unidades</i>	<i>Límite máximo</i>	<i>Límite mínimo</i>	<i>Promedio</i>
1	Tamaño	Diámetro transversal	(mm)	61,18	59,69	60,44
2	Peso	Por unidad	(g)	123,1	117,17	120,14
3	Volumen	Masa	( $cm^3$ )	130,98	125,02	128,00
4	Densidad	Centímetro cúbico	( $kg/m^3$ )	0,94	0,93	0,94
5	Área	Superficie	( $cm^2$ )	117,66	114,25	115,96
6	Cáscara	En porcentaje	(%)	18,91	18,58	18,75
7	Pulpa	En porcentaje	(%)	40,14	38,78	39,46
8	Jugo	En porcentaje	(%)	39,79	39,17	39,48
9	Semilla	En porcentaje	(%)	2,46	2,17	2,32
10	Textura	Resistencia a penetración	( $kg/cm^2$ )	46,42	45,4	45,91

Fuente: (Medina, 2007)

Elaborado por: Elaboración propia.

### **2.3.3 Propiedades químicas del Limón Meyer**

De igual manera, al igual que las propiedades físicas, (Medina, 2007) realiza un estudio minucioso del Limón Meyer en el aspecto químico. Así lo demuestra la **Tabla 4**.

*Tabla 4:*

*Características químicas del Limón Meyer.*

<i>Nro.</i>	<i>Variable</i>	<i>Detalle</i>	<i>Unidades</i>	<i>Límite máximo</i>	<i>Límite mínimo</i>	<i>Promedio</i>
1	Sólidos	Contenido soluble	°Brix	8,52	7,87	8,20
2	Hidrógeno	Potencial	pH	2,38	2,28	2,33
3	Acidez	Contenido de ácido cítrico	g/100g	2,48	2,38	2,43
4	Humedad	En porcentaje	%	91,12	90,12	90,62
5	Materia seca	En porcentaje	%	9,88	8,88	9,38
6	Proteína	En porcentaje	%	0,58	0,54	0,56
7	Fibra	En porcentaje	%	0,74	0,71	0,73

8	Materia orgánica	En porcentaje	%	99,82	99,7	99,76
9	Ceniza	En porcentaje	%	0,3	0,18	0,24
10	Calcio (Ca)	En porcentaje	%	0,64	0,61	0,63
11	Fósforo (P)	En porcentaje	%	0,19	0,16	0,18
12	Magnesio (Mg)	En porcentaje	%	0,43	0,41	0,42
13	Vitamina C	Ácido ascórbico	mg/100g	24,43	24,16	24,30
14	Refracción	Índice		1,346	1,345	1,35
15	Azúcares	En porcentaje	%	2,5	2,41	2,46

Fuente: (Medina, 2007)

Elaborado por: Elaboración propia.

## **2.4 Tecnología para producir zumo de limón concentrado y no concentrado**

La tecnología de fabricación de zumo de limón puede ser un proceso tan simple como exprimir la fruta y obtener el líquido, como también es un proceso que implica tecnificación, sobre todo cuando será ofrecido en el mercado. Por esta razón es que, el proceso para la obtención de zumo de limón, como cualquier otro alimento, está regulado tanto por organismos nacionales. Internacionalmente, el supervisor es el Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2025). En el Ecuador, por otro lado, está bajo el régimen del Reglamento de Alimentos (Control Sanitario, 2001), normalizado por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), y supervisado y vigilado por la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA). De esta forma es como se establecen los criterios para su procesamiento y que necesariamente deben estar implícitos en la tecnología de producción; esta normativa es: la Norma ISO 9000 de Gestión de Calidad; la Norma ISO 22000 de Seguridad Alimentaria; y la Norma ISO 14000 de Gestión medioambiental.

Aunque la producción del zumo no concentrado como el concentrado es distinta, sus diferentes tecnologías deben cumplir estas normas para que su producción sea legal e higiénicamente viable.

### 2.4.1 Tecnología para producir Zumo de Limón No Concentrado (ZLNC)

La tecnología de producción del ZLNC no es compleja y puede realizarse de manera manual. No obstante, para su producción comercial y a mayor escala se requiere una línea de producción semiautomática, cuyas estaciones de trabajo (workstations) son relativamente simples. La estructura general de esta línea de producción se presenta en la **Figura 2**.



Figura 2: Línea de Producción de ZLNC

**Fuente:** (Johnson, 2001, pág. 80)

**Elaborado por:** Elaboración propia.

Al tratarse de un proceso productivo semiautomático, se emplea maquinaria que permite optimizar las diferentes etapas de elaboración del producto. De esta manera, cada estación de trabajo comprende las siguientes fases del proceso (**Tabla 5**) (Johnson, 2001):

Tabla 5:

Línea de Producción de ZLNC

Nro.	Estación de trabajo	Detalle	Maquinaria (EDIBON, 2025).
1	Recepción	En este proceso se utiliza una cinta transportadora que le permite ingresar a la fruta a la Línea Productiva;	Máquina con banda transportadora
2	Lavado	Posteriormente se agrega una Estación de Trabajo donde se lava la fruta con la ayuda de aspersores y	<b>WMFV. Máquina Lavadora de Frutas y Verduras</b>

		cepillos, limpiando de cualquier residuo no deseado a la fruta;	
3	Selección	Este proceso puede ser realizado de modo manual, aunque una máquina puede discriminar la fruta por su tamaño, clasificando las más aptas para ser procesadas y desechar las que no cumplan con el diámetro adecuado;	Seleccionadora de frutas por peso y diámetro
4	Extracción	Con el uso de una máquina exprimidora automática, la fruta, previamente seleccionada, ingresa a ser exprimida de modo que se puedan obtener dos residuos: el zumo y el bagazo. El zumo es lo que sigue al siguiente Estación de Trabajo, mientras que el bagazo se lo desecha; aunque, de este último, puede ser aprovechado para convertirlo en abono orgánico;	<b>HPLE. Prensa Hidráulica para Extracción de Productos Líquidos.</b>
5	Pasteurización	El proceso de pasteurización puede realizarse mediante tres métodos principales: el tipo HTST (High Temperature Short Time), en el cual la temperatura se eleva por encima de 70 °C durante un corto periodo de tiempo; el tipo UHT (Ultra High Temperature), donde la temperatura supera los 135 °C por un breve intervalo y posteriormente el producto es enfriado; y el tipo VAT (pasteurización en cuba), en el que la temperatura se mantiene alrededor de 63 °C durante aproximadamente 30 minutos (Pupiales, 2021);	<b>A UHT/CTS. Equipo de A UHT.</b>
6	Envasado	El producto concentrado es envasado en recipientes adecuados para su almacenamiento y comercialización.	<b>EDLC. Equipo Didáctico de Embotellado de Líquidos. EDMT. Máquina Taponadora para Productos Líquidos Agroalimentarios</b>

---

**Fuente:** (Johnson, 2001), (EDIBON, 2025), (Pupiales, 2021).

**Elaborado por:** Elaboración Propia.

### **2.4.2 Tecnología para producir zumo de limón concentrado (ZLC)**

La tecnología para la producción de ZLC es, en su inicio, similar al proceso seguido en el que se obtiene ZLNC. El proceso varía después de la pasteurización del líquido y se agregan dos Estaciones de Trabajo adicionales: el filtrado y la concentración.

*Figura 3: Línea de Producción de ZLC*



**Fuente:** (Johnson, 2001, pág. 89)

## **2.5 Nuevas tecnologías para la producción de zumo de limón concentrado y no concentrado**

Las nuevas tecnologías de la producción de zumo se pueden dividir en dos: la tecnología que innova la Línea de Proceso y la tecnología que innova en cuanto a la calidad y conservación del producto.

### **2.5.1 Tecnología actualizada de Línea de Producción de zumo**

Las nuevas tecnologías en el procesamiento de alimentos, en este caso de cítricos, se concentran en las empresas que, durante años de experiencia, se han posicionado en el mercado mundial como líderes en su segmento. Empresas como la americana JBT Corporation, la empresa turca HAUS Centrifuge Technologies o la sueca Alfa Laval AB son las que están a la vanguardia de las nuevas tecnologías para la producción alimentaria. Su ingeniería ha mostrado nuevos paradigmas de producción, siempre enfocándose en la sintetización de procesos, con el objetivo de hacerlos más eficientes y eficaces.

En la actualidad, en cuanto a la producción alimentaria, en el sector de procesamiento de cítricos, se han concentrado en unificar los procesos productivos y no discriminar entre los

procesos destinados al procesamiento de concentrados o no concentrados. Estos, más bien, se han enfocado en hacer que en una misma Línea de Producción se pueda producir zumo no concentrado y concentrado, como lo demuestra la siguiente gráfica:

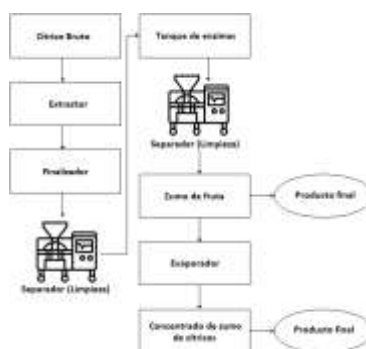


Figura 4: Nuevas tecnologías en el procesamiento de cítricos

**Fuente:** (HAUSWORLD, 2025).

**Elaborado por:** Elaboración propia.

Tras estos nuevos formatos de producción, es pertinente disponer de nuevos paradigmas para el diseño e ingeniería de Líneas de Producción innovadoras.

### 2.5.2 Tecnologías para la innovación de la calidad del zumo (HPP)

Dentro del esquema de las nuevas tecnologías para el procesamiento de zumos, y bebidas en general, destaca la denominada HPP (High Pressure Processing, por sus siglas en inglés), traducida como: conservación de alimentos y bebidas utilizando alta presión hidrostática. Esta radica en aplicar a las bebidas, o alimentos, ya envasados a presiones comprendidas entre 4000 o 6000 bares, durante segundos o minutos, dependiendo del tipo de alimento; la presión se hace hídricamente, inactivando virus, bacterias o posibles parásitos presentes. De esta forma se asegura la integridad y pulcritud del producto, además de alargar su periodo comestible, manteniendo sus características nutricionales y propiedades sensoriales (Ministerio de Economía de la República de Argentina, 2021, pág. 4).

## **2.6 Desarrollo de tecnología básica para la producción de zumo de limón concentrado y no concentrado**

Las tecnologías para el procesamiento de zumos se han estancado en los métodos tradicionales desde tiempos inmemoriales. Sin embargo, con el avance de la ciencia, especialmente de la informática, se crean y desarrollan métodos para el procesamiento de zumos, como el zumo de limón, sobre todo en zonas tan distantes como Tailandia o la India. De esta forma es como los “Workstations” han evolucionado con nueva tecnología:

*Estación de trabajo: Extracción.*- Así, desde la extracción del zumo se ha desarrollado nueva tecnología como la que manifiesta (Khaksar, Assatarakul, & Sirikantaramas, 2019) – en su artículo científico “Efecto del prensado en frío y del jugo centrífugo normal sobre los atributos de calidad de los jugos frescos: ¿Los jugos prensados en frío poseen una calidad nutricional y una capacidad antioxidante superiores?” – en la que se aplica frío y fuerzas centrífugas para extraer el zumo, manteniendo todas sus nutrientes y propiedades.

*Estación de trabajo: Filtración.*- De igual manera, los científicos tailandeses de la universidad de Bangkok (Bhattacharjee, Saxena, & Dutta, 2017), descubrieron un método novedoso en el que el zumo se micro filtraba, mejorando la calidad y claror del producto, reduciendo la intervención humana.

*Estación de trabajo: Concentración.*- Esta estación de trabajo se ha innovado en el proceso de concentración con la evaporación del zumo – o deshidratación – al vacío. Como lo explican (Carchi, Gonzaga, & Bravo, 2024) este proceso reduce el volumen, manteniendo los sabores que se volatizan.

Pero más allá de las nuevas tecnologías aplicadas en las estaciones de trabajo, en el procesamiento de zumo, es la incorporación de la informática y computación. Como lo menciona (Chafra & Ávila, 2024), el Software de Tecnología Integrada – o Totally Integrated Automation Portal (TIA) – que se aplica a los sistemas Siemens – como el Interface Hombre-Máquina (HMI) – automatiza los procesos haciendo más eficiente la interacción entre el operario y la maquinaria encargada del procesamiento del producto.

### ***2.6.1 Localización de planta***

Según (Santos, 2001), la ubicación de las plantas agroindustriales constituye una de las decisiones más importantes dentro de un proyecto de inversión. Para determinar la localización adecuada de una planta es necesario aplicar métodos de análisis cuantitativos y cualitativos que permitan evaluar distintos factores sociales, económicos y logísticos presentes en las posibles ubicaciones.

Estos métodos permiten comparar alternativas de localización y seleccionar aquella que mejor se adapte a los requerimientos técnicos, productivos y económicos del proyecto agroindustrial.

### ***2.6.2 LAYOUT***

De acuerdo con (Ranjeet Handibag, 2021), en el contexto de la economía actual las plantas de procesamiento deben diseñarse de manera que puedan operar eficientemente y adaptarse a las distintas condiciones del mercado. En este sentido, la eficiencia en la organización de los espacios productivos se convierte en un factor clave para mejorar el rendimiento de los procesos.

Una de las metodologías utilizadas para el diseño de la distribución de planta es el sistema SLP (Systematic Layout Planning o Planificación Sistemática de la Distribución), el cual permite organizar de manera lógica las áreas de trabajo y los flujos de producción, contribuyendo a mejorar la eficiencia productiva, reducir costos operativos y optimizar los tiempos de procesamiento.

Aplicar estas herramientas tecnológicas y metodológicas solo funciona si la administración logra integrar bien todos los factores del sistema productivo. Si falta coordinación entre las partes del proceso, ocurren desajustes que bajan la eficiencia. Por eso, es clave organizar correctamente la producción para poder cumplir las metas de la empresa.

## CAPITULO III

### 3.1 Descripción de la investigación

La presente investigación se orienta al diseño de una línea de producción a escala piloto de zumo de limón concentrado y no concentrado, utilizando como materia prima el limón (*Citrus × meyeri*).

Para el desarrollo del estudio se realizó, en primer lugar, el análisis de las propiedades fisicoquímicas del limón, con el objetivo de determinar las condiciones iniciales de procesamiento de la materia prima. Luego, se revisaron varias tecnologías que usa la industria de cítricos. Esto sirvió para escoger las mejores opciones al diseñar la línea de producción. La investigación también abarcó un análisis de mercado y la selección de los equipos. Se hizo el balance de materia, se definieron los flujos del proceso y se armó el diseño inicial de la planta piloto. Todos estos pasos dieron la base para crear la línea de producción de zumo de limón concentrado y no concentrado.

#### 3.1.1 Enfoque

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, ya que combina elementos cualitativos y cuantitativos. El enfoque cualitativo se aplicó mediante la revisión bibliográfica de investigaciones científicas y literatura especializada, lo que permitió analizar las diferentes tecnologías utilizadas en el procesamiento de cítricos y seleccionar las más adecuadas para el diseño de la línea de producción.

Por otro lado, el enfoque cuantitativo se utilizó en el análisis fisicoquímico del limón, el cálculo del tamaño de muestra del estudio de mercado, el desarrollo del balance de materia, la determinación de flujos máxicos y volumétricos, así como en los cálculos necesarios para el diseño preliminar de la planta piloto.

#### 3.1.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación corresponde a un estudio exploratorio–descriptivo de carácter aplicado. Se considera exploratorio debido a que se realizó una revisión de diversas fuentes bibliográficas relacionadas con el procesamiento de cítricos, tecnologías de concentración de jugos y diseño de plantas agroindustriales, con el propósito de identificar las alternativas

tecnológicas más adecuadas para el procesamiento del limón.

Asimismo, la investigación tiene un carácter descriptivo, ya que se analizaron y describieron las diferentes etapas del proceso productivo, así como los parámetros técnicos necesarios para el diseño de la línea de producción. Finalmente, el estudio es de tipo aplicado, puesto que los resultados obtenidos se orientan al diseño de una línea de producción piloto para el procesamiento de zumo de limón concentrado y no concentrado.

### 3.1.3 *Materiales y equipos*

Para el desarrollo del análisis fisicoquímico del limón se utilizaron diferentes materiales y equipos de laboratorio, los cuales se presentan en la **Tabla 6**.

*Tabla 6:*

*Materiales y equipos utilizados en el análisis fisicoquímico.*

<b>Equipos</b>	<b>Materiales</b>
Refractómetro	Pipeta o gotero
Potenciómetro (pH-metro)	Vaso de precipitación de 250 mL
Balanza analítica	Agitador
	Matraz Erlenmeyer de 250 mL
	Varilla de vidrio

### 3.2 **Métodos, técnicas e instrumentos.**

En esta sección se describen los métodos, técnicas e instrumentos utilizados para la obtención de los datos necesarios para el desarrollo de la investigación y el cumplimiento de los objetivos planteados.

### 3.2.1 Identificación de las propiedades fisicoquímicas del limón.

Para la determinación de las propiedades fisicoquímicas se utilizó limón (*Citrus × meyeri*) en estado de madurez pintón, el cual corresponde a una etapa intermedia de maduración en la que el fruto presenta características adecuadas para su procesamiento industrial. Este estado se caracteriza por presentar valores de sólidos solubles y acidez apropiados para la obtención de jugos cítricos (Bolaños, 2007).

La identificación del estado de madurez se realizó mediante la tabla de color del limón, presentada en la Figura 5, la cual permite clasificar el fruto según el cambio de color de la cáscara durante su proceso de maduración.

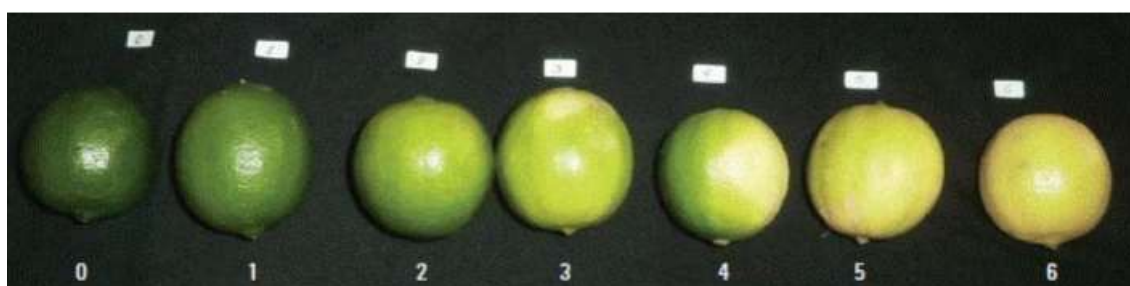


Figura 5: Tabla de color del limón.

*Nota: La figura representa el color del limón en distintas etapas de maduración. Tomado de Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas (p. 244), por Arévalo et al., 2016.*

Las propiedades fisicoquímicas analizadas y los métodos utilizados para su determinación se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7:

*Propiedades fisicoquímicas del limón.*

Propiedad	Método / Instrumento	Referencia
Sólidos solubles	Método refractométrico	NTE INEN 380
pH	Potenciómetro con electrodo de vidrio	NTE INEN 389

<b>Ácido cítrico</b>	Titulación ácido-base	AOAC 942.15
<b>Densidad</b>	Picnómetro	NTE INEN 391

---

Todos los análisis se realizaron por duplicado, y los resultados obtenidos fueron expresados como promedio y desviación estándar.

### ***3.2.1.1 Sólidos solubles totales***

El contenido de sólidos solubles totales (°Brix) se determinó mediante el método refractométrico, de acuerdo con la norma NTE INEN 380 (1985). Para ello se utilizó un refractómetro calibrado a una temperatura de 20 °C.

El procedimiento consistió en homogeneizar previamente el jugo de limón y colocar 2 a 3 gotas de la muestra sobre el prisma del refractómetro, realizando posteriormente la lectura directa del valor de sólidos solubles expresado en °Brix.

Los niveles relativos de sólidos solubles se relacionan directamente con el sabor y la palatabilidad de los jugos de frutas cítricas, por lo que son considerados un indicador de madurez y calidad del fruto (Al-Mouei & Choumane, 2014). Las determinaciones se realizaron por duplicado para asegurar la confiabilidad de los resultados.

### ***3.2.1.2 Determinación de pH***

El pH del jugo de limón se determinó utilizando un potenciómetro con electrodo de vidrio, siguiendo el procedimiento establecido en la norma NTE INEN 389. Para el análisis se colocaron aproximadamente 10 mL de la muestra en un vaso de precipitación, a los cuales se añadieron 100 mL de agua destilada. Posteriormente se introdujeron los electrodos del potenciómetro en la muestra para realizar la medición correspondiente. El pH es un parámetro importante en el procesamiento de jugos cítricos, ya que influye en la estabilidad microbiológica y en la conservación del producto durante el procesamiento y almacenamiento (Orozco, 2023).

### ***3.2.1.3 Ácido cítrico***

La acidez titulable, expresada como ácido cítrico, se determinó mediante el método de titulación ácido–base, de acuerdo con el procedimiento establecido por la AOAC 942.15. Para el análisis se tomaron 5 mL de jugo de limón, a los cuales se añadieron 50 mL de agua destilada en un vaso de precipitación. Posteriormente se agregaron 5 gotas de fenolftaleína al 1% como indicador y se tituló la solución con hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N hasta observar un cambio de color a rosado. La acidez es un parámetro fundamental en la evaluación de la calidad de los frutos cítricos, ya que influye directamente en el sabor característico del limón (Yara None, 2018).

### ***3.2.1.4 Densidad.***

La densidad del jugo de limón se determinó utilizando un picnómetro, de acuerdo con el procedimiento establecido en la norma NTE INEN 391. El conocimiento de la densidad del jugo es importante en el diseño de procesos industriales, ya que permite establecer relaciones entre masa y volumen necesarias para el cálculo de flujos de proceso y el dimensionamiento de equipos (Ceballos Polina, 2019).

## ***3.2.2 Análisis de la tecnología adecuada para el procesamiento de zumos de cítricos concentrados y no concentrados en una línea de producción***

Para la selección de la tecnología más adecuada para el procesamiento de zumo de limón concentrado y no concentrado se realizó una revisión bibliográfica de las tecnologías utilizadas en la industria citrícola, enfocándose principalmente en los procesos de extracción y concentración del jugo. Durante esta etapa se recopiló información científica proveniente de libros especializados, artículos académicos y estudios previos relacionados con el procesamiento industrial de cítricos, con el fin de identificar las principales tecnologías empleadas en este tipo de procesos. Posteriormente, las tecnologías identificadas fueron analizadas considerando diferentes criterios técnicos y económicos, tales como:

- rendimiento del proceso
- calidad del producto obtenido

- costo del equipo principal
- facilidad de operación
- adaptabilidad a plantas piloto

Estos criterios permitieron evaluar las ventajas y limitaciones de cada tecnología en relación con su posible aplicación en el diseño de una línea de producción a escala piloto. La selección final de la tecnología se realizó mediante la aplicación de una matriz de evaluación tipo Pugh, la cual permite comparar diferentes alternativas tecnológicas utilizando criterios previamente definidos y asignando una puntuación relativa a cada alternativa (Pugh, 1991).

### ***3.2.2.1 Comparación de tecnologías de extracción de zumo de limón***

La extracción de jugo constituye una de las operaciones unitarias más importantes dentro del procesamiento de cítricos, ya que influye directamente en el rendimiento del proceso y en la calidad del producto obtenido (Braddock, 1999; Fellows, 2017). En la presente investigación se analizaron tres tecnologías comúnmente utilizadas para la extracción de jugo de cítricos:

- extractor tipo reamer
- extractor industrial FMC o Brown
- prensa mecánica

En una primera etapa se realizó una comparación tecnológica descriptiva, considerando aspectos como el principio de funcionamiento, el rendimiento de extracción, la calidad del jugo obtenido, el costo del equipo y su nivel de aplicación industrial. Posteriormente, estas tecnologías fueron evaluadas mediante una matriz de selección tecnológica, utilizando criterios técnicos y económicos que permitieron determinar la alternativa más adecuada para el diseño de una planta piloto. Los criterios considerados para esta evaluación se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8:

*Tecnologías y criterios considerados para la selección tecnológica.*

<i>N°</i>	<i>Tecnología</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>Calidad del producto</i>	<i>Costo del equipo</i>	<i>Facilidad de operación</i>	<i>Adaptabilidad a planta piloto</i>	<i>Total</i>
1							
2							
3							

Para la evaluación de cada criterio se utilizó una escala de puntuación de 1 a 5, donde 1 representa el valor más bajo y 5 el valor más alto.

### **3.2.3 Criterios de evaluación:**

#### **3.2.3.1 Rendimiento del proceso.**

1 = Muy bajo (menor al 30%)

2 = Bajo (30–35%)

3 = Medio (36–40%)

4 = Alto (41–45%)

5 = Muy alto (mayor al 45%)

El rendimiento del proceso representa la cantidad de producto obtenido a partir de una determinada cantidad de materia prima. En el procesamiento de cítricos, un mayor rendimiento de extracción o concentración permite aprovechar de mejor manera el fruto, aumentando la eficiencia del proceso productivo y reduciendo pérdidas de materia prima (Fellows, 2017).

#### **3.2.3.2 Calidad del producto.**

1 = Muy baja (pérdida significativa de aroma, color y valor nutricional)

2 = Baja (alteraciones evidentes en las propiedades sensoriales)

3 = Media (ligeras variaciones en algunas características del producto)

4 = Alta (mínimas alteraciones en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales)

5 = Muy alta (conservación óptima de aroma, color, sabor y valor nutricional)

La calidad del producto obtenido constituye un factor fundamental en el procesamiento de alimentos, ya que algunos métodos tecnológicos pueden afectar características como el sabor, el aroma, el color y el valor nutricional del jugo. Por esta razón, es importante seleccionar tecnologías que permitan mantener las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del producto final (Braddock, 1999).

### ***3.2.3.3 Costo del equipo principal.***

1 = Muy alto (inversión superior a [\$50,000 USD])

1 = Alto (inversión entre [\$25,000 y \$49,999 USD])

3 = Medio (inversión entre [\$10,000 y \$24,999 USD])

4 = Bajo (inversión entre [\$4,000 y \$9,999 USD])

3 = Muy bajo (inversión menor a [\$4,000 USD])

4

El costo del equipo representa un factor importante en la selección tecnológica, especialmente en proyectos de pequeña escala o plantas piloto (Camacho, 2023).

### ***3.2.3.4 Facilidad de operación.***

1 = Muy compleja (requiere operadores con formación de ingeniería y sistemas de automatización avanzados)

2 = Compleja (requiere capacitación técnica superior a [40 horas] y mantenimiento especializado externo)

3 = Moderada (requiere capacitación técnica de [20 horas] para operación estándar)

4 = Fácil (operación semiautomática, requiere capacitación básica de [8 horas])

5 = Muy fácil (operación intuitiva, armado mecánico simple y limpieza manual rápida)

Este criterio evalúa el nivel de complejidad de la tecnología durante su operación, considerando aspectos como control del proceso, mantenimiento y requerimientos de personal técnico (Towler & Sinnott, 2013).

### ***3.2.3.5 Adaptabilidad a planta piloto.***

- 1 = Muy baja (solo aplicable a producción industrial a gran escala [5,000 kg/h])
- 2 = Baja (requiere grandes volúmenes de procesamiento [2,000 y 4,999 kg/h])
- 3 = Media (puede adaptarse parcialmente a plantas piloto [500 y 1,999 kg/h])
- 4 = Alta (puede operar en plantas piloto con ajustes moderados [100 a 499 kg/h])
- 5 = Muy alta (diseñada o fácilmente adaptable a sistemas de pequeña escala menor a [100 kg/h])

La adaptabilidad a planta piloto evalúa qué tan viable es implementar una determinada tecnología en sistemas de producción de pequeña o mediana escala. Algunas tecnologías industriales requieren grandes volúmenes de procesamiento y equipos complejos, lo que limita su aplicación en plantas piloto. Por esta razón, se priorizan aquellas tecnologías que puedan operar de manera eficiente en condiciones de menor capacidad productiva (Fellows, 2017)

### ***3.2.3.6 Comparación de tecnologías de concentración de jugo de limón***

Después, se analizaron varias tecnologías para concentrar el jugo de limón. La idea era encontrar el mejor método para usarlo en la planta piloto. Concentrar jugos es un paso muy común en la industria alimentaria. Básicamente, sirve para quitarle agua al producto, hacer que dure más tiempo y facilitar su transporte o almacenamiento (Fellows, 2017).

Para este proyecto se revisaron varias opciones usadas en la industria de jugos. Entre ellas están la evaporación al vacío, los evaporadores de múltiple efecto, la evaporación flash, la concentración por membranas y la criocentración. Igual que en la etapa de extracción, se evaluaron estas alternativas usando una matriz de selección. Los puntos a calificar fueron el rendimiento, la calidad del producto final, el costo de la máquina principal, qué tan fácil es operarla y si se adapta bien a la escala piloto.

### **3.2.4 Desarrollo de la ingeniería básica para la línea de producción de concentrados y no concentrados de limón.**

Para cumplir el último objetivo, se desarrolló la ingeniería básica de la planta piloto. En esta

fase se definieron los parámetros iniciales para dimensionar el proceso. Se analizó el mercado potencial, el consumo esperado y el flujo de producción. Para esto, se calculó la muestra del estudio de mercado y luego se determinó el flujo exacto que se necesita para diseñar toda la línea. Para ello se realizaron diferentes análisis, entre los que se incluyen el cálculo del tamaño de muestra para el estudio de mercado y la determinación del flujo de producción necesario para el diseño de la línea de procesamiento.

#### ***3.2.4.1 Análisis de muestra***

Para el análisis de la muestra se consideró como mercado potencial la ciudad de Ibarra, ubicada en la provincia de Imbabura, debido a su importancia comercial dentro de la región y a su potencial consumo de productos derivados del limón. De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), la ciudad de Ibarra cuenta con una población aproximada de 217 469 habitantes, valor que fue considerado como población objetivo para el estudio.

Con base en esta población se determinó el tamaño de muestra necesario para el estudio de mercado, utilizando la ecuación para poblaciones finitas:

$$n = \frac{N\sigma^2 z^2}{(N - 1)e^2 + \sigma^2 z^2}$$

Donde:

n= Tamaño de la muestra

$\sigma$ = Desviación estándar de la población.

N= Tamaño de la población.

e= error muestral permitido

z= valor correspondiente al nivel de confianza

Para el cálculo se utilizaron los siguientes valores:

- $N = 217\,469$  habitantes

- $z = 1.96$ (nivel de confianza del 95 %)
- $e = 0.05$ (error muestral del 5 %)
- $\sigma = 0.5$ (máxima variabilidad)

El cálculo del tamaño de muestra constituye una etapa importante en estudios de mercado, ya que permite obtener resultados representativos de la población analizada. Una muestra demasiado pequeña puede generar resultados poco precisos o con baja validez estadística, mientras que una muestra excesivamente grande implica un mayor uso de recursos sin mejorar significativamente la precisión del estudio (Das et al., 2016).

#### ***3.2.4.2 Determinación del flujo másico***

A partir de la información obtenida en el estudio de mercado se estimó el consumo potencial del producto, lo cual permitió determinar el flujo de producción necesario para el diseño de la línea de procesamiento. El cálculo del flujo de producción se realizó considerando la frecuencia de consumo del producto, el volumen consumido por evento y el número estimado de consumidores potenciales.

La estimación del flujo se realizó mediante la relación presentada en la **Ecuación (2)**.

Ecuación (2). Cálculo del flujo de producción

$$Flujo = Frecuencia \times Volumen \times Consumidores$$

El resultado obtenido corresponde inicialmente a un flujo volumétrico de producto, el cual posteriormente fue expresado en unidades de litros por minuto (L/min) para facilitar su aplicación en el dimensionamiento de los equipos de proceso.

Para determinar el flujo másico, el flujo volumétrico se convirtió utilizando la densidad del jugo de limón, considerando un valor aproximado de 1,03 kg/L, reportado para jugos cítricos a una temperatura cercana a 20 °C. De esta manera, el flujo másico se calculó mediante la relación presentada en la Ecuación (3).

Ecuación (3). Conversión de flujo volumétrico a flujo másico

$$\dot{m} = \rho \times Q$$

$$\rho = \text{flujo másico} \left( \frac{\text{kg}}{\text{L}} \right)$$

$$Q = \text{flujo volumétrico} \left( \frac{\text{L}}{\text{min}} \right)$$

donde:

- $\dot{m}$ = flujo másico (kg/min)
- $\rho$ = densidad del jugo de limón (kg/L)
- $Q$ = flujo volumétrico (L/min)

El flujo másico obtenido constituye un parámetro fundamental para el dimensionamiento de la capacidad de la planta piloto y la selección de equipos como extractores, bombas, sistemas de filtración y evaporadores.

#### ***3.2.4.3 Ubicación de la planta***

La determinación de la ubicación de la planta constituye uno de los factores más importantes dentro del desarrollo de un proyecto industrial, ya que influye directamente en aspectos como los costos de transporte, la disponibilidad de recursos y la eficiencia del proceso productivo. Una adecuada localización permite optimizar el acceso a materia prima, reducir costos logísticos y facilitar la distribución del producto final (Pérez-Agualongo et al., 2022).

Para elegir dónde instalar la planta, el análisis se dividió en dos partes: macrolocalización y microlocalización. La primera sirvió para definir la mejor zona general de acuerdo con el abastecimiento de materia prima. Después, en la segunda etapa se escogió el sitio exacto tras evaluar varios factores técnicos y logísticos.

#### ***3.2.5 Macro localización.***

La macrolocalización se definió con el método del centro de gravedad. Este cálculo ayuda a encontrar el mejor sitio para la planta. Toma en cuenta de dónde viene la materia prima y qué

volumen hay en cada zona. En la industria se usa bastante para acortar los viajes y reducir la distancia de transporte entre los cultivos y la fábrica (Heizer et al., 2017).

Para la aplicación de este método se identificaron cuatro zonas productoras de cítricos dentro de la provincia de Imbabura: Ambuquí, Pimampiro, Urcuquí y Salinas de Ibarra. A cada zona se le asignaron coordenadas cartesianas simplificadas ( $X_i, Y_i$ ) y un volumen estimado de producción de materia prima ( $Q_i$ ). Las coordenadas del punto óptimo de localización se calcularon mediante las siguientes ecuaciones:

$$X = \frac{\sum Q_i X_i}{\sum Q_i}$$

$$Y = \frac{\sum Q_i Y_i}{\sum Q_i}$$

Donde:

- **$X_i, Y_i$**  = coordenadas de cada zona productora
- **$Q_i$**  = volumen de producción de materia prima en cada zona
- **$X, Y$**  = coordenadas del punto óptimo de localización

El resultado obtenido permitió identificar el área geográfica más adecuada para la instalación de la planta piloto.

### ***3.2.6 Micro localización***

Una vez determinada la zona geográfica óptima mediante el análisis de macrolocalización, se procedió a evaluar diferentes alternativas de ubicación específicas dentro del área identificada. En esta etapa se usó el método de factores ponderados. Esto sirve para comparar varias opciones de ubicación dándole un peso o puntaje a lo más importante del proyecto (Pérez-Agualongo et al., 2022).

Se tomaron en cuenta tres lugares en Imbabura para instalar la planta piloto: Pimampiro, Ambuquí e Ibarra. Se evaluó cada sitio revisando si había recursos, buena logística y los servicios básicos para

operar. Todos estos detalles y criterios se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9:

*Criterios considerados para la selección de la localización de la planta.*

<b>Criterio</b>	<b>Ubicación 1</b>	<b>Ubicación 2</b>	<b>Ubicación 3</b>
<b>Disponibilidad de materia prima</b>			
<b>Disponibilidad de mano de obra</b>			
<b>Acceso vehicular</b>			
<b>Seguridad</b>			
<b>Distancia al mercado de distribución</b>			
<b>Servicios básicos</b>			
<b>Total</b>			

### 3.2.7 Evaluación de alternativas

Para evaluar las ubicaciones, se le asignó un peso a cada criterio según su importancia. Luego, se calificó cada lugar con una nota del 1 al 10. Los valores más altos indican que el sitio es mejor para instalar la planta. El puntaje total de cada opción se calculó usando la Ecuación (6).

Ecuación (6). Cálculo de la puntuación ponderada de cada alternativa

$$P_i = \sum(w_j \times r_{ij})$$

donde:

- $P_i$ = puntuación total de la alternativa  $i$
- $w_j$ = ponderación del criterio  $j$
- $r_{ij}$ = calificación asignada a la alternativa  $i$  en el criterio  $j$

Finalmente, se realizó la sumatoria de los valores obtenidos para cada ubicación, seleccionándose aquella que presentó la mayor puntuación total, al considerarse la alternativa más adecuada para la instalación de la planta piloto.

### ***3.2.8 Criterios de Evaluación***

#### ***3.2.8.1 Disponibilidad de materia prima***

Este criterio evalúa la cercanía de proveedores de limón y otros insumos necesarios para el proceso productivo. La proximidad a las zonas de producción permite reducir costos de transporte, asegurar el abastecimiento continuo y mantener la frescura de la materia prima.

#### ***3.2.8.2 Disponibilidad de mano de obra***

Se considera la existencia de personal disponible y capacitado en la zona donde se instalaría la planta. La disponibilidad de trabajadores facilita la operación de la planta y contribuye a mejorar la productividad del proceso.

#### ***3.2.8.3 Acceso vehicular***

Hace referencia a la existencia de vías de acceso adecuadas para el transporte de materia prima, insumos y productos terminados. Una buena conectividad vial permite optimizar la logística de abastecimiento y distribución.

#### ***3.2.8.4 Seguridad***

Este criterio evalúa las condiciones de seguridad del sector donde se ubicaría la planta, considerando factores como el índice de criminalidad, la presencia de servicios de seguridad y la facilidad para implementar sistemas de vigilancia.

### ***3.2.8.5 Distancia al mercado de distribución***

Se refiere a la proximidad entre la planta y los principales mercados de comercialización del producto. Una menor distancia al mercado permite reducir costos de transporte y mejorar los tiempos de entrega.

### ***3.2.8.6 Servicios básicos***

Considera la disponibilidad de servicios indispensables para el funcionamiento de la planta, tales como suministro de energía eléctrica, agua potable y sistema de alcantarillado.

### ***3.2.9 Diagrama de flujo del proceso***

Se elaboró un diagrama de flujo del proceso para la planta piloto de producción de zumo de limón concentrado y no concentrado. Este diagrama permite representar de manera gráfica las principales operaciones unitarias del proceso productivo, desde la recepción de la materia prima hasta la obtención del producto final. El diagrama de flujo facilita la comprensión del proceso de producción y permite identificar las diferentes etapas del procesamiento del limón, tales como recepción, lavado, selección, extracción, filtración, pasteurización, concentración y envasado. A partir del diagrama de flujo del proceso se desarrolló posteriormente el balance de materia, lo cual permitió determinar las cantidades de materia prima, productos y subproductos generados durante el proceso productivo.

#### ***3.2.9.1 Distribución de la planta***

La distribución en planta constituye un aspecto fundamental dentro del diseño de instalaciones industriales, ya que permite organizar de manera eficiente los equipos, áreas de trabajo y zonas de servicio necesarias para el funcionamiento del proceso productivo (Muther, 1973). Para el diseño de la distribución de la planta piloto se utilizó la metodología SLP, la cual permite organizar las diferentes áreas de trabajo considerando el flujo de materiales, la relación entre actividades y la eficiencia operativa del proceso (Alpala et al., 2018).

### 3.2.9.2 Determinación del área mediante el método Guerchet

Para estimar el área necesaria para la instalación de los equipos dentro de la planta piloto se aplicó el método de Guerchet, el cual permite calcular la superficie requerida considerando las dimensiones de los equipos y el espacio necesario para su operación y mantenimiento. El método establece que la superficie total requerida está compuesta por tres tipos de áreas:

- Superficie estática ( $S_s$ ): área ocupada directamente por el equipo.
- Superficie de gravitación ( $S_g$ ): área necesaria para la operación del equipo.
- Superficie de evolución ( $S_e$ ): área adicional para el movimiento de materiales y mantenimiento.

La superficie estática se calculó mediante:

$$S_s = Largo \times Ancho$$

La superficie de gravitación se determinó mediante:

$$S_g = S_s \times N$$

donde N representa el número de lados accesibles del equipo.

La superficie de evolución se calculó mediante:

$$S_e = (S_s + S_g) \times k$$

donde k corresponde al coeficiente de evolución.

Finalmente, la superficie total requerida para cada equipo se obtuvo mediante:

$$S_t = S_s + S_g + S_e$$

La suma de las superficies totales de todos los equipos permitió estimar el área necesaria para la instalación de la planta piloto.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de las propiedades fisicoquímicas del limón *Citrus × meyeri* y su comparación con datos reportados en la literatura científica. Estos parámetros permiten caracterizar la materia prima y verificar su concordancia con los valores típicos reportados para frutas cítricas utilizadas en la producción de jugos.

#### 4.1 Análisis de las propiedades fisicoquímicas del limón "Citrus x Meyeri "

Los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del limón *Citrus × meyeri* se presentan en la **Tabla 10**, donde se reportan los valores promedio de sólidos solubles, pH, contenido de ácido cítrico y densidad del jugo. El registro fotográfico del procedimiento experimental empleado para la determinación de estas propiedades se encuentra documentado en el **Anexo 1**.

*Tabla 10:*

*Propiedades fisicoquímicas del limón Citrus × meyeri.*

Análisis	Resultado	Unidades
Sólidos solubles	7,23 ± 0,23	°Brix
Ph	2,35 ± 0,02	–
Ácido cítrico	4,49 ± 0,01	g/100 g

Densidad  $1043,73 \pm 0,00 \text{ kg/m}^3$

---

El valor de sólidos solubles ( $7,23 \pm 0,23 \text{ }^\circ\text{Brix}$ ) se encuentra dentro del intervalo reportado para frutas cítricas. Kader (2002) indica que los jugos de cítricos presentan valores entre 6 y 10  $^\circ\text{Brix}$ , mientras que Kimball (1999) reporta un rango más específico de 7 a 9  $^\circ\text{Brix}$  para jugos de limón. Asimismo, el valor obtenido es cercano al promedio de  $7,35 \pm 0,98 \text{ }^\circ\text{Brix}$  reportado para jugos de frutas cítricas por Rodríguez-Arzave (2008). Este parámetro está asociado principalmente al contenido de azúcares y otros sólidos solubles presentes en el jugo, los cuales influyen en el equilibrio entre dulzor y acidez característico de los cítricos.

El pH del jugo fue de  $2,35 \pm 0,02$ , lo que confirma es su característico sabor cítrico. Este resultado se encuentra dentro del intervalo reportado por Kader (2002), quien obtiene valores entre 2,2 y 2,8, y coincide con lo experimentado por Kimball (1999) de 2,4 a 2,6 para jugo de limón. De forma similar, Rodríguez-Arzave (2008) reporta un pH promedio de  $2,16 \pm 0,10$  en jugos cítricos. Las diferencias observadas pueden darse principalmente por factores como la variedad del fruto, el grado de madurez y las condiciones de cultivo del limón.

En cuanto al contenido de ácido cítrico ( $4,49 \pm 0,01 \text{ g/100 g}$ ), el valor obtenido se encuentra dentro de los rangos normales para esta fruta. Wardowski (1995) señala concentraciones entre 4 y 6 g/100 g, mientras que Kimball (1999) obtiene valores entre 4,5 y 5,5 g/100 g. De igual manera, la base de datos del USDA (2019) indica concentraciones cercanas a 5–6 g/100 g en jugos de limón. Aunque Rodríguez-Arzave (2008) reporta valores expresados como acidez titulable en mg/100 mL, las diferencias en las unidades pueden generar ligeras variaciones en los resultados.

Por último, la densidad del jugo encontrada fue de ( $1043,73 \text{ kg/m}^3$ ), se encuentra dentro del rango mencionado por Kimball (1999), quien obtiene densidades entre 1040 y 1050  $\text{kg/m}^3$  para jugos cítricos. Este resultado confirma que las propiedades físicas del jugo analizado son similares con las características típicas reportadas para jugos de limón por distintos investigadores.

## **4.2 Análisis de tecnologías para la extracción y concentración de zumo de limón.**

En este apartado se analizan las principales tecnologías utilizadas para la extracción y concentración de zumo de limón, a partir de información reportada en la literatura científica especializada. Las tecnologías de procesamiento del limón fueron comparadas considerando los criterios definidos en el Capítulo 3 en la tabla 8, con el fin de determinar las opciones más adecuadas para el diseño de la línea de producción. La planta a escala piloto contempla dos líneas de procesamiento. El jugo obtenido durante la etapa de extracción se dividirá en dos corrientes: una destinada a la obtención de zumo no concentrado y otra al proceso de concentración para la producción de concentrado de zumo de limón.

### ***4.2.1 Análisis de tecnologías de extracción de zumo de cítricos.***

La extracción de jugo constituye en la operación unitaria de separar la parte líquida (zumo) de la parte sólida (semillas, cascara), más relevante en el procesamiento de cítricos, ya que influye directamente en el rendimiento del proceso y en la calidad del producto obtenido. Existen diversas tecnologías utilizadas para esta operación, las cuales se diferencian en su principio de funcionamiento, eficiencia de extracción, nivel de automatización y costo de implementación (Fellows, 2017), muy importantes en la investigación.

Entre los sistemas de extracción más utilizados se encuentran los extractores tipo reamer, los extractores industriales FMC o Brown, y los sistemas de prensado mecánico. Estas tecnologías se diferencian principalmente por el método de liberación del jugo, el rendimiento obtenido y su nivel de aplicación dentro de la industria procesadora de cítricos (Braddock, 1999; Sinha et al., 2012).

Las características principales de estas tecnologías se presentan en la **Tabla 11**.

*Tabla 11:*

*Comparación de tecnologías de extracción de zumo de cítricos.*

<b>Tecnología</b>	<b>Principio de funcionamiento</b>	<b>de Rendimiento del proceso (%)</b>	<b>Calidad del producto (criterios objetivos)</b>	<b>Costo del equipo (USD aproximado)</b>	<b>Aplicación industrial</b>
<b>Extractor tipo Reamer</b>	El fruto se corta en dos mitades y se presiona contra un cono giratorio estriado que rompe las vesículas del jugo, permitiendo su liberación hacia un sistema de recolección.	40–45	<b>Alta calidad:</b> contenido moderado de aceites esenciales de la cáscara ( $\approx 0,02-0,05\%$ ), presencia moderada de sólidos suspendidos y ligera extracción de compuestos amargos.	2.000–10.000	Pequeña industria, laboratorios y plantas piloto
<b>Extractor tipo FMC (Brown)</b>	El fruto entero se comprime entre dos copas metálicas que perforan la base del fruto y exprimen el jugo sin triturar la cáscara, separando simultáneamente jugo, aceite esencial y pulpa.	50–55	<b>Muy alta calidad:</b> contenido muy bajo de aceites de la cáscara ( $< 0,01\%$ ), baja presencia de compuestos amargos como limonina y menor contenido de sólidos indeseables.	80.000–300.000	Industria cítrica a gran escala
<b>Extractor por prensa mecánica</b>	Los frutos se someten a presión mediante placas o rodillos que exprimen el jugo	35–45	<b>Calidad media:</b> mayor presencia de sólidos suspendidos	10.000–50.000	Pequeña y mediana agroindustria

contenido en la pulpa. (>0,05%) y posible arrastre de aceites esenciales y compuestos amargos provenientes de la cáscara.

---

**Fuente:** Adaptado de Braddock (1999), Fellows (2017) y Sinha et al. (2012).

Para seleccionar la tecnología más adecuada a las limitaciones de Imbabura y a escala piloto, se analizó algunos criterios considerando aspecto técnicos y económicos que afecten o beneficien en la instalación de la planta a escala piloto. En los aspectos analizados se incluyeron el rendimiento del proceso, la calidad del jugo obtenido, el costo del equipo principal, la facilidad de operación y la adaptabilidad a una planta piloto. Este tipo de comparativa es ampliamente utilizado en estudios de selección tecnológica dentro del diseño de procesos agroindustriales (Towler & Sinnott, 2013).

Los resultados de la selección tecnológica para la extracción de zumo se presentan en la **Tabla 12**. Las puntuaciones asignadas a cada alternativa se fundamentan estrictamente en los rangos de evaluación técnica y económica definidos previamente en la metodología (**Tabla 8**).

*Tabla 12:*

*Evaluación de tecnologías de extracción de jugo de cítricos.*

<b>Tecnología</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Calidad del jugo</b>	<b>Costo del equipo</b>	<b>Adaptación a planta piloto</b>	<b>Facilidad de operación</b>	<b>Total</b>
<b>Extractor tipo Reamer</b>	4	3	5	5	5	22

<b>Extractor tipo FMC</b>	5	5	2	2	3	17
<b>Extractor por prensa</b>	3	3	3	4	4	17

---

**Escala de evaluación:** 1 = Muy bajo, 2 = Bajo, 3 = Medio, 4 = Alto, 5 = Muy alto.

De acuerdo con la matriz de evaluación, el extractor tipo *reamer* obtuvo la mayor puntuación (22 puntos). Este resultado se fundamenta en su bajo costo de adquisición (nivel 5, inversión menor a [\$4,000 USD]), su adecuada adaptación a procesos de pequeña escala (nivel 5, capacidad menor a [100 kg/h]) y su alta facilidad de operación. Respecto a este último parámetro, el equipo obtuvo la máxima calificación debido a que su diseño mecánico permite una operación intuitiva, un montaje sencillo y un proceso de higienización rápido, requiriendo una capacitación técnica básica del personal.

Por su parte, el extractor por prensa mecánica obtuvo una puntuación total de 17. En cuanto a su rendimiento, la calificación de 3 indica que alcanza una eficiencia de extracción moderada, situada entre el [36% y 40%], un valor aceptable pero inferior al de las otras alternativas evaluadas.

Finalmente, aunque el extractor tipo FMC o Brown presenta un alto rendimiento de extracción de zumo (superior al [45%]) y una alta calidad del zumo, su implementación requiere equipos industriales de alta capacidad así como un mercado de venta del producto terminado más amplio, diseñados para procesar volúmenes superiores a [2,000 kg/h], y representa un costo de inversión aproximado de [\$45,000 USD]. Esta demanda tanto técnica como financiera (nivel 2 en la escala de evaluación) limita su uso dentro del diseño de una planta piloto. Dicha tecnología se emplea principalmente en grandes plantas procesadoras de cítricos donde se manejan altos volúmenes de materia prima (Braddock, 1999).

Por su parte, la extracción mediante prensa mecánica constituye una alternativa intermedia; sin embargo, el jugo obtenido puede contener una mayor cantidad de sólidos suspendidos y compuestos provenientes de la cáscara, lo que podría afectar la calidad del producto final y requerir etapas adicionales de clarificación (Fellows, 2017).

Considerando los aspectos tecnológicos, económicos y la escala de producción del proyecto, así como el contexto agroindustrial de la provincia de Imbabura, el extractor tipo reamer se considera la alternativa más adecuada para el diseño de la línea de producción a escala piloto de zumo de limón (*Citrus × meyeri*).

#### 4.2.2 *Análisis de tecnologías de concentración de zumo de limón*

La concentración de jugos constituye una operación ampliamente utilizada en la industria de alimentos, cuyo objetivo es reducir el contenido de agua del producto, aumentar su vida útil y disminuir los costos de transporte y almacenamiento. En el caso de los cítricos, este proceso permite obtener productos con mayor contenido de sólidos solubles manteniendo características sensoriales aceptables para su posterior reconstitución o uso industrial (Fellows, 2017).

Existen diversas tecnologías para la concentración de jugos de frutas, las cuales se diferencian principalmente por su principio de operación, consumo energético y efecto sobre la calidad del producto final. En el procesamiento de cítricos se emplean principalmente métodos basados en evaporación térmica, separación por membranas y procesos de congelación, dependiendo de la escala de producción y de los requerimientos de calidad del producto (Braddock, 1999; Sinha et al., 2012).

Las principales tecnologías aplicables a la concentración de jugo de limón se presentan en la **Tabla 13**, donde se comparan sus características operativas, calidad del producto obtenido y nivel de aplicación industrial.

*Tabla 13:*

*Comparación de tecnologías de concentración de jugo de cítricos.*

<b>Tecnología</b>	<b>Principio de funcionamiento</b>	<b>Rendimiento del proceso</b>	<b>Calidad del producto</b>	<b>Costo del equipo principal</b>	<b>Aplicación industrial específica</b>
<b>Evaporación al vacío</b>	El jugo se evapora con el funcionamiento de una bomba al vacío la que permite disminuir la	Alto	Buena conservación de propiedades fisicoquímicas y sensoriales.	Medio	Plantas de pequeña a mediana escala para procesamiento de cítricos (ej. zumo de limón) y frutas

	temperatura de ebullición del agua y reducir el daño térmico al producto terminado.				termosensibles que requieren retención moderada de volátiles.
<b>Evaporador de múltiple efecto</b>	Usa varios evaporadores los cuales tan conectados el uno al otro, aumentando la eficiencia energética..	Muy alto	Conservación moderada de compuestos sensibles al calor	Alto	Plantas de procesamiento continuo a gran escala para la obtención (ej. concentrado de naranja a 65 °Brix)
<b>Evaporación flash</b>	El jugo se introduce en una cámara de vacío donde parte del agua se evapora rápidamente al disminuir la presión.	Alto	Conservación moderada debido a menor tiempo de exposición al calor	Medio	Sistemas integrados para la desaireación del zumo, preconcentración rápida y recuperación de aromas (esencias volátiles) previos al envasado.
<b>Concentración por membranas</b>	Utiliza membranas semipermeables para separar el agua del jugo mediante presión (ósmosis inversa o nanofiltración).	Medio	Muy alta conservación de compuestos aromáticos y nutrientes.	Alto	Preconcentración en frío y clarificación de zumos premium de alto valor agregado, donde se busca evitar por completo la degradación térmica.
<b>Crioconcentración</b>	El jugo se congela y luego se separan los cristales de hielo para aumentar la concentración del producto.	Medio	Excelente conservación de compuestos volátiles y calidad sensorial del producto terminado	Muy alto	Elaboración de extractos nutraceuticos, liofilizados y concentrados gourmet.

**Fuente:** Adaptado de Braddock (1999), Fellows (2017) y Sinha et al. (2012).

Con el fin de seleccionar el método de concentración más adecuado para el diseño de la planta piloto, se realizó una evaluación multicriterio considerando aspectos técnicos y económicos relevantes para el proyecto. Los criterios analizados fueron el rendimiento del proceso, la calidad del producto obtenido, el costo del equipo principal, la facilidad de operación y la adaptabilidad a una planta piloto.

Los resultados de esta evaluación se presentan en la **Tabla 14**.

Tabla 14:

*Evaluación de tecnologías de concentración de jugo de limón.*

N°	Tecnología	Rendimiento del proceso	Calidad del producto	Costo del equipo principal	Facilidad de operación	Adaptabilidad a planta piloto	Total
1	Evaporación al vacío	4	3	4	4	5	20
2	Evaporador de múltiple efecto	5	3	2	3	2	15
3	Evaporación flash	4	3	3	3	3	16
4	Concentración por membranas	3	5	2	3	3	16
5	Crioconcentración	3	5	1	2	2	13

**Escala de evaluación:** 1 = Muy bajo, 2 = Bajo, 3 = Medio, 4 = Alto, 5 = Muy alto.

De acuerdo con la evaluación realizada, la evaporación al vacío obtuvo la mayor puntuación. Este resultado se debe principalmente al equilibrio que presenta entre eficiencia del proceso, costo del equipo y facilidad de operación. Además, al trabajar bajo presión reducida, esta tecnología permite disminuir el punto de ebullición del agua, lo que reduce el deterioro térmico del producto y favorece la conservación de sus propiedades fisicoquímicas (Fellows, 2017).

Aunque los evaporadores de múltiple efecto presentan una mayor eficiencia energética debido al aprovechamiento del vapor generado en cada evaporador, su implementación requiere equipos más complejos y una mayor inversión inicial, por lo que se emplean principalmente en plantas industriales (Towler & Sinnott, 2013).

Por otro lado, tecnologías como la concentración por membranas y la crioconcentración presentan ventajas importantes en la conservación de compuestos aromáticos y nutrientes. Sin embargo, su elevado costo de implementación y las limitaciones técnicas para alcanzar

altos niveles de concentración las hacen menos adecuadas para el diseño de una planta piloto dentro del contexto agroindustrial de la provincia de Imbabura (Sinha et al., 2012).

En función de los resultados obtenidos, se determinó que la evaporación al vacío constituye la alternativa más adecuada para el proceso de concentración en la línea de producción de jugo de limón a escala piloto propuesta.

### **4.3 Desarrollo de la ingeniería básica para la línea de producción de concentrados y no concentrados de limón**

#### ***4.3.1 Determinación del tamaño de muestra para el estudio de mercado***

Para el desarrollo de la ingeniería básica de la planta se consideró como mercado potencial el cantón Ibarra, ubicado en la provincia de Imbabura, debido a su relevancia comercial y a su crecimiento poblacional dentro de la región norte del Ecuador. De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), este cantón cuenta con una población aproximada de 217 469 habitantes, según el censo de población más reciente.

Con base en esta población se determinó el tamaño de muestra requerido para el estudio de mercado orientado a estimar el consumo potencial de zumo de limón concentrado y no concentrado.

Para el cálculo del tamaño de muestra se utilizó la ecuación estadística para poblaciones finitas, presentada en la **Ecuación (1)**.

$$n = \frac{NZ^2pq}{(N - 1)e^2 + Z^2pq}$$

**Donde:**

$N$  = tamaño de la población

$Z$  = valor correspondiente al nivel de confianza

$e$  = error muestral

$p$  = probabilidad de ocurrencia

$q$  = probabilidad de no ocurrencia

Para el presente análisis se consideraron los siguientes parámetros:

$N = 217\,469$  habitantes

$Z = 1,96$  (nivel de confianza del 95%)

$e = 0,05$  (error muestral del 5%)

$p = 0,5$

$q = 0,5$

Al agregar estos valores en la ecuación 1 se obtiene:

$$n = \frac{217469(0.5)^2(1.96)^2}{(217469 - 1)(0.05)^2 + (0.5)^2(1.96)^2}$$
$$n = 383.89$$

Por lo tanto, el tamaño de muestra necesario para el estudio corresponde aproximadamente a 384 encuestas.

La determinación adecuada del tamaño de muestra constituye una etapa fundamental dentro de los estudios de mercado, ya que permite obtener resultados representativos de un supuesto mercado potencial. Una muestra demasiado pequeña puede generar estimaciones poco confiables, mientras que una muestra excesivamente grande implica un mayor uso de recursos sin mejorar significativamente la precisión de los resultados (Das et al., 2016).

#### ***4.3.2 Determinación del flujo volumétrico de producción***

A partir de los resultados obtenidos en el estudio de mercado, se procedió a determinar el flujo volumétrico de producción requerido para el diseño de la línea de procesamiento. Para el dimensionamiento de esta planta a escala piloto, se tomó como base la demanda proyectada por la muestra de **384 personas encuestadas**, asumiendo a este grupo representativo como el mercado objetivo inicial. Este enfoque permite establecer una capacidad de producción real y controlada para la fase de introducción del producto al mercado de Ibarra

Para el cálculo se consideraron los siguientes valores obtenidos a partir del estudio de

mercado en Ibarra:

- Frecuencia de consumo: 2 veces por semana
- Volumen promedio por consumo: 250mL (0,25 L)
- Consumidores potenciales estimados: 384

El flujo volumétrico se estimó considerando la frecuencia de consumo semanal y convirtiendo el resultado a una base de tiempo en minutos, de acuerdo con la **Ecuación (2)**.

$$Flujo (L/min) = \frac{F \times V \times C}{7 \times 24 \times 60}$$

Donde:

F = frecuencia de consumo semanal

V = volumen promedio por consumo (L)

C = número de consumidores potenciales

Sustituyendo los valores correspondientes, se obtiene:

$$Flujo = \frac{2 \times 0.25 \times 384}{7 \times 24 \times 60}$$
$$Flujo = 0.019 L/min$$

Este valor representa el flujo volumétrico promedio de consumo estimado a partir de la muestra analizada. A partir de este resultado es posible establecer una referencia inicial para la capacidad de producción requerida en la planta piloto, lo cual servirá como base para el dimensionamiento de los equipos de procesamiento y el diseño de la línea de producción.

#### **4.3.3 Estimación de la demanda potencial de zumo de limón**

Con base en la información obtenida a partir del estudio de mercado, se procedió a estimar la demanda potencial de zumo de limón en el cantón Ibarra. Este cálculo permite aproximar

el volumen de producto que podría ser requerido por la población objetivo y sirve como referencia para el dimensionamiento preliminar de la planta piloto.

De acuerdo con los datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), el cantón Ibarra cuenta con una población aproximada de 217 469 habitantes. A partir de los resultados de la encuesta aplicada se determinó un consumo promedio estimado de 0,5 L de zumo de limón por persona a la semana, considerando una frecuencia de consumo de dos veces por semana y un volumen promedio de 250 mL por consumo.

El consumo promedio semanal por persona se calcula mediante la **Ecuación (3)**.

$$\text{Consumo semanal} = F \times V$$

Donde:

F = frecuencia de consumo semanal

V = volumen promedio consumido por ocasión (L)

Sustituyendo los valores correspondientes:

$$\text{Consumo semanal} = 2 \times 0.25$$

$$\text{Consumo semanal} = 0.5 \text{ L/semana}$$

A partir de este valor se estimó la demanda potencial del producto considerando la población total del cantón, según la **Ecuación (4)**.

$$\text{Demanda} = P \times C$$

Donde:

P = población total del área de estudio

C = consumo promedio semanal por persona

Sustituyendo los valores correspondientes:

$$Demanda = 217469 \times 0.5$$

$$Demanda = 108734.5 \text{ L/semana}$$

Por consiguiente, la demanda potencial estimada a nivel macro en el cantón Ibarra asciende a aproximadamente 108 734 L por semana, cifra que justifica la oportunidad de mercado y la pertinencia comercial del proyecto. No obstante, al tratarse del diseño de una planta piloto, el sistema productivo no se dimensiona para abarcar la totalidad de esta demanda poblacional, sino que se establece como una instalación de escala reducida destinada a validar el proceso de producción y evaluar su viabilidad técnica. En este contexto, el análisis de la muestra (384 encuestados) resulta fundamental, ya que permite definir un mercado objetivo inicial con un volumen operativo realista y controlado; siendo este volumen específico, y no la demanda macro, el que se utilizará como base de cálculo para el posterior desarrollo del balance de materia y el dimensionamiento de los equipos de procesamiento.

#### ***4.3.4 Localización de planta***

La selección de la localización de la planta constituye un aspecto fundamental dentro del diseño de proyectos agroindustriales, debido a que influye directamente en los costos de transporte, la disponibilidad de materia prima, la eficiencia logística y la cercanía a los mercados de distribución. El tener una adecuada localización permite optimizar costos en transporte de materias primas como la distribución del producto terminado a sus mercados potenciales lo cual se ve reflejado en factibilidad económica para el proyecto (Towler & Sinnott, 2013).

Para el presente estudio, la determinación de la ubicación de la planta piloto se realizó en dos etapas: macro localización y micro localización. En la primera etapa se determinó la zona geográfica más conveniente considerando las principales áreas de abastecimiento de materia prima, mientras que en la segunda etapa se evaluaron ubicaciones específicas mediante una matriz de ponderación de factores.

#### ***4.3.5 Macro localización de la planta***

La macro localización de la planta piloto se determinó mediante la aplicación del método del centro de gravedad. Para la aplicación de este método se consideraron cuatro zonas agrícolas de la provincia de Imbabura con potencial disponibilidad de limón y otros cítricos: Ambuquí,

Pimampiro, Urcuquí y Salinas de Ibarra. A cada una de estas zonas se le asignaron coordenadas cartesianas simplificadas (X, Y) y un volumen estimado de producción de materia prima ( $Q_i$ ).

Los datos utilizados para el cálculo del centro de gravedad se presentan en la **Tabla 15**.

*Tabla 15:*

*Matriz de selección de coordenadas para la macro localización.*

Lugar	Coordenadas X	Coordenadas Y	Producción estimada de limón (kg)	Qx	Qy
Ambuquí	3.2	2.8	1800	5760	5040
Pimampiro	4.5	3.5	1200	5400	4200
Urcuquí	2.5	4.0	1000	2500	4000
Salinas	2.8	2.2	1500	4200	3300
<b>TOTAL</b>			<b>5500</b>	<b>17860</b>	<b>16540</b>

Fuente: Adaptado de Heizer, Render & Munson (2017).

Nomenclatura de las variables:

- $Q_i$ : Volumen de producción estimado de materia prima (limón) en cada localidad  $i$  (expresado en kg).
- $X_i Y_i$ : Coordenadas espaciales en los ejes X e Y correspondientes a la ubicación geográfica de cada localidad  $i$ .
- $Q_x (Q_i X_i)$ : Valor resultante de multiplicar el volumen de producción  $Q_i$  por su respectiva coordenada espacial en el eje X ( $X_i$ ).

- $Q_y (Q_i Y_i)$ : Valor resultante de multiplicar el volumen de producción  $Q_i$  por su respectiva coordenada espacial en el eje Y ( $Y_i$ )

A partir de la sumatoria de estos valores, las coordenadas del punto óptimo para la localización de la planta piloto ( $C_x C_y$ ): se calcularon mediante las siguientes ecuaciones (11) y (12):

Ecuación 11

$$X = \frac{\sum Qx}{\sum Q}$$

Ecuación 12

$$Y = \frac{\sum Qy}{\sum Q}$$

Sustituyendo los valores obtenidos:

$$X = \frac{17860}{5500}$$

$$X = 3.25$$

$$Y = \frac{16540}{5500}$$

$$Y = 3.01$$

Los resultados obtenidos indican que el punto óptimo de localización se encuentra aproximadamente en las coordenadas  $X = 3.25$  y  $Y = 3.01$ , ubicándose en las cercanías del cantón Ibarra, específicamente en el sector de Ambuquí.

Para una mejor visualización del resultado obtenido, en la **Figura 6** se presenta la representación gráfica del método del centro de gravedad considerando las zonas de abastecimiento analizadas.

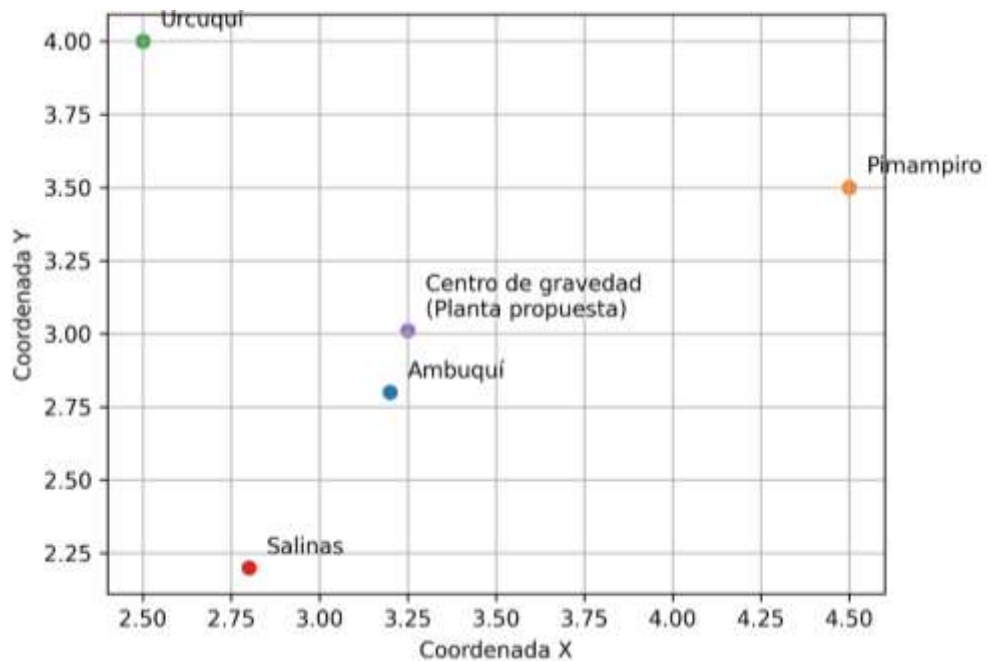


Figura 6: Representación gráfica de la macro localización mediante el método del centro de gravedad para la planta piloto de producción de zumo de limón.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 6, el punto obtenido mediante el método del centro de gravedad se localiza en las cercanías del cantón Ibarra, próximo al sector de Ambuquí, lo cual resulta favorable debido a su proximidad a varias zonas agrícolas productoras de cítricos dentro de la provincia. Esta ubicación permite reducir las distancias de transporte de materia prima y mejorar la eficiencia logística del proceso productivo.

#### 4.3.6 Micro localización de la planta

Una vez definida la zona geográfica más adecuada mediante el análisis de macro

localización, se evaluaron posibles ubicaciones específicas cercanas al punto obtenido mediante el método del centro de gravedad.

Para esta etapa se analizaron tres alternativas dentro del área de influencia: Pimampiro, Ambuquí e Ibarra. La selección final se realizó mediante la aplicación de una matriz de ponderación de factores, considerando criterios relacionados con la disponibilidad de materia prima, disponibilidad de mano de obra, acceso vehicular, seguridad, distancia al mercado de distribución y disponibilidad de servicios básicos. Los resultados de esta evaluación se presentan en la Tabla 16.

*Tabla 16:*

*Matriz de decisión para la selección de la localización de la planta.*

Factores críticos	Ponderación	PIM	AMB	IBA	PP-PIM	PP-AMB	PP-IBA
Disponibilidad de materia prima	0,30	8	9	7	2,40	2,70	2,10
Disponibilidad de mano de obra	0,25	6	7	9	1,50	1,75	2,25
Mercado de distribución	0,15	6	7	10	0,90	1,05	1,50
Seguridad	0,15	7	7	8	1,05	1,05	1,20
Acceso vehicular	0,10	6	8	9	0,60	0,80	0,90
Servicios básicos	0,05	7	8	10	0,35	0,40	0,50
<b>TOTAL</b>					<b>6,80</b>	<b>7,75</b>	<b>8,45</b>

*Nota:* PIM = Pimampiro; AMB = Ambuquí; IBA = Ibarra. PP = Puntaje Ponderado (calculado mediante el producto de la calificación asignada y la ponderación del factor crítico).

Los resultados obtenidos indican que Ibarra obtuvo la mayor puntuación total (8,45), seguida de Ambuquí (7,75) y Pimampiro (6,80). Por lo tanto, se determina que la ciudad de Ibarra presenta las condiciones óptimas para el establecimiento de la planta piloto.

La ciudad de Ibarra presenta ventajas importantes relacionadas con la disponibilidad de infraestructura, acceso a servicios básicos, conectividad vial y cercanía a los principales mercados de distribución de la provincia. Estas características facilitan la instalación de la

planta a escala piloto por fácil acceso a materia prima como la distribución del producto terminado.

En consecuencia, considerando los resultados obtenidos en la tabla 16 de ponderación de factores, se determinó que la ciudad de Ibarra constituye la ubicación más adecuada para la instalación de la planta piloto de producción de zumo de limón concentrado y no concentrado.

#### ***4.3.7 Diagrama de flujo del proceso***

Con base en las tecnologías seleccionadas previamente, se estructuró el diagrama de flujo para la línea de producción a escala piloto de zumo de limón concentrado y no concentrado. Este esquema (**Figura 7**) define la secuencia definitiva de las operaciones unitarias requeridas para el procesamiento del fruto (*Citrus × meyeri*).

Diagrama de flujo del proceso de producción de zumo de limón (concentrado y no concentrado)



Figura 7: Diagrama de balance de materia del proceso de producción de zumo de limón concentrado y no concentrado.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el diagrama establecido, el proceso productivo continuo de la planta piloto

inicia con las etapas de acondicionamiento de la materia prima, las cuales comprenden la recepción, selección, clasificación y lavado mecánico de los frutos. A continuación, la materia prima pasa a las etapas de corte y extracción, empleando el equipo tipo *reamer* dimensionado para este diseño.

El zumo extraído atraviesa un sistema de filtración para la remoción de sólidos suspendidos (semillas y fragmentos de cáscara) y se almacena en un tanque pulmón intermedio. En este punto, el flujo del proceso se divide en dos líneas de producción independientes:

- **Línea de zumo no concentrado:** La corriente es sometida directamente a un proceso de pasteurización térmica (90 °C durante 30 segundos) para su estabilización microbiológica (Fellows, 2017), seguido de su envasado final.
- **Línea de zumo concentrado:** La corriente es dirigida hacia el evaporador al vacío. Tras alcanzar el nivel de concentración requerido mediante la evaporación a presión reducida, el producto es sometido a un enfriamiento rápido mediante intercambiadores de calor previo a su envasado y almacenamiento.

#### **4.3.8 Balance de Materia**

Para el desarrollo del balance de materia del proceso se estableció como base de cálculo el procesamiento de 100 kg de limón (*Citrus × meyeri*). Esta base de cálculo facilita el análisis de los flujos de materia en cada etapa del proceso productivo y permite posteriormente escalar los resultados para el dimensionamiento de los equipos de la línea de producción.

##### **4.3.8.1 Selección y clasificación de la materia prima**

Durante Durante esta etapa se descartan los frutos que presentan daños físicos, deterioro o que no cumplen con los parámetros de calidad establecidos para el procesamiento. De acuerdo con el comportamiento estándar en procesos agroindustriales de frutas cítricas, se estableció un factor de rechazo del 5% respecto a la materia prima inicial ingresada (Fellows, 2017; Sinha et al., 2012).

Tomando como base de cálculo un ingreso de 100 kg de limón, se determinó la fracción de fruta descartada y la masa útil disponible para las siguientes operaciones unitarias. Los resultados del balance de materia correspondiente a esta etapa se resumen en la **Tabla 17**.

Tabla 17:

*Balance de materia en la etapa de selección.*

<b>Corriente</b>	<b>Masa (kg)</b>
<b>Materia prima recibida</b>	100
<b>Fruta descartada</b>	5
<b>Fruta procesada</b>	95

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.3.8.2 Extracción del jugo**

La extracción de jugo constituye una de las operaciones unitarias más importantes en el procesamiento de cítricos, ya que determina el rendimiento del proceso y la cantidad de producto final obtenido. En sistemas de extracción mecánica, los rendimientos típicos se encuentran entre el 40% y el 50% del peso del fruto, dependiendo de la variedad y del tipo de equipo utilizado (Braddock, 1999; Fellows, 2017).

Para el presente diseño se estableció un rendimiento de extracción del 45%, considerando el uso del extractor tipo *reamer* seleccionado previamente. Aplicando este rendimiento a la masa de fruta procesada proveniente de la etapa anterior (95 kg), se determinó la cantidad de jugo útil y la fracción de residuos sólidos generados (cáscara, semillas y bagazo). El balance de materia de la etapa se resume en la Tabla 18.

Tabla 18:

*Balance de materia en la extracción de jugo.*

<b>Corriente</b>	<b>Masa (kg)</b>
<b>Fruta procesada</b>	95
<b>Jugo extraído</b>	42.75
<b>Residuos (cáscara y semillas)</b>	52.25

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.3.8.3 Filtración del jugo**

Posteriormente, el jugo extraído se somete a una etapa de filtración o tamizado con el objetivo de eliminar partículas sólidas suspendidas, tales como fragmentos de pulpa gruesa, semillas residuales y pequeñas porciones de cáscara.

En procesos de clarificación de jugos cítricos se estima una pérdida operativa de aproximadamente el 3% respecto al jugo extraído, asociada a la retención de estos sólidos y sedimentos (Fellows, 2017; Sinha et al., 2012). Con base en este porcentaje, se cuantificó la masa de sólidos retenidos y el volumen neto de jugo filtrado disponible para las siguientes fases productivas. El respectivo balance de materia se presenta en la Tabla 19.

*Tabla 19:*

*Balance de materia en la etapa de filtración.*

<b>Corriente</b>	<b>Masa (kg)</b>
<b>Jugo extraído</b>	42.75
<b>Sólidos eliminados</b>	1.28
<b>Jugo filtrado</b>	41.47

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.3.8.4 División del flujo de proceso**

De acuerdo con el diseño de la línea de producción piloto, el jugo filtrado se divide en dos corrientes de proceso destinadas a la producción de zumo de limón no concentrado y zumo de limón concentrado.

Para el análisis del balance de materia, se estableció una distribución equitativa del flujo (50% para cada línea de producción), con el objetivo de evaluar el comportamiento y la viabilidad técnica de ambas corrientes dentro del sistema productivo. A partir de la masa total de jugo filtrado disponible, se determinó el flujo másico correspondiente a cada línea. La distribución resultante se presenta en la **Tabla 20**.

*Tabla 20:*

*Distribución del flujo de jugo filtrado.*

Corriente	Masa (kg)
Jugo para producto no concentrado	20.73
Jugo para concentración	20.73

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.3.8.5 Producción de zumo de limón no concentrado**

En esta corriente, el jugo es sometido a un proceso de pasteurización con el objetivo de reducir la carga microbiana y prolongar la vida útil del producto. Posteriormente, el jugo pasteurizado pasa a la etapa de envasado para su comercialización.

Dado que estas operaciones unitarias no implican una eliminación significativa de agua ni de sólidos suspendidos o solubles, se asume teóricamente que la masa del producto final es equivalente a la masa del jugo a la entrada del pasteurizador. El balance de materia correspondiente a esta línea de producción se presenta en la **Tabla 21**.

*Tabla 21:*

*Producción de zumo de limón no concentrado.*

Corriente	Masa (kg)
Jugo pasteurizado	20.73
Producto final	20.73

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.3.8.6 Proceso de concentración**

El jugo destinado a esta línea presenta inicialmente un contenido aproximado de 7 °Brix, lo que corresponde a cerca del 7% de sólidos solubles presentes en la mezcla (Fellows, 2017).

Durante el proceso de evaporación al vacío, la masa de los sólidos solubles permanece constante mientras que una fracción del agua es eliminada por cambio de fase, hasta que el producto alcanza una concentración final estandarizada de 45 °Brix (equivalente a 45% de sólidos solubles). Mediante un balance de componentes, se determinó la masa de sólidos iniciales, la masa final del producto concentrado y la cantidad de agua evaporada requerida para alcanzar los parámetros de diseño. Los resultados se resumen en la **Tabla 22**.

*Tabla 22:*

*Balance de materia en la etapa de concentración.*

<i>Corriente</i>	<i>Masa (kg)</i>
<i>Jugo de entrada</i>	<i>20.73</i>
<i>Concentrado final</i>	<i>3.22</i>
<i>Agua evaporada</i>	<i>17.51</i>

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.3.8.7 Balance global del proceso**

A partir del balance de materia desarrollado para cada una de las etapas del proceso, se obtuvo

el balance global de materia correspondiente al procesamiento de 100 kg de limón (*Citrus × meyeri*).

Las principales corrientes de salida del proceso se presentan en la **Tabla 23**.

*Tabla 23:*

*Balance global de materia del proceso.*

Corriente	Masa (kg)
Zumo de limón no concentrado	20.73
Zumo de limón concentrado	3.22
Residuos de cáscara y semillas	52.25
Sólidos eliminados en filtración	1.28
Agua evaporada	17.51

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el balance de materia realizado, a partir del procesamiento de 100 kg de limón se obtienen aproximadamente 20,73 kg de zumo de limón no concentrado y 3,22 kg de zumo de limón concentrado como productos principales del proceso.

Las corrientes restantes corresponden a subproductos y pérdidas de proceso, entre las que se incluyen residuos sólidos provenientes de la extracción (cáscara, semillas y bagazo), sólidos eliminados durante la etapa de filtración y agua evaporada durante el proceso de concentración. La suma de todas las corrientes de salida es equivalente a la masa de materia prima alimentada al proceso, lo que confirma el cumplimiento del principio de conservación de la materia, tal como se muestra la **Ecuación 13**.

### **Ecuación 13**

$$Masa_{entrada} = Masa_{salida}$$

$$100 = 20,73 + 3,22 + 52,25 + 1,28 + 17,51$$

$$100 = 100 \text{ kg}$$

Este análisis constituye la base para el dimensionamiento de los equipos del proceso, así como para la estimación del flujo de producción requerido en la línea de procesamiento a escala piloto.

#### **4.3.9 Diagrama de balance de materia**

Una vez realizado el balance de materia del proceso productivo, se elaboró el diagrama de balance de materia correspondiente al proceso de producción de zumo de limón concentrado y no concentrado. Este diagrama permite representar de forma gráfica los flujos de materia que intervienen en cada operación unitaria del proceso, así como las pérdidas generadas durante las diferentes etapas del procesamiento.

Los diagramas de balance de materia constituyen una herramienta fundamental en el análisis de procesos agroindustriales, ya que facilitan la visualización de las corrientes de entrada y salida en cada etapa del sistema productivo y permiten verificar el cumplimiento del principio de conservación de la materia (Geankoplis, 2018; Singh & Heldman, 2014).

Para el desarrollo del balance se tomó como base de cálculo el procesamiento de 100 kg de limón (*Citrus × meyeri*). A partir de esta cantidad inicial se determinaron las cantidades de producto, subproductos y pérdidas generadas durante las etapas de selección, extracción, filtración y concentración del jugo.

El diagrama correspondiente se presenta en la **Figura 8**.

Balance de masa del proceso de producción de zumo de limón  
(concentrado y no concentrado)



Figura 8: Diagrama de balance de materia del proceso de producción de zumo de limón concentrado y no concentrado.

Fuente: Elaboración propia.

La consolidación de los flujos másicos correspondientes a cada operación unitaria se presenta en el diagrama de balance de materia global (Figura 8). Este esquema gráfico resume de

manera integrada los resultados de las corrientes de entrada, salida y pérdidas a lo largo de toda la línea de producción; constituyendo una herramienta técnica fundamental para el análisis del comportamiento del sistema productivo y el posterior dimensionamiento de los equipos de procesamiento (Berk, 2018).

#### ***4.3.10 Determinación del flujo másico del proceso***

La determinación del flujo másico del proceso permite establecer la cantidad de materia que circula a través de cada operación unitaria en función del tiempo. Este parámetro resulta fundamental para el dimensionamiento de equipos, la selección de maquinaria y el diseño de la línea de producción en la planta piloto (McCabe, Smith & Harriott, 2005).

Para el cálculo del flujo másico se utilizó como base el balance de materia previamente determinado para el procesamiento de 100 kg de limón (*Citrus × meyeri*). Con el fin de establecer condiciones de operación para la planta piloto, se asumió una capacidad de procesamiento de 100 kg de materia prima por hora.

A partir de este valor se determinaron los flujos másicos que circulan a través de cada una de las etapas del proceso productivo.

##### ***4.3.10.1 Conversión del balance de masa a flujo másico***

Considerando que la planta procesa 100 kg de limón por hora, los valores obtenidos en el balance de masa corresponden directamente a flujos másicos expresados en kg/h.

De esta manera, los principales flujos del proceso se presentan en el **Tabla 24**.

Tabla 24:

*Flujos másicos del proceso de producción de zumo de limón.*

<b>Corriente del proceso</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>
<b>Materia prima (limón)</b>	100
<b>Fruta seleccionada</b>	95
<b>Jugo extraído</b>	42.75
<b>Residuos (cáscara y semillas)</b>	52.25
<b>Jugo filtrado</b>	41.47
<b>Sólidos eliminados</b>	1.28
<b>Flujo hacia pasteurización</b>	20.73
<b>Flujo hacia evaporación</b>	20.73
<b>Zumo no concentrado</b>	20.73
<b>Concentrado final</b>	3.22
<b>Agua evaporada</b>	17.51

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.3.10.2      *Conversión a flujo volumétrico del jugo***

Para el dimensionamiento de equipos como bombas, tuberías y evaporadores, es necesario expresar el flujo en términos volumétricos. Para ello se utilizó la densidad del jugo de limón obtenida en el análisis fisicoquímico previo:

$$\rho = 1043 \text{ kg/m}^3$$

El flujo volumétrico se determinó mediante la **Ecuación (14)**:

$$Q = \frac{m}{\rho}$$

donde:

- $Q$ = flujo volumétrico ( $m^3/h$ )
- $m$ = flujo másico ( $kg/h$ )
- $\rho$ = densidad del fluido ( $kg/m^3$ )

Para el flujo de jugo que ingresa al proceso de evaporación:

$$Q = \frac{20.73}{1043}$$
$$Q = 0.0199 \text{ m}^3 / h$$

Expresado en unidades más prácticas:

$$Q = 19.9 \text{ L/h}$$

Para el dimensionamiento de los equipos de proceso y selección de accesorios de transferencia de fluidos (como bombas y tuberías), el flujo volumétrico operativo de la línea a escala piloto se estableció en 20 L/h, lo que equivale a un caudal de 0,33 L/min (Coulson & Richardson, 2019).

Este flujo constituye el parámetro base para determinar las especificaciones técnicas y operativas del extractor de jugo, los sistemas de filtración y el evaporador al vacío para la concentración del zumo de limón. De esta manera, los valores definidos a partir del balance de materia servirán como fundamento para la siguiente etapa del diseño, enfocada en la selección y dimensionamiento definitivo de los equipos que conformarán la línea de producción (Rao, Rizvi & Datta, 2014).

#### 4.3.11 Selección de equipos de la línea de producción

Para el diseño de la línea de producción a escala piloto de zumo de limón concentrado y no concentrado, se seleccionaron equipos comúnmente utilizados en la industria de procesamiento de cítricos. En la selección se consideraron criterios como capacidad de operación, facilidad de limpieza, compatibilidad con productos alimentarios y disponibilidad comercial en el mercado (Berk, 2018).

Los equipos seleccionados permiten realizar las principales operaciones unitarias del proceso, incluyendo lavado, selección, extracción, filtración, tratamiento térmico, concentración y envasado del producto.

Las especificaciones generales de los equipos seleccionados, así como su codificación y función dentro del proceso, se presentan en la **Tabla 25**.

*Tabla 25:*

*Equipos seleccionados para la línea de producción de zumo de limón.*

<b>Código</b>	<b>Equipo</b>	<b>Función</b>
<b>Rec-1</b>	Tolva de recepción de acero inoxidable	Permite la recepción y almacenamiento temporal de los frutos antes del procesamiento.
<b>Lav-1</b>	Lavadora de frutas con tambor rotatorio	Elimina suciedad, polvo e impurezas presentes en la superficie del limón mediante lavado con agua potable.
<b>Sel-1</b>	Mesa de selección	Permite la inspección visual y clasificación manual de los frutos para retirar materia prima defectuosa.
<b>Ext-1</b>	Extractor de jugo tipo Reamer	Realiza la extracción del zumo de limón mediante presión sobre el fruto cortado, separando el jugo de la pulpa y la cáscara.
<b>Fil-1</b>	Filtro o tamiz vibratorio	Elimina partículas sólidas y residuos de pulpa

presentes en el zumo extraído.

<b>Tan-1</b>	Tanque de almacenamiento de jugo	de	Permite almacenar el zumo de limón filtrado antes de su procesamiento posterior.
<b>Pas-1</b>	Tanque de pasteurización con chaqueta térmica		Realiza el tratamiento térmico del zumo de limón para eliminar microorganismos y prolongar la vida útil del producto final.
<b>Eva-1</b>	Evaporador al vacío		Reduce el contenido de agua del jugo mediante evaporación a presión reducida para obtener zumo concentrado.
<b>Bom-1</b>	Bomba sanitaria de acero inoxidable		Permite el transporte del jugo entre las diferentes operaciones unitarias del proceso.
<b>Env-1</b>	Sistema de envasado		Permite el llenado del producto final en envases adecuados para su almacenamiento y comercialización.

---

Fuente: Elaboración propia.

La selección definitiva de los equipos se realizó considerando las necesidades específicas de procesamiento de una planta piloto, por lo que se priorizaron alternativas de operación intuitiva, fácil mantenimiento y capacidad moderada de producción. Bajo estos criterios técnicos, se consolidó el uso del extractor tipo *reamer* para la etapa de extracción y del evaporador al vacío para la fase de concentración, al ser las tecnologías más eficientes y adaptables para el manejo de cítricos a pequeña y mediana escala.

Asimismo, la incorporación de bombas sanitarias y la especificación de acero inoxidable (grado alimenticio) para la fabricación de todas las superficies de contacto, responde a los estrictos requerimientos de higiene e inocuidad establecidos para la industria de bebidas. La estandarización de este material garantiza la eficiencia en las operaciones de limpieza y sanitización, previniendo la contaminación del producto a lo largo de toda la línea de procesamiento.

#### 4.3.12 Distribución de la planta

Para la estimación de la superficie total requerida en la planta piloto, se consideraron los equipos principales correspondientes a las etapas de recepción, lavado, selección, extracción, filtración, almacenamiento, concentración y envasado. El dimensionamiento espacial se determinó mediante la aplicación del método de Guerchet (Tompkins et al., 2010), estableciendo un coeficiente de evolución (k) de 0,15, valor adecuado para garantizar la correcta operatividad, mantenimiento y circulación del personal en instalaciones de procesamiento de alimentos de pequeña escala.

A partir de estas consideraciones, se calcularon las áreas requeridas para cada componente del sistema productivo. El mismo procedimiento fue aplicado de manera sistemática para todos los equipos, cuyos resultados consolidados se presentan en la **Tabla 26**.

Tabla 26:

*Cálculo de superficie requerida mediante el método Guerchet.*

Actividad	Equipo	n	N	Largo (m)	Ancho (m)	k	Ss	Sg	Se	St
<b>Recepción</b>	Tolva de recepción	1	2	1.20	1.20	0.15	1.44	2.88	0.65	4.97
<b>Lavado</b>	Lavadora de frutas	1	2	2.00	1.20	0.15	2.40	4.80	1.08	8.28
<b>Selección</b>	Mesa de selección	1	2	1.80	0.80	0.15	1.44	2.88	0.65	4.97
<b>Extracción</b>	Extractor tipo Reamer	1	2	1.50	1.20	0.15	1.80	3.60	0.81	6.21
<b>Filtración</b>	Tamiz vibratorio	1	2	1.20	0.80	0.15	0.96	1.92	0.43	3.31
<b>Almacenamiento jugo</b>	Tanque almacenamiento	1	2	1.50	1.50	0.15	2.25	4.50	1.01	7.76
<b>Pasteurización</b>	Tanque	1	2	1.50	1.50	0.15	2.25	4.50	1.01	7.76



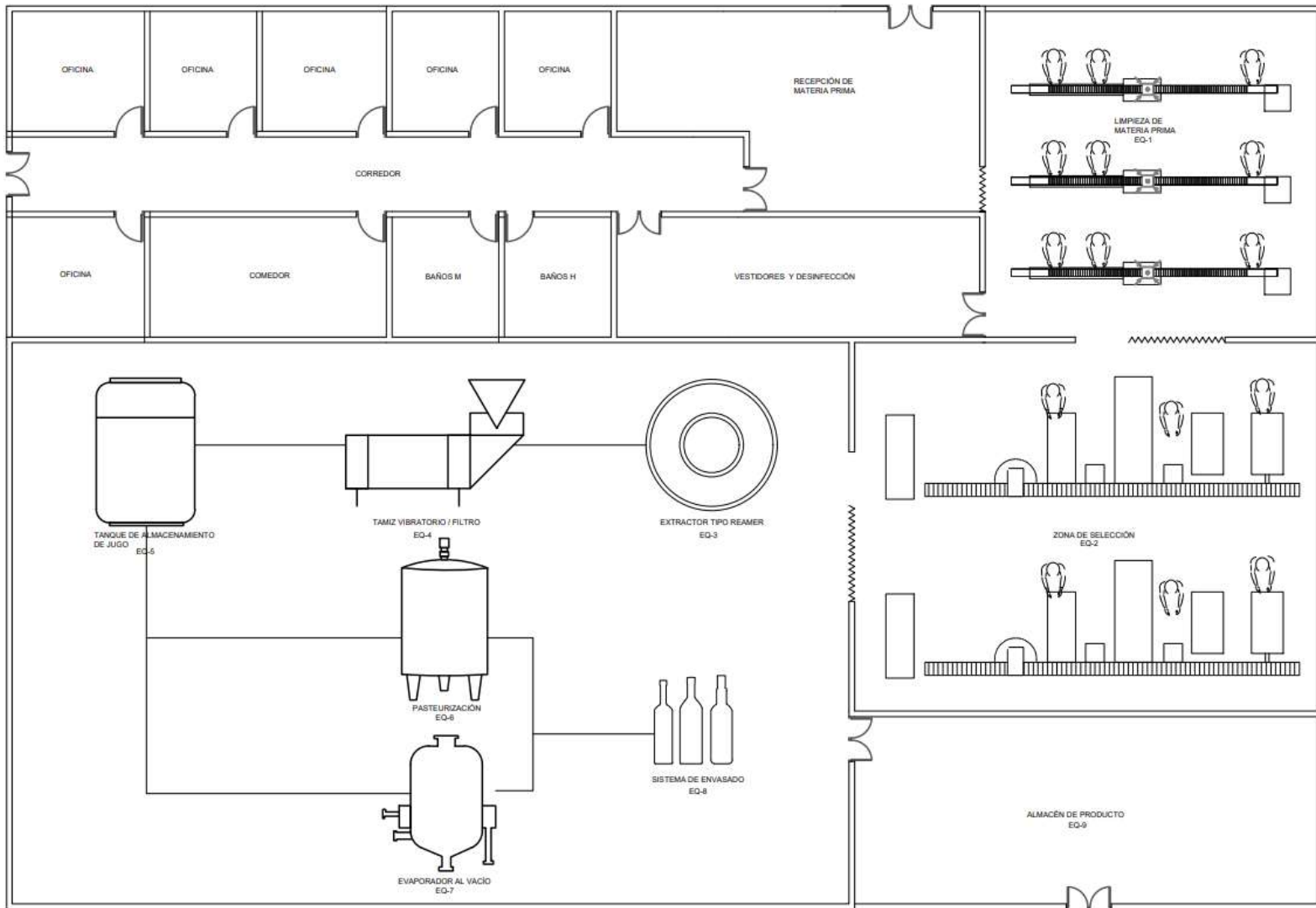


Figura 9: Distribución general de la planta piloto para la producción de zumo de limón concentrado y no concentrado

Fuente: Elaboración propia.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES

1. La caracterización fisicoquímica del limón Meyer (*Citrus × meyeri*) determinó que los parámetros de sólidos solubles, pH, acidez cítrica y densidad se encuentran dentro de los rangos óptimos reportados en la literatura agroindustrial. Estos resultados confirman la viabilidad técnica y la calidad de la materia prima analizada para su procesamiento en la obtención de zumos concentrados y no concentrados.
2. El análisis tecnológico, enfocado en las condiciones operativas y restricciones de la zona de Imbabura, determinó que el uso combinado de un extractor tipo *reamer* y un evaporador al vacío constituye la alternativa tecnológica más eficiente. El extractor garantiza una óptima adaptabilidad a pequeña escala y facilidad de operación; mientras que la evaporación al vacío se consolida como el mejor método de concentración, ya que permite reducir el contenido de agua a temperaturas inferiores al punto de ebullición, preservando las propiedades sensoriales y nutricionales del producto frente al daño térmico.
3. El desarrollo de la ingeniería básica permitió estructurar integralmente la línea de producción a escala piloto con una capacidad operativa de 20 L/h (0,33 L/min). Mediante los balances de materia, se determinó un rendimiento de 20,73 kg de zumo pasteurizado y 3,22 kg de concentrado por cada 100 kg de fruta procesada. Asimismo, se definió estratégicamente la macro localización en Ambuquí para el abastecimiento y la micro localización en Ibarra, estableciendo una distribución espacial (*layout*) optimizada de 70 m<sup>2</sup>, lo cual garantiza el espacio suficiente para la instalación y operación segura de los equipos.
4. En síntesis, la integración técnica de las propiedades de la materia prima, la selección tecnológica adecuada y los cálculos de ingeniería básica permitieron diseñar con éxito una línea de producción a escala piloto técnica y operativamente viable para la obtención de zumo de limón concentrado y no concentrado.

## **RECOMENDACIONES**

1. Estudiar a escala piloto las condiciones de operación propuestas para el proceso de extracción y concentración del zumo de limón, con el fin de optimizar el proceso de concentración del zumo de limón.
2. Evaluar la posibilidad de aprovechar los desperdicios generados durante el proceso, especialmente la cáscara y las semillas del limón para darles un valor agregado que permita mejorar la rentabilidad del proyecto.
3. Realizar un estudio económico detallado que incluya costos de inversión, costos operativos y proyecciones de rentabilidad, con el fin de evaluar la factibilidad financiera de la implementación de la planta piloto a nivel industrial.
4. Impulsar la agroindustria del en Imbabura mediante el aprovechamiento local, fortaleciendo las cadenas productivas y generando valor añadido para los productores de la zona.
5. Fomentar campañas de capacitación a los productores de alargamiento de vida útil usando métodos caseros de los productos cosechados.

## Referencias

- Berdonces, J. (1998). *Gran enciclopedia de las plantas medicinales: el dioscórdides del tercer milenio*. Madrid : Tikal.
- Bhattacharjee, C., Saxena, V., & Dutta, S. (2017). Procesamiento de jugos de frutas mediante tecnología de membranas: una revisión. *ELSEVIER*, 136-157.
- Carchi, T., Gonzaga, J., & Bravo, M. (2024). Innovación en la tecnología de evaporación al vacío para la recuperación de solventes en la industria química y alimentaria: revisión bibliográfica . *Veritas*, <https://doi.org/10.61616/rvdc.v5i2.152> .
- Chafla, J., & Ávila, W. (2024). *DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE JUGOS Y NÉCTARES UTILIZANDO PLC Y SCADA*. Universidad Saleciana del Ecuador. doi:<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29086/1/UPS-GT005778.pdf>
- Control Sanitario. (18 de 6 de 2001). Obtenido de <https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/REGLAMENTOS-DE-ALIMENTOS.pdf#:~:text=Art.%2057.%20%2D%20Las%20plantas%20industriales%20procesadoras,%C3%A1reas%20de%20vivienda%20y%20focos%20de%20insalubridad.>
- Ecuador en Cifras. (2012). *Sistema Integrado de Consultas de Clasificación y Nomenclaturas*. Obtenido de [https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co\\_agricola.php?id=01322.01.02](https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/co_agricola.php?id=01322.01.02)
- EDIBON. (2025). Obtenido de <https://www.edibon.com/es/planta-piloto-de-produccion-de-zumo-concentrado>
- Federación Española de Insutrias de Alimentación y Bebidas. (2019). *FIAB*. Obtenido de <https://fiab.es/wp-content/uploads/2017/12/ESTUDIO-SECTORIAL-DE-INDUSTRIAS-DE-ELABORACION%CC%81N-DE-BEBIDAS.pdf>
- Fundación Española de la Nutrición. (2012). Valor Nutricional de los limones. *Asociación Interprofesional del limón y pomelo*, 16.
- García-Martínez, R.-G. M.-B. (2021). Advances in fruit juice concentration processes: Effects on quality and bioactive compounds. *Food Research International*, 140.
- HAUSWORLD. (2025). Obtenido de <https://www.hausworld.com/aplicacion%3Bn-79-Processamiento-de-Citricos.html>
- Istockphoto. (2025). Obtenido de <https://www.istockphoto.com/es/fotos/lim%C3%B3n-meyer>
- Johnson, T. (2001). *La Producción De Zumo De Cítricos Y La Aplicación De Tecnología Al Mercado De Productos Frescos*. Lakeland, USA.: FAO.
- Julian Soler. (11 de 3 de 2024). *Julian Soler*. Obtenido de <https://juliansoler.com/zumo-de-limon-concentrado-un-ingrediente-versatil-en-la-industria-alimentaria/>
- Khaksar, G., Assatarakul, K., & Sirikantaramas, S. (2019). Efecto del prensado en frío y del jugo centrífugo normal sobre los atributos de calidad de los jugos frescos: ¿Los jugos prensados en frío poseen una calidad nutricional y una capacidad antioxidante superiores. *HELIYON*, 10.
- Llorente, J. (2015). *Caracterización del zumo de limón español (Citrus limon (L.) Burm.) y valorización de subproductos industriales*. Lleida: Universidad de Lleida.
- Medina, V. (2007). *Determinación de las características físicas y químicas del limón meyer*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- Ministerio de Economía de la República de Argentina. (2021). Tecnologías para la Industria Alimentaria-Altas presiones hidrostáticas. *Dirección Nacional de Alimentos y Desarrollo Regional*, 13.
- Noori, H., & Radford, R. (1997). *Administración de Operaciones-Calidad Total y Respuesta Sensible y Rápida*. McGrawHill.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2025). *FAO*. Obtenido de <https://www.fao.org/home/es>
- Pupiales, E. (2021). *INCIDENCIA DE LA PASTEURIZACIÓN LENTA EN LA CAPACIDAD*

*ANTIOXIDANTE HIDROSOLUBLE, CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y LAS PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL JUGO DEL LIMÓN MEYER.* Ibarra: UTN.

Ranjeet Handibag, D. U. (2021). Optimización del diseño de plantas para industrias de pequeña y mediana escala. *Revista Internacional de Investigación y Tecnología en Ingeniería* , 516-520.

Santos, L. E. (2001). *Localización y distribución de plantas agroindustriales.* Palmira: DIPAL.

Schroeder, R. (1992). *Administración de Operaciones.* México : McGrawHill.

Villalobos, N., Chamorro, O., & Fontálvo, T. (2002). *Gestión de la Producción y Operaciones.* Lima-Perú: UTEC.

## ANEXOS

### Anexo 1

Análisis fisicoquímico del zumo de limón  
Brix

Estado de madurez



pH



Densidad



Ácido cítrico



## Anexo 2 Informe de Compilatio



### Informe de análisis

Compilatio Magister+ | UTN-ECU - UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

tesis

ID : 157cbf4b6468db81771356f3295e682c39ac1bac



7%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : tesis.txt  
Tamaño del archivo original : 1,08 MB  
Número de palabras : 15.757  
Número de caracteres : 102451

Depositante : Juan Carlos De La Vega Quintero  
Fecha de depósito : 6 de marzo de 2026  
Tipo de carga : interface  
fecha de fin de análisis : 6 de marzo de 2026

### Resumen (sección 1/3)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

**Similitudes** 2%  
Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



**Detección de IA** 3%  
Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA. Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.



**Idiomas no reconocidos** 2%  
Pasajes en los que parte del vocabulario utilizado no forma parte del diccionario de la lengua. Puede tratarse de un intento del autor de modificar el texto para evitar ser detectado.



No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

**Textos entre comillas** <1%  
Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.