

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



**“DISEÑO DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN A ESCALA PILOTO DE**  
**PROCESAMIENTO DE HARINA DE CÍTRICOS”**

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

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

**AUTOR:**

KARLA CHENOA RIVERA PUMA

**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> | 1005216401               |                        |            |
| <b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b> | Karla Chenoa Rivera Puma |                        |            |
| <b>DIRECCIÓN:</b>           | Tabacundo                |                        |            |
| <b>EMAIL:</b>               | kcriverap@utn.edu.ec     |                        |            |
| <b>TELÉFONO FIJO:</b>       | -                        | <b>TELÉFONO MÓVIL:</b> | 0959931492 |

| DATOS DE LA OBRA               |  |
|--------------------------------|--|
| <b>TÍTULO:</b>                 | Diseño de línea de producción a escala piloto de procesamiento de harina de cítricos         |
| <b>AUTOR (ES):</b>             | Karla Chenoa Rivera Puma   |
| <b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>       | 04/03/2026   |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO    |  |
| <b>PROGRAMA:</b>               | <input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b> |
| <b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b> | Ingeniera 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 desarrollo, sin los derechos de autores terceros, por lo tanto, la obra es original y 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 04 días del mes de marzo del 2026

### **EL AUTOR:**

Karla Chenoa Rivera Puma  
C.I.: 1005216401

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

Ibarra, 04 de marzo del 2026

Ing. Juan Carlos de la Vega Quintero MSc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**CERTIFICA:**

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas 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.*

*C.C:*

## **APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR**

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular “Diseño de línea de producción a escala piloto de procesamiento de harina de cítricos” elaborado por Karla Chenoa Rivera Puma previo a la obtención del título de Ingeniera en Agroindustria, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte.

*(f)*.....

*Ing. Juan Carlos de la Vega MSc.*

*C.C: 1002958856*

*(f)*.....

*Dr.C Marco Lara Fiallios PhD*

*C.C: 1717227761*

## **PRESENTACIÓN**

Yo, KARLA CHENOA RIVERA PUMA como autor de la Tesis Titulada **“DISEÑO DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN A ESCALA PILOTO DE PROCESAMIENTO DE HARINA DE CÍTRICOS”** me hago responsable de los resultados, discusión, conclusiones y demás parte de la investigación; y pongo este documento como fuente de apoyo para consultas dirigidas a todos los estudiantes.

## **AGRADECIMIENTO**

*A mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y por ser el pilar en mi vida y en mi formación.*

*A mis hermanas, por su complicidad, apoyo y palabras de aliento.*

*A mi pareja, por su paciencia, su comprensión durante las largas horas de trabajo y por ser mi refugio y mi sostén constante en todo momento.*

*Expreso mi especial gratitud a mi director de tesis, Ing. Juan Carlos de la Vega, y a mi asesor, Ing. Marco Lara, por su guía y dedicación en cada etapa de este proyecto.*

*Finalmente, a todos los amigos y familiares que, de una u otra forma, me brindaron su apoyo y me animaron a seguir adelante.*

## **DEDICATORIA**

*A mi hermano.*

*Tu recuerdo ha sido mi inspiración y mi fuerza en cada paso de este camino.*

# ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |       |
|--|-------|
| RESUMEN .....  | xv    |
| ABSTRACT .....   | xvii  |
| LISTA DE SIGLAS .....  | xviii |
| CAPÍTULO I .....   | 1     |
| INTRODUCCIÓN .....   | 1     |
| 1.1. ANTECEDENTES .....  | 1     |
| 1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....   | 3     |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN .....   | 4     |
| 1.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....  | 5     |
| 1.5. OBJETIVOS .....   | 5     |
| 1.5.1. Objetivo General .....  | 5     |
| 1.5.2. Objetivos Específicos .....   | 5     |
| CAPÍTULO II .....  | 7     |
| MARCO TEÓRICO .....  | 7     |
| 2.1. RESIDUO AGROINDUSTRIAL CÍTRICO .....  | 7     |
| 2.1.1. Características de la Cáscara de Limón .....                              | 8     |
| 2.1.2. Productos de cáscara de limón .....                                       | 9     |
| 2.1.3. Harina de Cáscara de Limón .....  | 9     |
| 2.1.4. Métodos de Procesamiento de la Harina a partir de Cáscaras de Limón ..... | 10    |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.2.   | DE LABORATORIO A ESCALA PILOTO.....   | 11 |
| 2.3.   | DISEÑO DE PLANTA Y METODOLOGÍA DE INGENIERÍA DE PROYECTO .....  | 12 |
| 2.3.1. | Fundamentos del Diseño de Planta.....   | 12 |
| 2.3.2. | Tipos de Distribución de Planta .....   | 13 |
| 2.3.3. | Metodología de Planificación Sistemática de la Distribución (SLP).....  | 13 |
| 2.3.4. | Principios de Diseño para Plantas Alimentarias.....   | 13 |
| 2.3.5. | Fases de la Ingeniería de un Proyecto .....   | 14 |
|        | CAPÍTULO III .....  | 15 |
|        | MATERIALES Y MÉTODOS.....   | 15 |
| 3.1.   | TIPO DE INVESTIGACIÓN.....  | 15 |
| 3.2.   | IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LAS CÁSCARAS DE CÍTRICOS.....   | 15 |
| 3.2.1. | Caracterización Fisicoquímica: .....  | 16 |
| 3.3.   | ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE PROCESAMIENTO DE TRANSFORMACIÓN DE LAS CÁSCARAS DE CÍTRICOS EN HARINA PARA LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA. .... | 18 |
| 3.3.1. | Definición y Ponderación de Criterios de Evaluación .....   | 19 |
| 3.3.2. | Escala de Calificación y Proceso de Evaluación .....  | 20 |
| 3.4.   | DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE CÁSCARA DE CÍTRICOS .....   | 21 |
| 3.4.1. | Definición de la Capacidad de Producción.....   | 22 |

|                                      |   |    |
|--------------------------------------|---|----|
| 3.4.2.                               | Localización de la Planta .....   | 22 |
| 3.4.3.                               | Desarrollo de la Ingeniería Básica.....   | 24 |
| CAPÍTULO IV .....                    |   | 27 |
| RESULTADOS Y DICUSIÓN .....          |   | 27 |
| 4.1.                                 | CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA CÁSCARA DE LIMÓN .....                              | 27 |
| 4.1.1.                               | Resultados de los Análisis y Comparación .....  | 27 |
| 4.2.                                 | ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE PROCESAMIENTO.....                            | 29 |
| 4.2.1.                               | Resultados de la Matriz de Decisión .....   | 30 |
| 4.2.2.                               | Selección y Justificación de la Metodología para la Transición a la Escala Piloto ..... | 32 |
| 4.3.                                 | DESARROLLO DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN .....   | 33 |
| 4.3.1.                               | Definición de la Capacidad de Producción.....   | 33 |
| 4.3.2.                               | Análisis de la Localización de la Planta .....  | 39 |
| 4.3.3.                               | Desarrollo de la Ingeniería Básica.....   | 41 |
| CAPÍTULO V .....                     |   | 56 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... |   | 56 |
| 5.1.                                 | CONCLUSIONES.....   | 56 |
| 5.2.                                 | RECOMENDACIONES .....   | 57 |
| REFERENCIAS .....                    |   | 58 |

ANEXOS .....66

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 2.1</b> <i>Componentes del limón</i> .....   | 7  |
| <b>Figura 3.1</b> <i>Rango de valores de Índice de Color en Cítricos (ICC)</i> . .....                   | 15 |
| <b>Figura 4.1</b> <i>Diagrama de flujo de proceso de harina de cáscara de limón</i> .....                | 44 |
| <b>Figura 4.2.</b> <i>Diagrama de relación de actividades para la planta de harina de cítricos</i> ..... | 50 |
| <b>Figura 4.3</b> <i>Diagrama de relaciones de espacio</i> .....   | 52 |
| <b>Figura 4.4</b> <i>Alternativa de layout 1 (Flujo en U)</i> .....                                      | 53 |
| <b>Figura 4.5</b> <i>Alternativa de layout 2 (Flujo en I)</i> .....                                      | 53 |
| <b>Figura 4.6</b> <i>Layout detallado</i> .....  | 55 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro 2.1.</b> <i>Características fisicoquímicas de la cáscara de limón</i> .....                                | 8  |
| <b>Cuadro 3.1</b> <i>Esquema de matriz de decisión de las alternativas para la selección de la metodología</i> ..... | 19 |
| <b>Cuadro 4.1</b> <i>Resultados de la caracterización fisicoquímica</i> .....  | 27 |
| <b>Cuadro 4.2</b> <i>Matriz de decisión para la selección de la metodología de procesamiento</i> .....               | 30 |
| <b>Cuadro 4.3</b> <i>Resumen analítico de las metodologías evaluadas</i> .....                                       | 30 |
| <b>Cuadro 4.4</b> <i>Análisis competitivo del nicho de harinas funcionales en Ecuador</i> .....                      | 34 |
| <b>Cuadro 4.5</b> <i>Cuantificación del mercado potencial para la harina de cítricos en Ibarra</i> .....             | 37 |
| <b>Cuadro 4.6</b> <i>Demanda diría potencial</i> .....   | 38 |
| <b>Cuadro 4.7</b> <i>Procesamiento de datos de ubicaciones potenciales</i> .....                                     | 40 |
| <b>Cuadro 4.8</b> <i>Matriz de decisión para la localización de la planta</i> .....                                  | 40 |
| <b>Cuadro 4.9</b> <i>Codificación y simbología de cada equipo</i> .....  | 42 |
| <b>Cuadro 4.10</b> <i>Datos promedio del balance de masa experimental</i> .....                                      | 43 |
| <b>Cuadro 4.11</b> <i>Rendimientos promedio del proceso por etapa</i> .....  | 43 |
| <b>Cuadro 4.12</b> <i>Descripción secuencial de las corrientes del proceso</i> .....                                 | 44 |
| <b>Cuadro 4.13</b> <i>Tabla de corrientes del proceso</i> .....  | 45 |
| <b>Cuadro 4.14</b> <i>Cursograma analítico del proceso de producción de harina de cáscara de limón</i><br>.....      | 47 |
| <b>Cuadro 4.15</b> <i>Requerimientos de espacio por área funcional</i> .....   | 48 |
| <b>Cuadro 4.16</b> <i>Codificaciones de actividades y áreas funcionales de la planta piloto</i> .....                | 49 |
| <b>Cuadro 4.17</b> <i>Matriz de evaluación de alternativas de layout</i> .....                                       | 54 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|  |    |
|--|----|
| <b>Anexo 1.</b> <i>Análisis de acidez</i> .....  | 66 |
| <b>Anexo 2.</b> <i>Análisis de pH</i> .....  | 66 |
| <b>Anexo 3.</b> <i>Análisis de humedad</i> .....   | 66 |
| <b>Anexo 4.</b> <i>Análisis de grasa</i> .....   | 67 |
| <b>Anexo 5.</b> <i>Análisis de proteína</i> .....  | 67 |
| <b>Anexo 6.</b> <i>Distancia aproximada ubicación A con respecto a CITRONSAFT</i> .....  | 68 |
| <b>Anexo 7.</b> <i>Distancia aproximada ubicación B con respecto a CITRONSAFT</i> .....  | 68 |
| <b>Anexo 8.</b> <i>Distancia aproximada ubicación C con respecto a CITRONSAFT</i> .....  | 68 |
| <b>Anexo 9.</b> <i>Materia prima (Cáscara de limón)</i> .....                            | 69 |
| <b>Anexo 10.</b> <i>Limpieza de las cáscaras de limón</i> .....                          | 69 |
| <b>Anexo 11.</b> <i>Cortado de las cáscaras de limón</i> .....                           | 69 |
| <b>Anexo 12.</b> <i>Desamargado de las cáscaras de limón</i> .....                       | 69 |
| <b>Anexo 13.</b> <i>Proceso de secado de las cáscaras de limón</i> .....                 | 70 |
| <b>Anexo 14.</b> <i>Cáscara de limón deshidratada</i> .....                              | 70 |
| <b>Anexo 15.</b> <i>Proceso de molienda de la cáscara de limón deshidratadas</i> .....   | 70 |
| <b>Anexo 16.</b> <i>Proceso de tamizado de las cáscaras de limón deshidratadas</i> ..... | 71 |
| <b>Anexo 17.</b> <i>Harina de cáscara de limón</i> .....                                 | 71 |
| <b>Anexo 18.</b> <i>Certificado de análisis</i> .....                                    | 72 |

## RESUMEN

Esta investigación aborda la valorización de residuos de la agroindustria de cítricos mediante el diseño de una línea de producción a escala piloto para transformar la cáscara de limón en harina. El objetivo principal fue desarrollar la ingeniería básica de dicha planta, definiendo su proceso, capacidad y distribución física. La metodología incluyó una caracterización fisicoquímica experimental de la materia prima, un análisis comparativo para la selección de tecnología y la aplicación de la planificación sistemática de la distribución para el diseño del *layout*. Se realizó un balance de masa experimental, el cual fue fundamental para validar el diseño. Los resultados determinaron un rendimiento global del proceso del 6,21 %. Este dato, junto con un análisis de mercado, permitió establecer una capacidad de diseño de 350 kg / día de materia prima. La ingeniería básica desarrollada incluye el diagrama de flujo de proceso cuantificado, la lista de equipos dimensionados y un plano de distribución final de 270 m<sup>2</sup> con un flujo en U que asegura la eficiencia y la seguridad alimentaria. Se concluye que el diseño propuesto es técnicamente viable y proporciona una solución de ingeniería completa para transformar un residuo en un producto de alto valor agregado, alineado con los principios de la economía circular.

**Palabras clave:** harina de cítricos, valorización de residuos, diseño de plantas, ingeniería de procesos, balance de masa, *layout*.

## ABSTRACT

This research addresses the recovery of waste from the citrus agroindustry through the design of a pilot-scale production line to transform lemon peel into flour. The main objective was to develop the basic engineering of this plant, defining its process, capacity, and physical layout. The methodology included an experimental physicochemical characterization of the raw material, a comparative analysis for technology selection, and the application of systematic distribution planning for the layout design. An experimental mass balance was performed, which was essential for validating the design. The results determined an overall process yield of 6,21%. This data, together with a market analysis, allowed a design capacity of 350 kg/day of raw material to be established. The basic engineering developed includes the quantified process flow diagram, the list of sized equipment, and a final distribution plan of 270 m<sup>2</sup> with a U-shaped flow that ensures efficiency and food safety. It is concluded that the proposed design is technically feasible and provides a complete engineering solution for transforming waste into a high value-added product, in line with the principles of the circular economy.

**Keywords:** citrus flour, waste recovery, plant design, process engineering, mass balance, layout.

## LISTA DE SIGLAS

**INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalización

**SLP:** Planificación Sistemática de la Distribución

**BPM:** Buenas Prácticas de Manufactura

**ICC:** Índice de Color en Cítricos

**AOAC:** Asociación de Químicos Analíticos Oficiales

**GAD:** Gobiernos Autónomos Descentralizados

**PDF:** Diagrama de Flujo de Proceso

**ISO:** Organización Internacional de Normalización

**PDOT:** Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

La industria alimentaria es una de las más relevantes a nivel global, enfocada en producir bienes para el consumo humano. Esta actividad, en todas sus etapas, genera residuos que se intentan aprovechar, reutilizar o revalorizar. Una parte significativa de la industria utiliza materias primas como las frutas, siendo los cítricos un grupo destacado. Una opción es revalorizar y utilizar los desechos de cáscara de cítricos para crear productos con valor añadido (Muñoz, 2020).

Muchos estudios se han desarrollado en la caracterización de harinas provenientes de frutos cítricos, por ejemplo, Rincón *et al.* (2005) analizaron la composición química y compuestos bioactivos de las harinas de cascara de naranja, mandarina y toronja cultivadas en Venezuela. Determinaron que la cáscara de mandarina presentó el mayor contenido de magnesio, carotenoides y fibra dietética total, así como también, que presento la más alta eficiencia antirradical, un atributo directamente relacionado con su contenido de polifenoles, mientras que en la de toronja, el ácido ascórbico y zinc presentaron valores mayores. Su estudio concluyó que, desde una perspectiva nutricional la cáscara de mandarina destacaba por su potencial para contribuir a la prevención de enfermedades cardiovasculares, gracias a su alta actividad contra la oxidación de lípidos.

Chumo y Rodríguez (2018) en su investigación sobre la influencia de la sustitución parcial de harinas de cáscara de frutas en perfil de textura y calidad nutricional de una galleta, estudiaron el efecto de sustituir parcialmente harina de trigo por harinas de cáscara de naranja y piña (5 %, 10 %, 15 %) en galletas. Los diferentes análisis fisicoquímicos, de textura y evaluación sensorial demostraron que el mejor tratamiento fue el de 10 % harina de cáscara de piña en olor y sabor, en cuanto al análisis de fibra dietética obtuvieron un 10,8 % y los análisis microbiológicos mesófilos, mohos y levaduras estaban dentro de lo que establece la norma NTE INEN 2085.

Gómez *et al.* (2018) en su investigación evaluaron la harina de cáscara de limón tahití

con el fin de utilizarla como sustituto de grasa en una torta tipo casera. Su metodología abarcó la optimización del proceso de secado para obtener la harina, la caracterización química de la cáscara, la harina y la torta, así como una evaluación sensorial de esta última. Definieron que el secado a 85 °C por 20 horas ofrecía mejores resultados, recomendando ampliar el diseño experimental para futuros trabajos. El estudio demostró que la harina de cáscara de limón Tahití es rica en fibra y carbohidratos, y que la sustitución del 25% de la grasa en la torta generaba las características sensoriales más favorables.

Por su parte, Baños *et al.* (2020) se enfocaron en la caracterización de la harina de naranja (*Citrus x sinensis*) para su uso en alimentos. Mediante análisis fisicoquímicos, funcionales y microbiológicos determinaron que la harina poseía un contenido de humedad ( $8,73 \pm 0,11$  %) adecuado para su almacenamiento, así mismo comprobaron una concentración de proteínas del  $5,63 \pm 0,14$  % y que además posee una buena fuente de fibra ( $39,52 \pm 2,08$  %) que la convierte en un ingrediente viable para su incorporación en diversas preparaciones alimenticias. Los análisis microbiológicos revelaron que la cantidad de microorganismos mesófilos se encontraba dentro de los límites establecidos para harinas, como la de trigo, lo que sugiere su seguridad para el consumo.

Chappalwar *et al.* (2021) estudiaron la eficacia del albedo de limón como sustituto de grasa para el desarrollo de hamburguesas de pollo ultra bajas en grasa, en su estudio utilizaron harina de albedo de limón para preparar hamburguesas de pollo con muy bajo contenido de grasa. Los resultados más favorables del análisis sensorial se obtuvieron al añadir hasta un 1 % de harina; sin embargo, al incorporar un 2 o 3 %, los panelistas notaron un sabor más amargo y dieron calificaciones menos positivas.

Abdel-Naeem *et al.* (2022) en su estudio sobre el efecto antioxidante y antibacteriano de los polvos de cáscara de frutas en las hamburguesas de pollo, analizaron cómo la adición de polvos de cáscara de limón, naranja, pomelo y plátano (1 % de cada uno) influía en la estabilidad oxidativa, la calidad higiénica, las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de las hamburguesas durante un periodo de tres meses de almacenamiento a -18 °C. Sus hallazgos revelaron que todos los tratamientos mostraron una actividad antioxidante y antibacteriana superior a las de la muestra de control, adicionalmente, observaron una reducción del pH, atribuida a la presencia de compuestos fenólicos en las harinas.

Por su parte, Vinueza *et al.* (2023) evaluaron la adición de harina de cáscara de frutas cítricas (limón, naranja y piña) en la elaboración de pasta tipo tallarín, aplicando un diseño unifactorial y realizando evaluaciones sensoriales (color, olor, textura, sabor y aceptabilidad), caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas del mejor tratamiento el cual fue el de harina de cáscara de obteniendo una humedad de 13,7 %, proteína 11,3 %, ácido sulfúrico 0,44 %, mohos y levaduras 4,2 UPML / g.

Aunque es evidente que existe información sobre las harinas de frutos cítricos, en la zona 1 del Ecuador, es escasa la aplicación e investigación relacionada a este tema, a pesar de las potencialidades de la zona. Es por ello por lo que este trabajo se enfoca en analizar la posibilidad de desarrollar una planta de procesamiento de harina a partir de frutos cítricos en la zona norte del Ecuador. Considerando las propiedades del fruto más relevante de la zona (limón Meyer) así como la selección de la tecnología más adaptable a las condiciones del sector y el posterior análisis de la ingeniería básica de la planta de procesamiento.

## **1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

La creciente producción agrícola y agroindustrial de cítricos en Ecuador ha generado un volumen significativo de residuos, particularmente de cáscaras de cítricos, lo que plantea un serio desafío ambiental. Estos residuos, al no ser gestionados adecuadamente, se convierten en focos de contaminación, contribuyendo a problemas sanitarios derivados de su descomposición orgánica (Moreno *et al.*, 2024). A pesar de que las cáscaras de cítricos poseen un alto potencial para ser transformadas en productos de valor agregado, su aprovechamiento en Ecuador es aún incipiente, lo que limita considerablemente las oportunidades de reducir los impactos ambientales negativos asociados a su disposición.

La industria harinera en Ecuador depende en gran medida de la importación de trigo. La producción nacional de este cereal es insuficiente para satisfacer la demanda interna, este sector se ve obligando a importar entre el 90% y el 95% del trigo utilizado en la producción de derivados como pan y pastas (Holguín & Alvarado, 2017). Esta dependencia de importaciones subraya la necesidad de explorar y desarrollar alternativas locales para la fabricación de subproductos con valor agregado, lo que incluye la utilización de residuos agrícolas como las

cáscaras de cítricos. Sin embargo, la falta de infraestructura adecuada y de tecnología para el procesamiento de subproductos cítricos en el país limita las oportunidades de los productores para innovar y diversificar sus productos.

Sumado a esto, la agroindustria local se enfrenta a un reto importante debido a la falta de iniciativas y la limitada investigación en metodologías eficientes para el procesamiento de estos residuos. En este contexto, el desarrollo de una línea de producción a escala piloto, destinada a la obtención de harina de cáscaras de cítricos, se presenta como una solución viable que no solo contribuirá a reducir el volumen de residuos generados, sino que también a diversificar las opciones de materias primas en la industria alimentaria ecuatoriana.

### **1.3.JUSTIFICACIÓN**

La industria alimentaria, en particular la de los cítricos, puede generar un impacto ambiental significativo si sus residuos no son gestionados adecuadamente. De los 120 millones de toneladas de fruta generadas anualmente, entre el 30 % a 40 % del peso son cáscaras (Facundo, 2023). Este fenómeno se refleja a nivel nacional, donde, según datos de Zambrano (2020), las cáscaras de cítricos representan el 57% de las 375 mil toneladas de residuos sólidos urbanos generados cada año en Ecuador.

Este panorama presenta una oportunidad para dar valor a estos residuos, transformándolos en productos de alto valor agregado como la harina de cáscaras de cítricos. Este cambio no solo impulsaría a la sostenibilidad ambiental, sino que también fomentaría el desarrollo e innovación dentro del sector agroalimentario.

El interés en valorizar estos residuos radica en su rica composición química. Las cáscaras de cítricos son una fuente de nutrientes y compuestos bioactivos, como fibra dietética, flavonoides y aceites esenciales, lo que les otorga un gran potencial para ser empleados como ingredientes funcionales, tanto en la industria de alimentos como en la farmacéutica (Arboleda, 2020). Diversas investigaciones han evidenciado que la incorporación de harinas derivadas de estos subproductos en alimentos no solo mejora su valor nutricional, sino que también puede aportar beneficios para la salud, como una mejor digestión y una potencial disminución de desarrollar enfermedades cardiovasculares.

En este contexto, la investigación sobre métodos de procesamiento de cáscaras de cítricos para la producción de harina además de tener una relevancia nutricional, se alinea con los principios de la economía circular, favoreciendo la valorización de residuos y promueve la sostenibilidad en la agroindustria.

Por lo cual, el presente trabajo tiene como finalidad diseñar una línea de producción que no solo permita aprovechar las cáscaras de cítricos, también, que facilite la investigación e implementación de nuevas tecnologías que consigan optimizar los procesos de producción. Resultando en una oportunidad para la transformación de los residuos de cítricos en un recurso valioso, impulsando y promoviendo la sostenibilidad, la innovación y el desarrollo del sector agroindustrial.

#### **1.4.PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

¿Cuáles son las principales consideraciones que se deben tomar en cuenta al llevar el proceso de obtención de harina de escala laboratorio a escala piloto?

¿Cuál es la metodología que tiene mayor efectividad para la obtención de harina de alta calidad a partir de residuos cítricos, teniendo en cuenta las restricciones y limitaciones del lugar donde se desea instalar?

#### **1.5.OBJETIVOS**

##### **1.5.1. Objetivo General**

Diseñar una línea de producción de harina a partir de cáscara de frutos cítricos.

##### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Identificar las características fisicoquímicas de las cáscaras de cítricos para la determinación de los parámetros de operación iniciales.
- Analizar diferentes métodos de procesamiento de transformación de las cáscaras de

cítricos en harina para la selección de tecnología.

- Desarrollar la ingeniería básica para la línea de producción de harina de cáscara de cítricos.

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

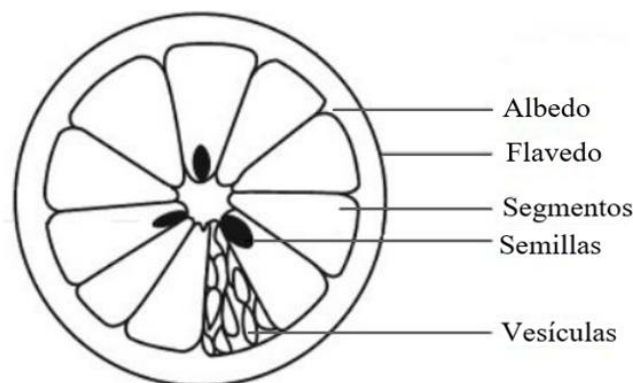
### 2.1.RESIDUO AGROINDUSTRIAL CÍTRICO

Según Cañarte *et al.* (2019) la producción de cítricos en Ecuador se concentra principalmente en la región litoral, con una producción de 10.219 hectáreas en cultivos como naranja, limón y mandarina. Manabí, Imbabura y Pichincha son otras de las provincias del Ecuador que lideran en la producción de cítricos, mostrando tendencias positivas impulsadas por acuerdos comerciales y desarrollo de nuevas variedades, posicionándolo como un productor cítrico relevante con potencial de expansión y diversificación. (Granda Jaramillo, 2021). En Ecuador, se cultivan diversas variedades de limón como el sutil, criollo, Tahití y Meyer, cada una con diferentes propiedades fisicoquímicas y estructurales (*Figura 2.1*) (El Comercio, 2011).

Puente (2006) en su investigación de la determinación de las características fisicoquímicas del limón, señala que en Ecuador existe un desconocimiento sobre este tema, lo que ha limitado su aprovechamiento industrial. Por lo que, uno de los impedimentos para el desarrollo de procesos estandarizados para la valorización de subproductos como la cáscara es la escasez de información, lo que provoca que su uso a pequeña escala sea limitado y que se desaproveche el potencial considerable como materia prima para ser usado como ingrediente funcional (Arboleda, 2020).

**Figura 2.1**

*Componentes del limón*



*Nota:* El gráfico muestra las partes del limón. Tomado de *Springer Nature Link*, por Sangeeta, A., *et al.*, (2024)

### 2.1.1. Características de la Cáscara de Limón

La cáscara de limón, representa aproximadamente entre el 30 % y 34 % del peso total del fruto, está compuesta principalmente por dos capas: el flavedo y el albedo (Facundo, 2023). Sus características fisicoquímicas se evidencian en el cuadro 2.1.

**Cuadro 2.1.**

*Características fisicoquímicas de la cáscara de limón*

| Análisis         | Cáscara de limón (100g) |
|------------------|-------------------------|
| pH               | 4,26 ± 0,02             |
| Acidez titulable | 0,83 ± 0,04             |
| Humedad          | 78,85 ± 0,10            |
| Proteína         | 1,94 ± 0,47             |
| Grasa            | 0,13 ± 0,02             |
| Carbohidratos    | 18,39 ± 0,04            |
| Fibra            | 12,18 ± 0,07            |
| Azúcares         | 4,79 ± 0,16             |
| Ceniza           | 0,69 ± 0,06             |

*Nota:* la tabla muestra las características fisicoquímicas de la cáscara de limón en el estudio realizado por Gomez *et al.* (2018)

Los parámetros fisicoquímicos de la cáscara de limón fresca son los datos de entrada críticos para el diseño de equipos. El contenido de humedad inicial, reportado por Gómez *et al.* (2018) en torno al 78,85 %, es el factor más determinante para la operación de secado, debido a que este define el tiempo que tarda en evaporarse el agua de la cáscara. El pH ácido de la cáscara, con un valor aproximado de 4,26, exige el uso de materiales resistentes a la corrosión para todos los equipos en contacto con el producto, siendo el acero inoxidable de grado alimenticio la elección estándar en la industria (Fellows, 2018). Además, el alto contenido de fibra y otros carbohidratos, como azúcares y pectinas, influyen directamente en la selección de la tecnología de molienda y en los parámetros de secado para evitar reacciones de pardeamiento no enzimático que afectarían negativamente el color y sabor del producto final (Gómez *et al.*, 2018).

### **2.1.2. Productos de cáscara de limón**

En el ámbito alimentario, la cáscara de limón ha dejado de ser considerada un simple residuo agroindustrial para convertirse en una materia prima versátil y funcional en el desarrollo de diversos productos alimenticios. Uno de los principales usos es la harina de cáscara de limón, la cual se incorpora en la elaboración de barras nutritivas, galletas, panes y otros productos de panificación, aportando fibra dietética, compuestos antioxidantes y mejorando el perfil nutricional de los alimentos. Estudios han demostrado que la adición de harina de cáscara de limón en barras alimenticias puede cubrir hasta el 70 % de los requerimientos diarios de fibra y el 100 % de vitamina C en escolares, además de mejorar la aceptabilidad sensorial del producto (León-González & Santos-Villegas, 2020).

Asimismo, otro derivado de la cáscara de limón es la pectina, la cual es un extracto de amplio uso en la industria alimentaria que funciona como agente gelificante y espesante, siendo fundamental para la textura y estabilidad de productos como mermeladas, jaleas y postres lácteos (Noboa, 2024). La cáscara de limón también se emplea como snack, ya sea confitada, cristalizada o deshidratada, ofreciendo una alternativa saludable y rica en compuestos bioactivos. Además, su perfil aromático la hace un ingrediente popular para impartir notas cítricas y frescas en preparaciones tan diversas como infusiones, arroces, pastas y marinados (El Espectador, 2024).

En la industria cárnica, la incorporación de harina proveniente de cáscaras de cítricos en productos como la carne molida y los embutidos ha demostrado que logra extender su vida útil, reduce la carga microbiana y aporta compuestos con actividad antioxidante, sin afectar negativamente las propiedades sensoriales del producto final (Velasquez-Rivera *et al.*, 2024). Estas aplicaciones confirman el potencial de la cáscara de limón como un ingrediente funcional en el desarrollo de alimentos con mayores beneficios nutricionales.

### **2.1.3. Harina de Cáscara de Limón**

La harina de cáscara de limón es un subproducto agroindustrial que ha cobrado gran importancia en la industria alimentaria valorado por su alto contenido de fibra, compuestos bioactivos y antioxidantes naturales (Chumo & Rodríguez, 2018; Abdel-Naeem *et al.*, 2022).

Entre los principales compuestos presentes en esta harina se encuentran flavonoides que poseen propiedades antioxidantes y antimicrobianas, además de aportar fibra soluble e insoluble que mejora la salud digestiva (Saini *et al.*, 2022; Munir *et al.*, 2024). La harina de cáscara de limón se utiliza para enriquecer y mejorar el valor nutricional y funcional de productos panificados y barras nutritivas.

Además, sus propiedades también son beneficiosas para la conservación de alimentos. Gracias a sus componentes antioxidantes y antimicrobianos, la harina de cáscara de limón puede mejorar la estabilidad microbiológica y extender la vida útil de productos cárnicos, sin afectar negativamente sus características organolépticas si se utiliza en concentraciones adecuadas (Velásquez-Rivera *et al.*, 2024). Desde el punto de vista nutricional, este subproducto es una fuente de vitamina C, potasio, calcio y magnesio, minerales asociados a beneficios para la salud cardiovascular, inmunológica y digestiva (Palig, 2022; La Nación, 2022). Su bajo contenido calórico y alto contenido en fibra hace que esta sea una alternativa funcional para el desarrollo de alimentos saludables y sostenibles.

#### **2.1.4. Métodos de Procesamiento de la Harina a partir de Cáscaras de Limón**

La revisión de la literatura, a través de trabajos de autores como Rincón *et al.* (2005), Chumo y Rodríguez (2018), Gómez *et al.* (2018), Abdel-Naeem *et al.* (2022) y varios, revela que el método para la obtención de harina de cáscara de limón es un proceso bien documentado. Si bien se observan particularidades en cada metodología propuesta, existe un consenso sobre el núcleo del proceso. Por tanto, de manera general, se establece que el procesamiento de la harina de cáscara de limón implica varios pasos o etapas como:

- **Lavado y desinfección:** las cáscaras de limón se lavan y desinfectan para eliminar residuos de pesticidas, suciedad y otros contaminantes.
- **Secado:** las cáscaras se secan a una temperatura controlada para reducir su contenido de humedad y facilitar la molienda, este proceso puede realizarse mediante secado por aire caliente o liofilización. El secado por aire caliente es el método más utilizado en plantas piloto por su bajo costo y facilidad operativa, aunque requiere un control riguroso de la temperatura para evitar la degradación de compuestos termolábiles como los aceites esenciales y flavonoides (Misha *et*

*al.*, 2013; Rojas *et al.*, 2023). La liofilización, aunque más costosa, permite conservar mejor los compuestos bioactivos y el aroma característico de la cáscara de limón.

- **Molienda:** las cáscaras secas se muelen hasta obtener un polvo fino, que es la harina de cáscara de limón, estas pueden molerse utilizando molinos de martillos o cuchillas, con el objetivo de alcanzar una granulometría fina menor a 250  $\mu\text{m}$ , adecuada para su incorporación en matrices alimentarias sin afectar la textura del producto final (Fellows, 2018). La molienda debe realizarse bajo condiciones controladas para prevenir el sobrecalentamiento, que podría provocar la pérdida de antioxidantes y otros compuestos funcionales valiosos (Saini *et al.*, 2022).
- **Tamizado:** después de la molienda, la harina de cáscara de limón se tamiza para la obtener de una textura uniforme y retirar cualquier partícula grande que pueda afectar su calidad.
- **Envasado:** la harina se envasa bajo estrictas condiciones higiénicas para su posterior almacenamiento y distribución. El empaque protege el producto contra la humedad y otros contaminantes.

Este proceso integral asegura que la harina de cáscara de limón mantenga sus propiedades nutricionales y funcionales, convirtiéndola en un ingrediente valioso para la industria alimentaria, que busca productos con valor agregado y beneficios para la salud (Velásquez-Rivera *et al.*, 2024). Como cualquier proceso para que sea rentable, es necesario escalarlo, por lo que el análisis de escalamiento forma parte de este trabajo y se detalla en la siguiente sección.

## **2.2.DE LABORATORIO A ESCALA PILOTO**

El escalado de procesos desde laboratorio a planta piloto es una etapa crítica y compleja dentro del desarrollo tecnológico, que presenta numerosos desafíos tanto técnicos como operativos. Entre los principales desafíos se encuentran la adecuada transferencia de calor y masa, el manejo eficiente de balances de energía y el control riguroso de variables operativas para garantizar la calidad y reproducibilidad del producto (Seider *et al.*, 2016). En este escalonamiento, la eficiencia de los equipos disminuye respecto a la escala laboratorio debido a mayores pérdidas térmicas y de producto hacia el ambiente, además de un aumento en los

tiempos de operación, lo que requiere un diseño cuidadoso que considere estas condiciones específicas de la escala piloto (Turton *et al.*, 2018).

La implementación de sistemas automatizados es indispensable para asegurar la estabilidad y uniformidad de las condiciones operativas durante la producción en la planta piloto. Estos sistemas facilitan la supervisión continua de variables como temperatura, humedad y flujo de aire, reduciendo las variaciones que podrían afectar la funcionalidad y calidad del producto final (Seider *et al.*, 2016). La integración de estas tecnologías contribuye a la obtención de un proceso sólido, replicable y escalable, que sirva de base para una posible producción a escala industrial.

En base a esta información, el escalado a planta piloto requiere un enfoque multidisciplinario que combine diseño de equipos, control automatizado y análisis experimental para garantizar la viabilidad técnica y económica del proceso (Dueñas-Rivadeneira *et al.*, 2016; Piccinno *et al.*, 2016).

## **2.3.DISEÑO DE PLANTA Y METODOLOGÍA DE INGENIERÍA DE PROYECTO**

El diseño de planta y la metodología de ingeniería de proyecto son elementos esenciales para garantizar la eficiencia, seguridad y viabilidad económica de una instalación industrial, especialmente en el sector agroindustrial. La correcta planificación y estructuración de estos aspectos permiten optimizar recursos, minimizar costos y asegurar la calidad del producto final (Tompkins *et al.*, 2010; Muther, 1973).

### **2.3.1. Fundamentos del Diseño de Planta**

El diseño de planta, o *plant layout*, es un área de la ingeniería industrial enfocada a la organización física de los componentes de una instalación productiva. Su objetivo es maximizar la eficiencia operativa a través de la optimización de las relaciones entre el personal, los equipos, el flujo de materiales y métodos de trabajo, todo ello al menor costo posible (Tompkins *et al.*, 2010). Un diseño óptimo reduce las distancias de transporte, mejora la seguridad laboral, facilita la supervisión y el control de calidad, y proporciona flexibilidad para futuras expansiones. Además, un diseño óptimo maximiza el aprovechamiento del espacio, la

mano de obra y el capital invertido, influyendo directamente en la productividad y rentabilidad a lo largo de la vida útil de la planta (Heizer *et al.*, 2019). En plantas agroindustriales, como las dedicadas a la producción de harina de cáscara de limón, la aplicación de estos principios es fundamental para garantizar un flujo de proceso eficiente y seguro.

### **2.3.2. Tipos de Distribución de Planta**

La teoría del diseño de plantas clasifica los *layouts* en modelos fundamentales, principalmente la distribución por proceso y por producto. La distribución por proceso agrupa equipos con funciones similares en departamentos específicos, lo que brinda alta flexibilidad para fabricar diversos productos, aunque con flujos de materiales más largos y complejos (Heizer *et al.*, 2019). En contraste, la distribución por producto organiza los equipos en la secuencia exacta de operaciones para fabricar un producto específico, optimizando el flujo y reduciendo inventarios en proceso. Para procesos estandarizados y con bajo número de productos, como la producción de harina de cítricos, la distribución por producto es la más adecuada, ya que minimiza el manejo de materiales y simplifica la gestión (Tompkins *et al.*, 2010).

### **2.3.3. Metodología de Planificación Sistemática de la Distribución (SLP)**

La planificación sistemática de la distribución (*Systematic Layout Planning*) es una metodología que organiza el diseño del *layout* en fases lógicas que consideran todas las relaciones y factores relevantes (Muther, 1973). Entre sus etapas se incluyen el análisis producto-cantidad para definir la escala operativa, el análisis del flujo de proceso para definir la secuencia de operaciones, la elaboración del diagrama de relaciones de actividades para determinar las necesidades de proximidad entre áreas, el desarrollo del diagrama de relaciones espaciales que considera las áreas requeridas, y finalmente la generación y evaluación de alternativas de *layout* para seleccionar la mejor disposición. La aplicación del SLP en plantas alimentarias permite lograr un diseño eficiente, funcional y flexible (Muther, 1973; Tompkins *et al.*, 2010).

### **2.3.4. Principios de Diseño para Plantas Alimentarias**

En instalaciones para la producción alimentaria, el diseño debe cumplir estrictamente con principios de inocuidad, además de eficiencia. Basado en las buenas prácticas de manufactura (BPM) y el diseño higiénico, se enfatiza la zonificación para segregar áreas con distinto riesgo microbiológico, como la separación entre recepción y envasado (Fellows, 2018). Se promueve un flujo lineal y unidireccional de materiales, personal y residuos para evitar contaminación cruzada. También se requiere facilidad para limpieza y mantenimiento, con acceso completo a equipos, superficies lisas y no porosas, y sistemas de drenaje adecuados. Estos principios garantizan la seguridad alimentaria y la calidad del producto final (Fellows, 2018).

### **2.3.5. Fases de la Ingeniería de un Proyecto**

El desarrollo de una planta industrial se aborda mediante un enfoque de fases secuenciales, una metodología diseñada para controlar la inversión y mitigar los riesgos a lo largo del desarrollo. La ingeniería conceptual define la idea, evalúa su viabilidad técnica y económica y establece objetivos generales. La ingeniería básica, la cual es el enfoque central de esta investigación, desarrolla el diseño fundamental, define los equipos principales, realiza balances de materia y energía, y elabora diagramas de flujo y *layout* general, lo que permite obtener estimaciones de costos con una precisión del  $\pm 15 - 25 \%$ . La fase final es la ingeniería de detalle, que genera la documentación técnica necesaria para la construcción, como planos y especificaciones para adquisición de equipos (Turton *et al.*, 2018; Seider *et al.*, 2016). La aplicación de esta metodología por fases garantiza una planificación ordenada y eficiente, clave para el éxito del proyecto.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

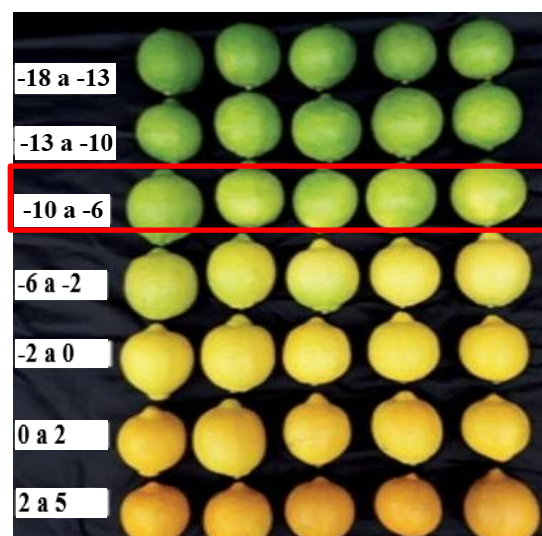
La presente investigación es de tipo exploratoria, debido a que se centra en el diseño de una línea de producción que sirva como modelo para la producción industrial de harina de cítricos. El objetivo principal es abordar la creciente problemática de la gestión y valorización de residuos, a través del desarrollo de un producto alimenticio innovador que pueda ser acogido por la industria.

#### 3.2. IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS CÁSCARAS DE CÍTRICOS

Para el cumplimiento del primer objetivo, se obtuvieron las cáscaras de limón de la empresa CITRONSAFT S.A.S. fueron seleccionadas considerando criterios generales como: coloración uniforme de acuerdo con el rango -10 a -6 propuesto por Aranda *et al.* (2019) que se observa en la Figura 3.1, además de ausencia de moho u otro material.

**Figura 3.1**

*Rango de valores de Índice de Color en Cítricos (ICC).*



*Nota:* El gráfico refleja el índice de color en cítricos (limón). Tomado de *Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC)*, por Aranda, N., & Valdez, I., (2019).

### 3.2.1. Caracterización Físicoquímica:

Se realizaron los siguientes análisis para la determinación de las propiedades físicoquímicas de las cáscaras de limón utilizando métodos estandarizados:

- **Acidez titulable:** Se determinó según el método de la AOAC 942.15. Ayudó a medir la cantidad de ácidos presentes en las cáscaras, principalmente ácido cítrico. Este análisis fue crucial para determinar el sabor, la preservación y la estabilidad de la harina (Jimenez *et al.*, 2024).

A continuación, se detallan los pasos utilizados para realizar el respectivo análisis:

- a. Pesar una muestra de 10 g del producto.
- b. Colocar la muestra en 100 mL de agua destilada.
- c. Añadir 3 gotas de fenolftaleína al 1% como indicador.
- d. Titular con NaOH 0.1N hasta que la solución adquiriera un color rosado persistente.
- e. Por último, calcular la acidez titulable en términos de ácido equivalente (ácido cítrico), con la ecuación 1.

$$\%Acidez = \frac{V * N * C}{M} \quad Ec. 1$$

Donde:

- V=** Volumen gastado (ml) de hidróxido de sodio
- N=** Normalidad de hidróxido de sodio (0.1N)
- C=** Factor del ácido predominante en la fruta (0.064)
- M=** Volumen de la muestra

- **pH:** Se midió utilizando un potenciómetro, siguiendo lo establecido en la AOAC 981.12. El pH proporcionó información crítica sobre la acidez activa del alimento, lo que permitió ajustar procesos como el secado y la molienda para preservar la calidad y funcionalidad de la harina (Hsieh & Rao, 2017).

A continuación, se detallan los pasos para realizar el respectivo análisis:

- a. Calibrar el potenciómetro con soluciones buffer de pH 4 y 7.
- b. Pesar 10 g de muestra y disolver en 100 mL de agua destilada.

- c. Insertar el electrodo del potenciómetro en la solución.
  - d. Leer el valor de pH directamente del potenciómetro.
- **Humedad:** Se realizó en una estufa a 105 °C, siguiendo el método AOAC 920.151. Esta determinación indicó el contenido de humedad en la cáscara luego de la deshidratación, lo cual es crucial para evitar el crecimiento microbiano en la harina y asegurar su estabilidad durante el almacenamiento (Mauer & Bradley, 2017).

A continuación, se detallan los pasos para realizar el respectivo análisis:

- a. Pesar aproximadamente 5 g de muestra en una cápsula de aluminio previamente tarada.
- b. Colocar la cápsula en una estufa a 105°C durante 3 horas.
- c. Enfriar en un desecador y pesar nuevamente.
- d. Calcular el porcentaje de humedad basado en la pérdida de peso utilizando la ecuación 2:

$$\%Humedad = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

**P<sub>1</sub>**= Peso de la muestra húmeda

**P<sub>2</sub>**= Peso de la muestra seca

- **Grasa:** Se utilizó el método Soxhlet mediante extracción con hexano por 6 horas, según AOAC 920.39. Este análisis proporcionó información sobre el contenido lipídico, lo cual ayudó a conocer la textura, sabor y valor calórico de la harina y su vida útil (Rincón, 2005).

Pasos utilizados para realizar el análisis:

- a. Pesar 2 g de muestra previamente deshidratada y colocar en un cartucho de extracción.
- b. Colocar el cartucho en un extractor Soxhlet y añadir el éter de petróleo.
- c. Realizar la extracción del aceite por un periodo de 6 horas.
- d. Evaporar el solvente y pesar el residuo de grasa resultante utilizando la ecuación 3:

$$\%Grasa = \frac{P_f - P_0}{P} * 100$$

Ec.3

Donde:

**P<sub>0</sub>**= Peso del matraz vacío (g)

**P<sub>f</sub>**= Peso del matraz con grasa extraída (g)

**P**= Peso de la muestra

- **Proteínas:** Se determinaron mediante el método Kjeldahl (AOAC 984.13), con un factor de conversión de 6,25. Este análisis ayudó a determinar la calidad proteica existente en la cáscara de los cítricos los cuales influirán en el valor nutricional de la harina (Vargas, *et al.*, 2019).

A continuación, se detallan los pasos realizados en el respectivo análisis:

- a. Pesar 1 g de muestra y colocar en un tubo Kjeldahl.
- b. Añadir 15 mL de ácido sulfúrico concentrado, junto con el catalizador Kjeldahl, al tubo.
- c. Calentar la mezcla hasta la obtención de una solución clara.
- d. Destilar el contenido y recoger cuidadosamente el destilado.
- e. Mezclar el destilado con ácido bórico.
- f. Titular con HCl 0.1 N y determinar el contenido de N. Utilizar este valor para calcular el contenido de proteína, empleando la Ecuación 4.

$$\%Proteína = N * F$$

Ec.4

Donde:

**N**= Contenido de nitrógeno (%)

**F**= Factor de conversión (6,25)

### **3.3.ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE PROCESAMIENTO DE TRANSFORMACIÓN DE LAS CÁSCARAS DE CÍTRICOS EN HARINA PARA LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA.**

Para dar cumplimiento con el segundo objetivo, se implementó un enfoque metodológico

el cual fue estructurado en dos fases. Primero, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura, para identificar los procesos existentes para la transformación de cáscaras de cítricos en harina. Esta revisión incluyó estudios sobre los diferentes métodos de secado, molienda y procesamiento en general.

En la segunda fase, para realizar una selección objetiva entre las alternativas identificadas, se utilizó una matriz de decisión ponderada (*Cuadro 3.1*), en la cual se evaluaron las ventajas y desventajas de cada método identificado criterios como la tecnología de procesamiento, aprovechamiento del residuo y calidad del producto final a través de un esquema de matriz de decisión.

### Cuadro 3.2.1

*Esquema de matriz de decisión de las alternativas para la selección de la metodología*

| MÉTODOLOGÍA<br>(autores) | Criterios                          |                                    |                                      |   | TOTAL |
|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|-------|
|                          | Tecnología de procesamiento<br>(4) | Aprovechamiento del residuo<br>(3) | Perfil sensorial de la harina<br>(4) | Propiedades físicas de la harina<br>(5) |       |
| Opción 1                 |                                    |                                    |                                      |   |       |
| Opción 2                 |                                    |                                    |                                      |   |       |
| Opción 3                 |                                    |                                    |                                      |   |       |
| Opción 4                 |                                    |                                    |                                      |   |       |

*Nota:* La tabla muestra la matriz que se empleará para la selección de la metodología

### 3.3.1. Definición y Ponderación de Criterios de Evaluación

Para la selección de los criterios de evaluación y su ponderación se asignó un peso diferente a cada uno utilizando una escala numérica del 1 al 5 basada en la metodología de García & Lozano (2021). El valor 5 representa el criterio con mayor influencia en el proceso de decisión, mientras que el 1 representa al criterio con menor importancia o relevancia. A continuación, se presenta la justificación de los criterios elegidos:

- **Tecnología de procesamiento (ponderación: 4 / 5):** este criterio considera el número de equipos y las etapas de procesamiento que serán necesarias para la

transformación del producto a realizar evaluando su complejidad (García *et al.*, 2021). Se le asigna una alta importancia porque un proceso con demasiadas etapas o que requiere equipos muy costosos y difíciles de operar, simplemente no sería práctico ni viable de escalar, incluso si el resultado en el laboratorio es bueno.

- **Aprovechamiento de residuo (ponderación: 3 / 5):** se basa en la proporción de cáscara de limón utilizada de manera eficiente en el proceso de desarrollo del producto, destacando el nivel de aprovechamiento del material como indicador clave (García *et al.*, 2021). Se le asigna una importancia moderada, puesto que, la prioridad principales garantizar tanto la calidad del producto final como la viabilidad del proceso.
- **Perfil sensorial de la harina (ponderación: 4 / 5):** este criterio está enfocado en las propiedades sensoriales, estabilidad y la aceptación que tendrá el producto. Su alta importancia es debido a que, al ser un ingrediente alimentario, si el producto tiene un sabor amargo o un color desagradable, simplemente no será aceptado en el mercado, sin importar cuán buenas sean sus otras propiedades.
- **Propiedades físicas de la harina (ponderación: 5 / 5):** este criterio incluye análisis como la determinación de humedad y proteína, que son cruciales para evaluar la calidad y funcionalidad del producto en aplicaciones dentro de la industria alimentaria (Bressani *et al.*, 2001). Se le otorgó la mayor prioridad, debido a que si el proceso no puede entregar un producto que sea seguro, estable y funcional, los demás criterios pierden su relevancia.

### 3.3.2. Escala de Calificación y Proceso de Evaluación

Una vez definidos los criterios y su importancia, se procedió a evaluar cada alternativa de proceso. Para cuantificar el desempeño de cada alternativa frente a los criterios, se utilizó una escala de calificación estandarizada del 1 al 5. Esta escala fue diseñada para medir el grado de cumplimiento de cada opción con respecto al ideal de cada criterio. El significado de cada nivel en la escala se define de la siguiente manera:

- **Puntuación 5 (excelente):** cumple de manera óptima con el criterio, superando

las expectativas y representando el resultado más deseable.

- **Puntuación 4 (bueno):** cumple satisfactoriamente con el criterio, presentando ventajas claras sobre el estándar considerando un resultado favorable, aunque no sea completamente óptimo.
- **Puntuación 3 (aceptable):** cumple con los requisitos mínimos y esenciales, sin presentar ventajas significativas ni fallas críticas que puedan comprometer el resultado.
- **Puntuación 2 (deficiente):** cumple parcialmente con el criterio establecido o presenta desventajas significativas que podrían afectar la calidad del producto o la viabilidad del proceso, lo que implicaría realizar modificaciones en la metodología.
- **Puntuación 1 (inaceptable):** no cumple con los requisitos fundamentales, presentando fallas críticas que impiden su viabilidad bajo ese criterio en específico.

El puntaje final para cada alternativa se calculó mediante la suma ponderada de las calificaciones, utilizando la ecuación 5:

$$Puntaje\ Total = \sum (Ponderación\ de\ Criterio \times Calificación\ de\ la\ Alternativa) \quad Ec. 5$$

Finalmente, se seleccionó para el diseño de la ingeniería básica la alternativa de proceso que obtuvo el mayor puntaje total. Este resultado indica que dicha metodología representa el balance óptimo entre tecnología, eficiencia, calidad del producto y perfil sensorial, de acuerdo con las prioridades establecidas para este trabajo.

### **3.4.DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE HARINA DE CÁSCARA DE CÍTRICOS**

Para cumplir con el tercer objetivo específico, se desarrolló la ingeniería básica de la línea de producción. Esta fase del proyecto explica los requerimientos del proceso, definidos en los objetivos anteriores. La metodología se desglosa en los siguientes pasos secuenciales:

### **3.4.1. Definición de la Capacidad de Producción**

Para establecer la capacidad de producción de la planta piloto, se realizó un análisis del mercado, ya que al ser un producto innovador no existían datos históricos de demanda. El procedimiento inició con un análisis competitivo del nicho de harinas funcionales dentro del mercado ecuatoriano para entender la estructura de precios y las propuestas de valor existentes. Posteriormente, se aplicó un modelo de dos partes los cuales fueron una estimación de la demanda. El primero consistió en un enfoque *top-down* que segmentó la población total del cantón Ibarra utilizando datos demográficos del GAD Municipal de Ibarra (2020) y de comportamiento del consumidor (Kantar, 2022), permitiendo así cuantificar un nicho de adoptantes tempranos, y un enfoque *bottom-up* que estimó la demanda a partir de un objetivo específico de clientes iniciales. Finalmente, tras comparar ambos resultados, se aplicó un factor de diseño sobre la demanda teórica estimada. Este principio se utilizó para proporcionar flexibilidad operativa en la planta y permitir el crecimiento futuro (Seider *et al.*, 2016). El valor resultante se estableció formalmente como la base de diseño, expresada en kg de materia prima fresca por día, y sirvió como punto de partida para todos los cálculos de la ingeniería básica.

### **3.4.2. Localización de la Planta**

La selección de la ubicación para la planta es una de las decisiones de diseño más críticas, puesto que impacta a largo plazo en la estructura de costos, la eficiencia logística y la competitividad general del proyecto. Para abordar esta decisión de manera estructurada y objetiva, se empleó el método de ponderación de factores. Este modelo de ingeniería industrial, permitió comparar distintas alternativas de localización evaluando factores tanto cuantitativos como cualitativos mediante un sistema de puntuación ponderada (Chase & Jacobs, 2018; Ordóñez, 2001). La aplicación de este método siguió los seis pasos descritos en la literatura, adaptando los criterios a las necesidades específicas de una planta agroindustrial, tal como lo subraya Ordóñez (2001).

#### ***3.4.2.1. Identificación y Ponderación de los Factores Críticos***

El primer paso consistió en desarrollar una lista de los factores relevantes que influyen directamente en la operatividad de la planta. Posteriormente, se asignó un peso porcentual a cada

factor para reflejar su importancia en los objetivos estratégicos del proyecto. La suma de todas las ponderaciones es igual al 100% (Chase & Jacobs, 2017).

- **Proximidad y disponibilidad de materia prima (ponderación: 40 %):** este factor se consideró el de mayor peso estratégico. Como señala Ordóñez (2001), cuando las instalaciones que procesan insumos perecederos y con pérdida de peso significativa, como es el caso de la cáscara de cítricos, deben ubicarse cerca de la fuente para minimizar el deterioro y los costos de transporte, debido a que esto afectaría sus características fisicoquímicas, haciendo de la proximidad un factor crítico.
- **Infraestructura logística y de transporte (ponderación: 25 %):** evalúa la calidad y la facilidad de acceso a la red de transporte. Para una planta industrial, contar con una conexión eficiente a las vías principales es fundamental para asegurar el abastecimiento de materias primas y la distribución del producto final, impactando directamente en los costos operativos y el alcance del mercado al que se puede acceder (Ordóñez, 2001).
- **Disponibilidad de servicios (ponderación: 20 %):** la operación continua de la planta depende del acceso confiable a servicios básicos como son la energía eléctrica, el agua potable y un sistema adecuado para la gestión de aguas residuales y de residuos sólidos.
- **Costos y condiciones del terreno (ponderación: 15 %):** este factor considera factores económicos y normativos del terreno como el costo de compra y los impuestos sobre la propiedad (Chase & Jacobs, 2017).

#### ***3.4.2.2.Desarrollo de la escala de calificación***

Una vez definidos los factores ponderados, se desarrolló una escala de calificación del 1 al 10. El propósito de esta escala fue reflejar las observaciones cualitativas y los datos cuantitativos en un valor numérico que pueda ser utilizado en el modelo matemático. La escala se definió de la siguiente manera: las puntuaciones de 1-2 se asignaron a condiciones muy deficientes o inviables que comprometerían seriamente la operación; 3-4 indicaron condiciones deficientes, con desventajas significativas que requerirían una alta inversión o generarían sobrecostos operativos; 5-6 para condiciones promedio o aceptables, que cumplen con los requisitos mínimos necesarios para el funcionamiento; 7-8 para condiciones favorables, con

ventajas claras y un desempeño por encima del estándar; mientras que las de 9-10 se asignaron a condiciones óptimas o ideales, que superan todos los requerimientos.

### ***3.4.2.3. Proceso de calificación***

Una vez definida la escala de calificación, se procedió a la fase de investigación y evaluación de las ubicaciones potenciales. Se llevó a cabo un análisis detallado para cada alternativa para asignar una calificación justificada para cada uno de los factores ponderados (Chase & Jacobs, 2017; Ordóñez, 2001). El puntaje final para cada alternativa se calculó mediante la suma ponderada de las calificaciones, utilizando la ecuación 5. Finalmente, se seleccionó la localización que obtuvo el mayor puntaje total en este análisis.

### **3.4.3. Desarrollo de la Ingeniería Básica**

Ya definida la capacidad de producción y la localización de la planta, se procedió a la fase de diseño de la ingeniería básica. El objetivo de esta etapa fue generar los documentos que ayudaron en el proceso conceptual del diseño funcional para la planta piloto. La metodología para su desarrollo se describe a continuación.

#### ***3.4.3.1. Diagrama de Flujo de Proceso***

El diagrama de flujo de proceso (PDF) permitió representar de forma visual y ordenada cada una de las etapas involucradas en la producción de harina de cáscara de limón, este constituyó el primer paso del diseño técnico y se realizó siguiendo un procedimiento estructurado:

- a) **Definición de la secuencia y equipos:** partiendo de la tecnología seleccionada en el objetivo anterior, se estableció la secuencia definitiva de operaciones unitarias. Para la representación gráfica de cada uno de los equipos en cada etapa del proceso, se seleccionó símbolos estandarizados según la normativa ISO 10628.
- b) **Cálculo del balance de materia:** el cálculo dio sustento cuantitativo al PFD, siguiendo el principio fundamental del diseño de procesos de alimentos (Seider

*et al.*, 2016). Con el fin de asegurar la máxima precisión, los rendimientos de cada operación unitaria y las pérdidas de material se determinaron de forma experimental, mediante la ejecución de seis réplicas a escala de laboratorio, siguiendo la secuencia completa del proceso. El registro fotográfico de cada una de estas etapas experimentales se presenta en los Anexos 6 al 14. Los datos de rendimiento promedio obtenidos fueron la base para calcular los flujos másicos de entrada y salida para cada uno de los equipos, escalados a la capacidad de diseño final de la planta.

- c) **Elaboración de la tabla de corrientes:** los resultados del balance se organizaron en una tabla de corrientes, en la cual fueron numeradas y descritas en esta tabla, detallando el flujo másico total (kg / h) y sus condiciones de operación.
- d) **Construcción del diagrama:** con la información anterior, se dibujó el PFD, conectando los símbolos de los equipos con líneas de flujo numeradas. El diagrama final permitió visualizar de manera clara la estructura del proceso y sirvió como la principal herramienta para la comunicación técnica del funcionamiento de la planta (Bocángel *et al.*, 2021).

#### ***3.4.3.2. Distribución de Planta (Layout) mediante SLP***

Para que el diseño de la distribución fuera eficiente y seguro, se utilizó la metodología de SLP. Este es un procedimiento, considerado un estándar en la ingeniería de diseño de instalaciones (Tompkins *et al.*, 2010), se desarrolló en las siguientes fases:

- a) **Análisis del flujo de materiales:** se elaboró un cursograma analítico del proceso, en el cual se detalló cada paso que siguió la materia prima hasta convertirse en producto terminado, clasificando cada actividad como operación, transporte, inspección, demora o almacenamiento. Este análisis permitió visualizar de manera sistemática el flujo para identificar y minimizar transportes innecesarios.
- b) **Cálculo de requerimientos de espacio:** se determinó el área necesaria para cada elemento de la planta, incluyendo no solo la superficie ocupada por los equipos, sino también las áreas adicionales indispensables para operación,

mantenimiento y circulación de materiales y personal (Tompkins *et al.*, 2010). El resultado fue una lista detallada de todas las áreas funcionales y sus superficies.

- c) **Elaboración del diagrama de relación de actividades:** se construyó una matriz para definir la proximidad requerida entre las áreas funcionales. En esta etapa se prestó especial atención a los principios de diseño sanitario, asignando una relación indeseable (X) entre el área de recepción de materia prima (zona sucia) y el área de envasado (zona limpia), con el fin de evitar la contaminación cruzada, un aspecto fundamental en la industria alimentaria (Fellows, 2018).
- d) **Construcción de diagramas y desarrollo de alternativas:** los requerimientos de espacio y las relaciones de proximidad se combinaron para crear un diagrama de relaciones de espacio, a partir de este, se desarrollaron al menos dos alternativas de distribución en bloque.
- e) **Selección y detalle del *layout* final:** se evaluaron las distintas alternativas de manera tanto cualitativa como cuantitativa para seleccionar el flujo más eficiente. La alternativa seleccionada se desarrolló en un plano de disposición general, que representa el resultado final del diseño de distribución, sirviendo como guía para la implementación física futura.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DICUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología descrita en el capítulo anterior. Cada sección se corresponde con uno de los objetivos específicos planteados, comenzando con la caracterización de la materia prima, seguido por la selección de la tecnología de proceso y culminando con los documentos que conforman la ingeniería básica de la línea de producción.

#### 4.1. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA CÁSCARA DE LIMÓN

Para cumplir con el primer objetivo específico, se procedió a la caracterización fisicoquímica de cáscara de limón fresca, obtenida de la empresa CITRONSAFT S.A.S. El propósito de estos análisis fue obtener datos precisos para establecer los parámetros de operación de la línea de producción.

##### 4.1.1. Resultados de los Análisis y Comparación

La caracterización fisicoquímica se realizó en el laboratorio ubicado en el campus San Vicente de Paul de la Universidad Técnica del Norte. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 4.1.

##### Cuadro 4.1

*Resultados de la caracterización fisicoquímica*

| Parámetro Fisicoquímico | Resultado (%) |
|-------------------------|---------------|
| Humedad                 | 79,13 ± 0,27  |
| pH                      | 4,18 ± 0,04   |
| Acidez Titulable        | 0,05 ± 0,002  |
| Grasa                   | 0,76 ± 0,11   |
| Proteína                | 1,25 ± 0,05   |

*Nota:* Los valores se presentan en base húmeda, tal como se reciben en la planta, a excepción del

análisis de grasa, debido a que se deshidrato previo a realizar el análisis.

A continuación, se realiza una discusión comparando los resultados obtenidos con resultados de otras investigaciones:

El valor obtenido de humedad es consistente con los rangos reportados en la literatura. Por ejemplo, Gómez *et al.* (2018) reportaron un valor casi idéntico de 78,85 %, mientras que Ledesma-Escobar & Luque de Castro (2014) muestran el contenido de humedad entre el 75 % y el 82 %. Esta similitud valida el resultado obtenido y confirma, con un alto grado de certeza, la especificación de diseño para la capacidad de evaporación del secador.

El valor de pH determinado en este estudio confirma la naturaleza ácida de la materia prima, mostrando una alta coherencia con el valor de 4,26 reportado por Gómez *et al.* (2018) para limón Tahití. Si bien existen variaciones en la literatura, como los valores cercanos a 3,69 reportados por Ijege *et al.* (2023), los resultados ubican consistentemente al material en el rango ácido esperado. Esta característica es una consecuencia directa de la composición química de la matriz, la cual, según Al-Qudah *et al.* (2018), es rica en ácidos orgánicos, predominando el ácido cítrico y carboxílico. Cabe destacar que este pH es incluso más ácido que el reportado para aceites esenciales puros (4,7) por Urrunaga *et al.* (2022), lo que indica que la mayor carga de acidez reside en la estructura celular de la cáscara, es por ello que, desde una perspectiva de diseño, este pH ácido se convierte en un factor determinante para la selección de materiales. Debido al riesgo de corrosión acelerada en metales estándar, se debe utilizar acero inoxidable de grado alimenticio para todos los equipos en contacto con el producto húmedo, garantizando así la integridad de la planta y la inocuidad del producto final (Fellows, 2018).

El valor de acidez titulable determinado en este estudio para la cáscara de limón Meyer (0,05 %) presenta una diferencia significativa al ser comparado con el 0,83 % reportado por Gómez *et al.* (2018) para la variedad Tahití. Esta notable diferencia, como respaldan autores como Qudah *et al.* (2018), se atribuye a una combinación de factores, principalmente la diferencia en la variedad, ya que el limón Meyer es un híbrido básicamente menos ácido que la variedad Tahití, y a el grado de madurez del fruto al momento del análisis es un factor crítico, pues la acidez tiende a disminuir con la maduración. Desde una perspectiva de proceso, la acidez titulable es un parámetro de operación fundamental, puesto que define la carga total de ácidos que impacta directamente en el perfil sensorial del producto.

El contenido de proteína determinado en este estudio (1,25 %) es comparable con los valores reportados en la literatura, situándose en proximidad con el 1,4 % reportado por Thangaraj (2016) para pulpa de limón deshidratada y con el 1,94 % encontrado por Gómez *et al.* (2018) en la cáscara de limón Tahití. Estas diferencias observadas eran previstas debido a que como destaca Qudah *et al.* (2018), pueden atribuirse a factores como la variedad específica del fruto, su grado de madurez y las condiciones agroclimáticas del cultivo. Para el diseño del proceso, la presencia de esta proteína, junto con los azúcares, refuerza la necesidad de un control térmico riguroso durante la etapa de secado para prevenir el pardeamiento de Maillard, una reacción que puede afectar negativamente la calidad sensorial y nutricional del producto final.

El contenido de grasa determinado en este estudio (0,76 %) es consistente con la variabilidad reportada en la literatura, como el valor de 0,13 % encontrado por Gómez *et al.* (2018). Una explicación detallada para esta variabilidad la proporciona Alfaro (2023), quien en su investigación expone que una porción significativa de lípidos en la cáscara de limón corresponde a los aceites esenciales volátiles. Su estudio reportó un rendimiento de 0,516 % (v / w) para esta misma materia prima, sugiriendo que gran parte de la grasa está compuesta por estos valiosos compuestos aromáticos como el limoneno (Alfaro, 2023). La presencia de estos compuestos termolábiles tiene una implicación directa en el diseño del proceso, debido a que convierte la etapa de secado en una operación de control crítico. Tal como señala Thangaraj (2016), las condiciones térmicas inadecuadas del proceso pueden provocar la pérdida de estos lípidos y compuestos aromáticos, lo que justifica y refuerza la especificación de diseño de un proceso de secado a temperaturas rigurosamente controladas, una medida indispensable para preservar la integridad y perfil sensorial del producto final.

#### **4.2. ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE PROCESAMIENTO**

Para cumplir con el segundo objetivo, se aplicó la metodología de matriz de decisión ponderada, cuya metodología fue descrita en el Capítulo III. Se evaluaron cuatro metodologías de procesamiento reportadas en la literatura científica, cada una considerada una alternativa viable para la producción de harina de cítricos. El objetivo de este análisis fue seleccionar la metodología que ofreciera el mejor equilibrio entre robustez, eficiencia y calidad del producto final, para que sirviera como la base del diseño de la línea de producción a escala piloto.

### 4.2.1. Resultados de la Matriz de Decisión

Cada metodología fue calificada frente a los cuatro criterios ponderados. El Cuadro 4.2 presenta los resultados cuantitativos de esta evaluación. La calificación se realizó utilizando la escala de 1 (opción menos favorable) a 5 (opción más favorable), que fue definida previamente en la sección de la metodología.

**Cuadro 4.2**

*Matriz de decisión para la selección de la metodología de procesamiento*

| MÉTODOLOGÍA<br>(autores)  | Criterios                             |                                       |  |   | TOTAL |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---|-------|
|   | Tecnología de<br>procesamiento<br>(4) | Aprovechamiento<br>del residuo<br>(3) | Perfil<br>sensorial de<br>la harina<br>(4) | Propiedades<br>físicas de la<br>harina<br>(5) |       |
| Harina para Torta<br>(Gómez <i>et al.</i> , 2018)                         | 3                                     | 3                                     | 3  | 4   | 53    |
| Harina para<br>Hamburguesas (Abdel-<br>Naeem <i>et al.</i> , 2022)        | 3                                     | 4                                     | 3  | 3   | 51    |
| Albedo de Limón para<br>Hamburguesas<br>(Chappalwar <i>et al.</i> , 2021) | 3                                     | 4                                     | 3  | 3   | 51    |
| Harina para Pasta<br>(Vinueza <i>et al.</i> , 2023)                       | 2                                     | 2                                     | 2  | 2   | 32    |

El análisis cuantitativo de la matriz de decisión, presentado en el Cuadro 4.2, identificó a la metodología de Gómez *et al.* (2018) como la opción con la puntuación más alta. Para comprender esta selección, se realizó un análisis cualitativo identificando las fortalezas y debilidades de cada alternativa frente a los criterios de evaluación. El Cuadro 4.3 resume los resultados clave que justifican las calificaciones asignadas.

**Cuadro 4.3**

*Resumen analítico de las metodologías evaluadas*

| METODOLOGÍA<br>(Autores)          | Tecnología de<br>Procesamiento  | Aprovechamiento<br>del Residuo  | Perfil Sensorial  | Propiedades<br>Físicas   |
|-----------------------------------|---|---|---|--|
| <b>Gómez <i>et al.</i> (2018)</b> | Proceso más<br>complejo<br>(extracción de<br>terpenos) pero<br>con potencial para | Alto nivel de<br>sustitución de grasa<br>en un producto de<br>repostería. | Perfil similar a la<br>torta patrón, sin<br>sabores<br>desagradables. | Reporta el control<br>de tamaño de la<br>partícula y datos de<br>la humedad de la<br>harina. |

|   | la valorización de subproductos.   |   | Necesita hidratación previa.  |  |
|---|--|---|---|--|
| <b>Abdel-Naeem <i>et al.</i> (2022)</b> | Proceso sencillo y directo.  | Uso práctico como sustituto de grasa (1 %) en la elaboración de hamburguesas.                           | Mejora la apariencia, el sabor y la textura del producto final.                           | Información general sobre la composición del producto. No presenta datos específicos de la harina. |
| <b>Chappalwar <i>et al.</i> (2021)</b>  | Proceso simple, pero sin etapa de tamizado. Falta de control en el producto final.                         | Uso funcional como sustituto de grasa en hamburguesas.  | Buen perfil sensorial, pero con riesgo de sabor amargo a más de 1 % de inclusión.         | Alto contenido de fibra. Carece de datos como humedad, tamaño de partícula.                        |
| <b>Vinueza <i>et al.</i> (2023)</b>     | Descripción general del proceso. Falta de detalle técnico, lo implica una posible complejidad del proceso. | Uso de la harina como ingrediente innovador, pero sin detallar la cantidad utilizada en la preparación. | Resultados negativos en cuanto al color y alto contenido de humedad en el producto final. | Información limitada y enfocada en el producto final, no en las propiedades de la harina en sí.    |

El análisis comparativo permitió identificar patrones claros en cada uno de los criterios evaluados. En cuanto a la tecnología de procesamiento, aunque la complejidad era similar en tres de los casos analizados, la metodología de Gómez *et al.* (2018) ofreció un potencial claro de valorización de subproductos de interés comercial, a pesar de su complejidad adicional que implica la extracción de terpenos. A sí mismo, en el caso de aprovechamiento del residuo, las metodologías de Abdel-Naeem *et al.* (2022) y Chappalwar *et al.* (2021) demostraron un uso eficiente, aunque en porcentajes de inclusión fueron relativamente bajos. En el perfil sensorial, la mayoría de los estudios reportaron resultados aceptables, sin embargo, Chappalwar *et al.* (2021) señalaron que al aumentar la concentración de la harina incrementa el amargor, mientras que los resultados de Vinueza *et al.* (2023) fueron mayormente negativos.

El factor decisivo en la selección final fue el criterio de propiedades físicas, al cual se le asignó la mayor ponderación en la matriz. La metodología propuesta por Gómez *et al.* (2018) fue la única que aportó datos cuantitativos claves para el diseño de la ingeniería, incluyendo un valor de humedad final y la especificación del tamaño de la partícula controlado mediante un tamiz estándar. El resto de metodologías evaluadas no presentaron este nivel de detalle, dejando vacíos de información importantes para el dimensionamiento de equipos y la calidad del producto final. La ausencia de datos y de detalles metodológicos fue el factor que justificó una menor calificación para las demás alternativas.

#### 4.2.2. Selección y Justificación de la Metodología para la Transición a la Escala Piloto

Basado en el análisis cuantitativo de la matriz de decisión, se seleccionó la metodología propuesta por Gómez *et al.* (2018) como la base para el diseño de la línea de producción a escala piloto, la justificación de esta elección se sustenta en dos aspectos. En primer lugar, obtuvo la puntuación total más alta, debido a que fue la única que especifica un control de granulometría mediante un tamiz estándar, un parámetro esencial para la calidad y consistencia del producto final. En segundo lugar, aunque su proceso presenta una etapa adicional de extracción de terpenos, esto se considera una oportunidad de valor agregado que se alinea con el objetivo de un aprovechamiento del residuo y puede mejorar la viabilidad económica del proyecto (Serra, 2020).

El paso final de este objetivo consistió en convertir los procesos de laboratorio descritos por Gómez *et al.* (2018) a un diseño de línea a escala piloto. De acuerdo con los principios estándar de la ingeniería de alimentos (Fellows, 2018), esta adaptación implicó seleccionar equipos industriales que realicen la misma función que los equipos de laboratorio, pero a una mayor capacidad, grado de control y automatización. Por lo tanto:

- El secado, realizado en una estufa de convección natural en el laboratorio, se escaló para la planta piloto como un secador de bandejas de aire forzado, un equipo que ofrece un control superior de la temperatura, la velocidad del aire y la humedad, garantizando un secado más rápido y homogéneo del producto.
- La molienda, realizada en un molino eléctrico de uso general empleado en laboratorio, se sustituyó por un molino de martillos de capacidad industrial. Esta tecnología se eligió debido a su alta eficiencia operativa y su resistencia mecánica para la reducción del tamaño de materiales secos y fibrosos.
- El tamizado manual se reemplazó por un tamiz vibratorio industrial, el cual permite una clasificación continua y agiliza la estandarización del tamaño de la partícula, asegurando así que el producto final cumpla de forma constante con la granulometría requerida.

Esta selección de tecnologías de equipos, cada una justificada por las prácticas estándar de la industria alimentaria (Fellows, 2018), constituyeron la base para el desarrollo de la

ingeniería básica presentada en la siguiente sección.

### **4.3.DESARROLLO DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN**

Cumpliendo con el tercer objetivo, se desarrolló la ingeniería básica para la línea de producción a escala piloto. Esta sección presenta los resultados del diseño, desde la definición de la capacidad de la planta y la selección de su ubicación, hasta la generación de los documentos técnicos que definen el proceso y su distribución.

#### **4.3.1. Definición de la Capacidad de Producción**

El primer paso fundamental en el diseño de la planta fue establecer su capacidad de producción. Debido a que la harina de cáscara de cítricos es un producto innovador sin un mercado establecido, el análisis se enfocó en la identificación de tendencias y nichos dentro del mercado de harinas existentes, con el fin de proyectar una capacidad de entrada viable. Este enfoque se sustenta con los principios de desarrollo de nuevos productos, que proponen evaluar el entorno competitivo y las tendencias de consumo para estimar el mercado potencial (Kotler & Armstrong, 2018).

##### ***4.3.1.1. Análisis del Mercado de Harinas y Segmentación***

Como parte del análisis, se realizó una investigación del mercado ecuatoriano para segmentarlo e identificar el nicho más adecuado para la introducción del nuevo producto. Dicha segmentación reveló dos categorías principales.

La primera categoría de mercado corresponde a las harinas tradicionales, siendo constituida principalmente por la harina de trigo de consumo masivo. Este se encuentra consolidado con una competencia que se basa en el precio y la distribución a gran escala. Dada la naturaleza de la harina de cítricos como un ingrediente funcional, se concluyó que este segmento no representa el campo de competencia directa y tampoco el mercado estratégico para el posicionamiento del producto.

La segunda categoría fue la de harinas alternativas y funcionales, en esta se identificó




un segmento en claro crecimiento, impulsado por tendencias globales asociadas a la salud y el bienestar, donde los consumidores buscan activamente productos que ofrezcan beneficios más allá de la nutrición básica, conocidos como alimentos funcionales (Granato *et al.*, 2020). La creciente oferta de harinas de almendras, coco, avena y quinua en los principales supermercados y tiendas de Ecuador confirma la existencia de un grupo de consumidores dispuesto a pagar un precio más alto por productos con atributos funcionales, nutricionales o novedosos. Por lo tanto, este fue definido como el mercado objetivo para la harina de cítricos.

#### 4.3.1.2. Análisis de la Competencia Directa e Indirecta

Dentro del nicho de harinas funcionales, la harina de cítricos no presenta un competidor directo, es decir, no existe otro producto idéntico, sin embargo, competirá de manera indirecta por su inclusión en diversas formulaciones frente a otras harinas que son destinadas para procesos específicos y tienen funcionalidades similares. El Cuadro 4.4 presenta un análisis comparativo del entorno competitivo existente dentro de este nicho de mercado.

**Cuadro 4.4 4.3.1.2**

*Análisis competitivo del nicho de harinas funcionales en Ecuador*

| Empresa      | Nombre comercial | Característica | Costo en el mercado (\$) | Precio por kg (\$) | Imagen  |
|--------------|------------------|----------------|--------------------------|--------------------|---|
| El Artesanal | Harina de Haba   | 400 g          | 0,79                     | 1,98               |  |
| Ethnisnack   | Harina de Chocho | 250 g          | 6,25                     | 25,00              |  |
| El Artesanal | Harina de Arveja | 400 g          | 0,79                     | 1,98               |  |

|                         |                                       |       |      |       |   |
|-------------------------|---------------------------------------|-------|------|-------|---|
| Azteca                  | Harina de Mote                        | 500g  | 2,34 | 4,68  |    |
| La Pradera              | Harina de Plátano                     | 500 g | 1,60 | 3,20  |    |
| La Pastora              | Harina de Almendras sin Gluten Vegano | 300 g | 6,75 | 22,50 |    |
| Amati the Andean Secret | Harina de Amaranto Vegano sin Gluten  | 300 g | 3,94 | 13,13 |   |
| Sierra                  | Harina de Quinoa Orgánica             | 350 g | 2,40 | 6,86  |  |
| Karay                   | Harina de Coco                        | 454 g | 3,56 | 7,84  |  |
| Cusi                    | Harina de Avena Orgánico              | 400 g | 5,53 | 13,83 |  |

Aplicando los principios de estrategia competitiva de Porter (1985), se observa en el Cuadro 4.4 que el mercado de harinas funcionales no es homogéneo, sino que está segmentado en tres niveles de precios, cada uno basado por una propuesta de valor diferente.

El primero es el nivel económico (con precios inferiores a 5 USD / kg), el cual está compuesto por harinas tradicionales como las de leguminosas o plátano, donde la competencia se centra en el precio. El segundo corresponde al nivel saludable u orgánico (entre 6 y 14 USD / kg), aquí se encuentran harinas como la de quinua, coco o avena, donde el consumidor está dispuesto a pagar más por atributos como certificaciones orgánicas o un alto contenido en fibra. Finalmente se identificó el nivel *gourmet* o de especialidad (precio superior a 20 USD / kg), dominado por harinas como la de almendras y chocho, el cual es dirigido a consumidores con dietas como la *keto* o las que son altas en proteína, y que tienen una alta disposición a pagar por los beneficios funcionales.

Este análisis demuestra que existe un mercado consolidado para harinas de alto precio siempre que su propuesta de valor sea clara. En este contexto la harina de cítricos, con sus atributos únicos como la sostenibilidad por economía circular, alto contenido de fibra y un perfil de sabor distintivo, no debe competir en el nivel económico, ya que, basado a su posicionamiento estratégico ideal se encuentra en el nivel saludable / orgánico, con un claro potencial para incursionar en el nivel gourmet dependiendo de la aplicación.

#### ***4.3.1.3. Estimación de la Demanda Potencial del Mercado Objetivo***

Para cuantificar el mercado potencial y justificar la capacidad de la planta, se aplicó un enfoque de estimación *top-down*. Esta metodología consiste en partir de la población total del área de influencia y segmentarla utilizando datos verificables sobre el comportamiento del consumidor para llegar a una cifra de demanda teórica.

- a) **Definición de la población universo:** de acuerdo con las proyecciones realizadas en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDOT) en el 2020, la población del cantón Ibarra para el año 2025 se estimó en 239.888 habitantes aproximadamente (GAD Municipal de Ibarra, 2020).
- b) **Cuantificación del segmento de consumidores saludables:** el siguiente paso fue determinar qué porcentaje de esta población pertenece al segmento objetivo. Ante la ausencia de datos públicos específicos para Ibarra, se utilizó los estudios de mercado a nivel nacional, debido a que ofrecen una aproximación confiable. Según un análisis de la división Worldpanel de Kantar, reportado por la revista de negocios

Ekos (2023), el 41 % de los hogares en Ecuador es considerado como saludable, es decir, buscan y eligen productos que perciben como beneficiosos para su salud. Este dato confirma la existencia de un mercado masivo y consciente. Sin embargo, para el lanzamiento de un producto innovador, el mercado objetivo no es todo este segmento, sino una fracción más específica de este. Para refinar esta estimación, se aplicó el principio de difusión de innovaciones de Everett Rogers, un modelo teórico para predecir la adopción de nuevos productos (Rogers, 2003). Este modelo postula que la población se divide en cinco categorías los cuales son los adoptantes innovadores (2,5 %), adoptantes tempranos (13,5 %), mayoría temprana (34 %), mayoría tardía (34 %) y rezagados (16 %). Además, este establece que el éxito del lanzamiento de un nuevo producto depende en gran medida de la captación de los por parte de los innovadores y los adoptantes tempranos. Estos grupos buscan que activamente la novedad y actúan como guías de opinión para el resto del mercado, representan teóricamente el 16 % de la población total. Para este estudio, se asumió de manera conservadora que el nicho de mercado dispuesto a probar activamente nuevos productos funcionales representa el 10 % del segmento saludable total. Esta cifra se sitúa deliberadamente por debajo del total teórico del 16 % para reflejar un enfoque realista y prudente, reconociendo que no todos los individuos de estas categorías tendrán un interés o una exposición inmediata al producto en su fase de lanzamiento. Los resultados de la segmentación, desde la población total hasta el nicho de mercado objetivo, se resumen en el Cuadro 4.5.

#### **Cuadro 4.5**

*Cuantificación del mercado potencial para la harina de cítricos en Ibarra*

| <b>Etapa de segmentación</b> | <b>Cantidad<br/>(personas)</b> | <b>Porcentaje</b> |
|------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| Población total              | 239888                         | 100 %             |
| Segmento saludable           | 98354                          | 41 %              |
| Mercado potencial            | 9835                           | 10 %              |

Como se detalla en el Cuadro 4.5, el análisis parte de la población total de Ibarra. De esta, se extrae el 41 % que constituye el segmento saludable, resultando en

98.354 personas. Posteriormente, de este grupo se aísla un 10 % que representa al mercado potencial de adoptantes tempranos, cuantificando el nicho de mercado más receptivo y accesible para el lanzamiento del producto en 9.835 consumidores. Esta cifra final se establece como la base para los cálculos de estimación de la demanda.

- c) **Estimación del consumo potencial:** el siguiente paso consistió en convertir el número de consumidores potenciales en un volumen de demanda anual. Dado que la harina de cítricos es un producto nuevo, no existen datos históricos sobre su consumo per cápita. Por lo tanto, se descartó el uso de modelos basados en el consumo masivo de harinas tradicionales y se optó por una estimación basada en un análisis de uso potencial y benchmarking contra productos de nicho comparables. A diferencia de las harinas de uso masivo, las harinas funcionales se caracterizan por una menor frecuencia de compra y un uso en cantidades más pequeñas por receta. Basado en este principio de comportamiento de uso (Kotler & Armstrong, 2018), se formó un patrón de consumo razonable para una parte del nicho de adoptantes tempranos, estimando una cantidad de 50 gramos por preparación y una frecuencia de uso de aproximadamente 10 veces al año. Este cálculo arrojó un supuesto de consumo per cápita de 0,5 kg por persona al año, un valor deliberadamente conservador para proporcionar una base sólida y prudente para el dimensionamiento de la planta. Aplicando este supuesto al nicho de mercado se procedió a calcular la demanda potencial anual y luego la demanda diaria mostrada en el Cuadro 4.6.

**Cuadro 4.6**

*Demanda diría potencial*

| <b>Demanda</b> | <b>Datos</b>                                  | <b>Resultado</b> | <b>Unidad</b> |
|----------------|---|------------------|---------------|
| Anual          | Mercado potencial: 9835                       | 4918             | kg/año        |
|                | Consumo anual per cápita:<br>0,5 kg / persona |                  |               |
| Diaria         | Demanda anual: 4918                           | 20               | kg/día        |
|                | Días operativos: 250                          |                  |               |

Como muestra el Cuadro 4.6 una demanda diaria potencial de 20 kg de harina de cítricos representa la cantidad de producto final que la planta debería ser capaz de producir para satisfacer el 100 % del mercado objetivo identificado y servirá como el punto de referencia clave para la decisión final sobre la capacidad de diseño.

**d) Capacidad de diseño:** en el paso anterior se determinó la demanda teórica total de aproximadamente 20 kg de harina por día. Para transformar esta demanda en capacidad de procesamiento de materia prima, es necesario considerar el rendimiento global del proceso. Dicho rendimiento, calculado a partir del balance de masa experimental (sección 4.3.3.1. A), fue de 6,21 %. Con este valor, la cantidad de cáscara de limón fresca requerida para cubrir exactamente la demanda es de 322 kg / día. No obstante, en ingeniería de procesos no se recomienda diseñar una planta con la capacidad exacta de la demanda, sino incluir un margen de diseño que permita flexibilidad, reduzca riesgos por variaciones y contemple un posible crecimiento futuro (Seider *et al.*, 2016). En este caso, para una planta piloto se aplicó un factor de diseño conservador del 10 %, resultando en una capacidad de 354,2 kg / día. Finalmente, para simplificar el cálculo y adoptar un valor práctico, se definió una capacidad de diseño de 350 kg / día de cáscara fresca. Este valor facilitó la planificación de producción diaria y sirvió como base para el dimensionamiento de los equipos y la elaboración de los documentos de ingeniería básica presentados en la sección 4.3.3.

#### **4.3.2. Análisis de la Localización de la Planta**

Para seleccionar la ubicación óptima de la planta piloto, se aplicó el método de ponderación de factores, cuya metodología fue detallada en la sección 3.4.2. El punto de partida para este análisis fue la ubicación del proveedor principal de materia prima, la empresa CITRONSAFT S.A.S., ubicada en Imbaya, cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura. Dado que la cáscara de limón fresca es un residuo perecedero y voluminoso, se minimizó la distancia de transporte, puesto que se identificó como el factor de mayor peso estratégico.

Con base a esto, se evaluaron tres ubicaciones potenciales, seleccionadas por su contexto geográfico y logístico en relación con el proveedor. Para esta selección se procedió a

realizar un preanálisis, para luego calificar cada ubicación en la matriz de decisión y finalmente seleccionar la ubicación ideal de la planta.

#### 4.3.2.1. Preanálisis y Procesamiento de Datos

Antes de emplear la matriz de decisión, se realizó un preanálisis de las ubicaciones potenciales para obtener datos que sirvieran como base objetiva para la calificación, los resultados de este procesamiento se consolidan en el Cuadro 4.7.

**Cuadro 4.7**

*Procesamiento de datos de ubicaciones potenciales*

| Ubicación | Superficie (m <sup>2</sup> ) | Precio (\$) | Precio por m <sup>2</sup> (\$/m <sup>2</sup> ) | Distancia a CITRONSAFT |
|-----------|------------------------------|-------------|--|------------------------|
| A         | 900                          | 58.000      | 64.44  | 1,99 km                |
| B         | 1.102,43                     | 69.000      | 67.38  | 3,21 km                |
| C         | 4.570                        | 118.000     | 25.82  | 1,71 km                |

*Nota:* Las distancias a CITRONSAFT son estimaciones calculadas mediante la herramienta de medición de Google Maps.

De este preanálisis se puede concluir que la localización A y B son muy similares en el costo por metro cuadrado, pero se puede observar que la localización C mantiene una ventaja de costo, siendo más del 50% más barata por metro cuadrado que las otras localizaciones, además que se posiciona como la más cercana al proveedor.

#### 4.3.2.2. Aplicación del Modelo y Matriz de Decisión

Realizado el preanálisis se procedió a calificar cada una de las ubicaciones en una escala de 1 a 10 para cada uno de los factores ponderados. El Cuadro 4.8 presenta la matriz de decisión con los resultados de la evaluación.

**Cuadro 4.8**

*Matriz de decisión para la localización de la planta*

| <b>Criterio</b>                  | <b>Ponderación</b> | <b>Ubicación A</b> | <b>Ubicación B</b> | <b>Ubicación C</b> |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Proximidad materia prima</b>  | 40%                | 9                  | 7                  | 10                 |
| <b>Infraestructura logística</b> | 25%                | 8                  | 8                  | 6                  |
| <b>Servicios básicos</b>         | 20%                | 8                  | 8                  | 6                  |
| <b>Costos del terreno</b>        | 15%                | 5                  | 6                  | 9                  |
| <b>TOTAL</b>                     | <b>100%</b>        | <b>7,95</b>        | <b>7,30</b>        | <b>8,05</b>        |

#### **4.3.2.3. Discusión de los resultados**

En base al análisis cuantitativo que se observa en el Cuadro 4.8, la ubicación C obtuvo la puntuación más alta, seguida por la ubicación A. La puntuación de la ubicación C se sustentó en su dominio en los criterios de costo por metro cuadrado y proximidad al proveedor. La elección de la ubicación no se limita únicamente en el valor cuantitativo, sino que responde a una visión que está orientada al crecimiento estratégico como lo es la implementación de un proyecto piloto productivo funcional. Esta iniciativa contempla, además de la producción de harina, futuras líneas de procesamiento para la extracción de pectina y la elaboración de jugos concentrados, aprovechando eficientemente la materia prima.

En base a este análisis la ubicación C se consolida como la opción más sólida. Sus 4.570 m<sup>2</sup> representan un elemento estratégico capaz de albergar las tres líneas de producción, así como las áreas de soporte necesarias para su operación conjunta, algo que no se podría llevar a cabo en las demás ubicaciones. Adicionalmente, los recursos destinados a su adecuación se distribuyen entre los distintos proyectos, optimizando la inversión total. Su proximidad al proveedor refuerza aún más su valor, al facilitar la logística interna del complejo y eliminar traslados innecesarios de subproductos entre procesos. Como resultado, se seleccionó la ubicación C por ser la única que ofrece las condiciones físicas, económicas y logísticas necesarias que garantizan el éxito del proyecto.

#### **4.3.3. Desarrollo de la Ingeniería Básica**

Una vez definida la capacidad de diseño y seleccionada la ubicación, se procedió a

desarrollar los documentos técnicos que componen la línea de producción a escala piloto. Estos documentos son el resultado final de la aplicación de la metodología de diseño.

#### **4.3.3.1. Diagrama de Flujo de Proceso y Balance de Masa**

El diagrama de flujo de proceso fue la representación gráfica y cuantitativa del proceso, su elaboración fue el primer paso del diseño técnico y se realizó siguiendo el procedimiento estructurado mencionado en el capítulo anterior.

- a) **Definición de la secuencia y simbología del proceso:** con base en la metodología seleccionada, se estableció la secuencia definitiva de operaciones unitarias, que incluye etapas clave de pretratamiento para mejorar la calidad sensorial del producto final. Se asignó una codificación a cada equipo principal del proceso, tal como se muestra en el Cuadro 4.9.

**Cuadro 4.94.3.3.1**

*Codificación y simbología de cada equipo*

| <b>Etapas</b> | <b>Equipo</b>                       | <b>Codificación</b> |
|---------------|-------------------------------------|---------------------|
| Recepción     | Tolva                               | TK-101              |
| Lavado        | Lavadora de tambor rotatorio        | LW-101              |
| Corte         | Cortadora                           | CT-101              |
| Desamalgado   | Tanque de escaldado con agitación   | TK-102 / TK-103     |
| Secado        | Secador de bandejas de aire forzado | DR-101 / DR-102     |
| Molienda      | Molino de martillos                 | ML-101              |
| Tamizado      | Tamiz vibratorio                    | SC-101              |
| Envasado      | Envasadora semiautomática           | ENV-101             |

- b) **Balance de masa:** el balance de masa para la línea de producción se fundamentó en los datos de rendimiento obtenidos experimentalmente. Para determinar estos

rendimientos, se realizaron seis réplicas del proceso a escala de laboratorio, partiendo de un flujo de entrada promedio de 1,2 kg de cáscara de limón fresca. Los pesos medidos en cada etapa de este experimento, los cuales sirvieron para calcular la eficiencia real de cada operación, se presentan en el Cuadro 4.10. A partir de estos datos experimentales, se procedió a calcular el balance de masa final para la planta piloto, escalando los resultados a la capacidad de diseño previamente establecida.

#### **Cuadro 4.10**

*Datos promedio del balance de masa experimental*

| <b>Medida</b> | <b>Peso inicial cáscara</b> | <b>Peso cáscara sin semillas y segmentos</b> | <b>Peso cáscara cortada</b> | <b>Peso después de la extracción de terpenos</b> | <b>Peso cáscara deshidratada</b> | <b>Peso harina molida</b> | <b>Peso harina tamizada</b> |
|---------------|-----------------------------|--|-----------------------------|--|----------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Promedio      | 1204,50                     | 753,33                                       | 743,67                      | 774,50   | 82,33                            | 75,17                     | 74,83                       |

A partir de los datos mostrados en el Cuadro 4.10, se calcularon los rendimientos reales de cada operación unitaria, el Cuadro 4.11 resume estos hallazgos.

#### **Cuadro 4.11**

*Rendimientos promedio del proceso por etapa*

| <b>Etapas del proceso</b> | <b>Rendimiento promedio (%)</b> |
|---------------------------|---------------------------------|
| Limpieza                  | 62,54                           |
| Corte                     | 98,72                           |
| Desamargado               | 104,16                          |
| Secado                    | 10,64                           |
| Molienda                  | 92,50                           |
| Tamizado                  | 99,53                           |
| <b>Rendimiento global</b> | <b>6,21</b>                     |

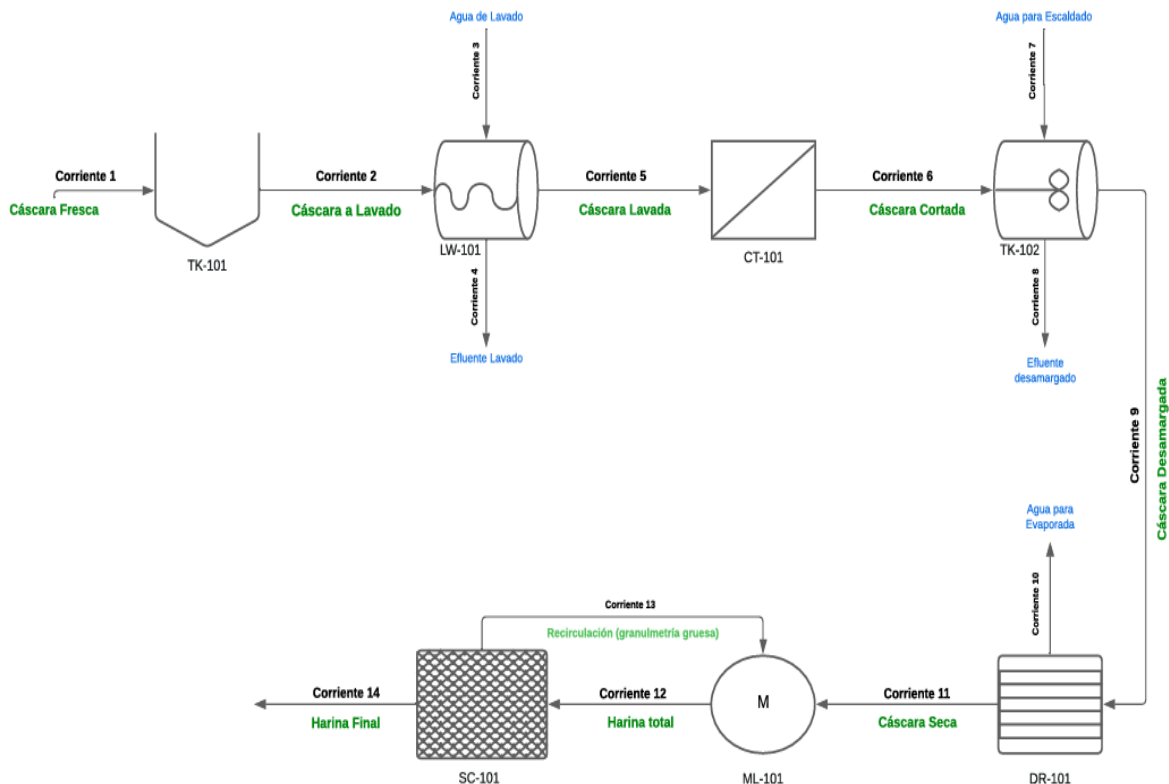
El análisis de los rendimientos por etapa detallado en el Cuadro 4.11 revela una eficiencia global del proceso del 6,21 %, un dato experimental clave para el diseño. Se

identificaron dos operaciones con pérdidas significativas de material: la limpieza y despitado, siendo la principal fuente de merma de materia prima, y la molienda, indicando un punto clave de optimización para el equipo a escala piloto. Cabe destacar que el rendimiento superior al 100 % registrado en la etapa de desamargado confirma la absorción de agua durante el escaldado, un factor crucial para el dimensionamiento del secador. Estos rendimientos experimentales fueron la base para la actualización y validación del balance de masa final de la planta.

- c) **Representación gráfica del diagrama de flujo de proceso:** los equipos, la secuencia y los datos cuantitativos del balance de masa se integraron en el diagrama presentado en la Figura 4.1. En el Cuadro 4.12 se muestra la descripción secuencial de cada una de las corrientes identificadas, así como su función, origen y destino dentro del proceso.

**Figura 4.3.3.1**

*Diagrama de flujo de proceso de harina de cáscara de limón*



*Nota:* La figura 4.1 muestra el flujo completo del proceso

**Cuadro 4.12**

*Descripción secuencial de las corrientes del proceso*

| <b>Corriente</b> | <b>Descripción del Flujo</b>         | <b>Origen del Flujo</b>     | <b>Destino del Flujo</b> | <b>Observación</b>                           |
|------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--|
| 1                | Cáscara Fresca                       | Exterior de la planta       | TK-101                   | Materia Prima Principal                      |
| 2                | Cáscara a Lavado                     | TK-101                      | LW-101                   | Flujo principal                              |
| 3                | Agua de Lavado                       | Suministro de agua          | LW-101                   | Entrada de agua                              |
| 4                | Efluente de Lavado                   | LW-101                      | Tratamiento de residuos  | Salida de residuo (agua, semillas, suciedad) |
| 5                | Cáscara Lavada                       | LW-101                      | CT-101                   | Flujo principal                              |
| 6                | Cáscara Cortada                      | CT-101                      | TK-102 / TK-103          | Flujo principal                              |
| 7                | Agua para Escaldado                  | Suministro de agua caliente | TK-102 / TK-103          | Entrada de agua y bicarbonato de sodio       |
| 8                | Efluente de Desamargado              | TK-102 / TK-103             | Tratamiento de efluentes | Salida de residuo (agua con Terpenos)        |
| 9                | Cáscara Desamargada                  | TK-102 / TK-103             | DR-101 / DR-102          | Flujo principal                              |
| 10               | Agua Evaporada                       | DR-101 / DR-102             | Atmósfera                | Salida de proceso                            |
| 11               | Cáscara Seca                         | DR-101 / DR-102             | ML-101                   | Flujo principal                              |
| 12               | Harina Total                         | ML-101                      | SC-101                   | Flujo principal                              |
| 13               | Recirculación (granulometría gruesa) | SC-101                      | ML-101                   | Recirculación de granulometría gruesa        |
| 14               | Harina fina                          | SC-101                      | ENV-101                  | Salida de producto principal                 |

*Nota:* La tabla es una guía que describe la función y el recorrido de cada corriente numerada en la figura 4.1

El Cuadro 4.13 presenta los datos obtenidos en el balance de masa de forma más detallada, cuantificando los flujos máscicos y las condiciones de cada una de las corrientes del proceso, escalados a la capacidad de diseño de la planta, operando en un turno de 8 horas, lo que resulta en un flujo de entrada de materia prima de 43,75 kg / h.

**Cuadro 4.13**

*Tabla de corrientes del proceso*

| Corriente | Descripción del flujo                | Flujo másico (kg / h) |
|-----------|--------------------------------------|-----------------------|
| 1         | Cáscara Fresca                       | 43,75                 |
| 2         | Cáscara a Lavado                     | 43,75                 |
| 3         | Agua de Lavado                       | 87,50                 |
| 4         | Efluente de Lavado                   | 103,89                |
| 5         | Cáscara Lavada                       | 27,36                 |
| 6         | Cáscara Cortada                      | 27,01                 |
| 7         | Agua para Escaldado                  | 54,02                 |
| 8         | Efluente de Desamargado              | 52,90                 |
| 9         | Cáscara Desamargada                  | 28,14                 |
| 10        | Agua Evaporada                       | 25,14                 |
| 11        | Cáscara Seca                         | 2,99                  |
| 12        | Harina Total                         | 2,77                  |
| 13        | Recirculación (granulometría gruesa) | 0,01                  |
| 14        | Harina fina                          | 2,76                  |

Nota: Los flujos de las corrientes 3 y 7 son estimaciones. Los demás flujos se calculan directamente a partir de los rendimientos experimentales y escalados a la capacidad de diseño de la planta.

#### 4.3.3.2. *Layout de la Planta mediante SPL*

Para el diseño de la distribución de planta, se aplicó la metodología de planificación sistemática de la distribución (SLP), con la cual se desarrolló el plano de distribución general para la planta piloto. El objetivo de este proceso fue crear un *layout* que garantizara tanto la eficiencia en el flujo de materiales como en el cumplimiento de los principios de diseño sanitario requeridos para una instalación de alimentos.

- a) **Análisis del flujo de materiales y actividades:** el primer paso de la metodología SLP consistió en realizar un cursograma analítico del proceso. Esta herramienta permitió

representar visualmente cada una de las actividades a lo largo del flujo de producción, comenzando con la recepción de la materia prima (cáscara de limón) hasta el almacenamiento del producto (harina de cáscara de limón) como etapa final del proceso. El objetivo de este análisis fue visualizar la secuencia, identificar todas las operaciones, transportes, inspecciones y almacenamientos, para establecer una base para optimizar el recorrido de los materiales. El Cuadro 4.14 presenta el cursograma analítico para un lote de producción.

**Cuadro 4.14**

*Cursograma analítico del proceso de producción de harina de cáscara de limón*

| N.º | Descripción de la Actividad         | Distancia (m) | Tiempo (min) | ○ | ➡ | □ | D | ▽ |
|-----|-------------------------------------|---------------|--------------|---|---|---|---|---|
| 1   | Recepción y pesaje de materia prima | -             | 5            |   |   | □ |   |   |
| 2   | Mover a almacén de materia prima    | 3             | 2            |   | ➡ |   |   |   |
| 3   | Almacenamiento de materia prima     | -             | -            |   |   |   |   | ▽ |
| 4   | Mover a área de lavado              | 4             | 2            |   | ➡ |   |   |   |
| 5   | Lavado y despepitado                | -             | 20           | ○ |   |   |   |   |
| 6   | Mover a área de corte               | 3             | 2            |   | ➡ |   |   |   |
| 7   | Corte en trozos                     | -             | 15           | ○ |   |   |   |   |
| 8   | Mover a tanque de desamargado       | 3             | 2            |   | ➡ |   |   |   |
| 9   | Desamargado (Escaldado)             | -             | 80           | ○ |   |   |   |   |
| 10  | Mover a área de secado              | 4             | 3            |   | ➡ |   |   |   |
| 11  | Carga de bandejas y secado          | -             | 480          | ○ |   |   |   |   |
| 12  | Mover a área de molienda            | 4             | 3            |   | ➡ |   |   |   |
| 13  | Molienda de cáscara seca            | -             | 20           | ○ |   |   |   |   |
| 14  | Mover a área de tamizado            | 2             | 1            |   | ➡ |   |   |   |
| 15  | Tamizado y clasificación            | -             | 15           | ○ |   |   |   |   |

|                |                                       |           |            |          |          |          |          |          |
|----------------|---------------------------------------|-----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 16             | Inspección de producto final          | -         | 5          |          |          | □        |          |          |
| 17             | Mover a almacén de producto terminado | 5         | 3          |          | ⇒        |          |          |          |
| 18             | Almacenamiento de producto terminado  | -         | -          |          |          |          | ▽        |          |
| <b>Totales</b> |                                       | <b>28</b> | <b>658</b> | <b>6</b> | <b>8</b> | <b>2</b> | <b>0</b> | <b>2</b> |

El Cuadro 4.14 muestra un proceso compuesto por 6 operaciones principales que transforman el producto, 8 transportes que mueven el material entre estaciones, 2 inspecciones clave que son en la recepción y al final del proceso, y 2 almacenamientos determinados.

- b) **Cálculo del requerimiento de espacio:** siguiendo el análisis de flujo, el siguiente paso de la metodología SLP fue determinar la superficie necesaria para cada área funcional de la planta. Este cálculo es fundamental, ya que define las dimensiones de las áreas funcionales que se utilizarán en el diseño del *layout*. De acuerdo con los principios de planificación de instalaciones, el cálculo del área no se limitó a la superficie física de los equipos, sino que incluyó de manera integral los espacios adicionales indispensables para la operación, el mantenimiento, el almacenamiento de materiales en proceso y la circulación segura del personal (Tompkins *et al.*, 2010). El Cuadro 4.15 presenta el desglose de los requerimientos de espacio para la planta piloto. El dimensionamiento se realizó considerando la capacidad de diseño de 350 kg / día y la decisión de utilizar dos secadores para gestionar el cuello de botella del proceso. El área total de la planta se estima en 270 m<sup>2</sup>.

**Cuadro 4.15**

*Requerimientos de espacio por área funcional*

| N° | Área                                 | Equipos Principales Incluidos  | Superficie Total Requerida (m <sup>2</sup> ) |
|----|--------------------------------------|--------------------------------|--|
| 1  | Recepción y almacén de materia prima | Báscula                        | 20   |
| 2  | Zona de lavado y pretratamiento      | LW-101, CT-101, TK-102, TK-103 | 35   |
| 3  | Zona de secado                       | DR-101, DR-102                 | 30   |
| 4  | Zona de molienda y tamizado          | ML-101, SC-101                 | 20   |

|    |                                   |                    |            |
|----|-----------------------------------|--------------------|------------|
| 5  | Zona de envasado y etiquetado     | ENV-101            | 20         |
| 6  | Almacén de producto terminado     | -                  | 25         |
| 7  | Laboratorio de control de calidad | -                  | 15         |
| 8  | Oficinas y administración         | -                  | 15         |
| 9  | Servicios para el personal        | -                  | 20         |
| 10 | Área de servicios auxiliares      | Compresor, Caldera | 15         |
|    | <b>Subtotal áreas funcionales</b> |                    | <b>215</b> |
| 11 | Pasillos y zonas de circulación   | -                  | 55         |
|    | <b>Área total de la planta</b>    |                    | <b>270</b> |

El cálculo de requerimientos expuesto en el Cuadro 4.15 arrojó una necesidad de 215 m<sup>2</sup> para las áreas funcionales. A esta superficie se le añadió un área adicional de diseño para pasillos y zonas de circulación. De acuerdo con los principios de planificación de instalaciones (Tompkins *et al.*, 2010), el espacio de pasillos no es un porcentaje fijo, sino que se diseña en función de las necesidades del equipo de manejo de materiales, el flujo de tráfico y los códigos de seguridad. Para esta planta piloto, donde la circulación estará compuesta principalmente por operarios y equipos de transporte manuales, se ha estimado una holgura para circulación de 55 m<sup>2</sup>, que representa aproximadamente el 27 % del área funcional. El área total de la planta se define, por tanto, en 270 m<sup>2</sup>. Estas áreas serán organizadas en el siguiente paso de la metodología.

**c) Elaboración del diagrama de relación de actividades:** una vez cuantificadas las áreas funcionales, el siguiente paso de la metodología SLP consistió en establecer las relaciones de proximidad entre ellas, sirviendo como una guía para la disposición espacial de los bloques de área en el diseño final del *layout*. Primero, se definieron y codificaron las áreas funcionales de la planta, como se muestra en el Cuadro 4.16.

**Cuadro 4.16**

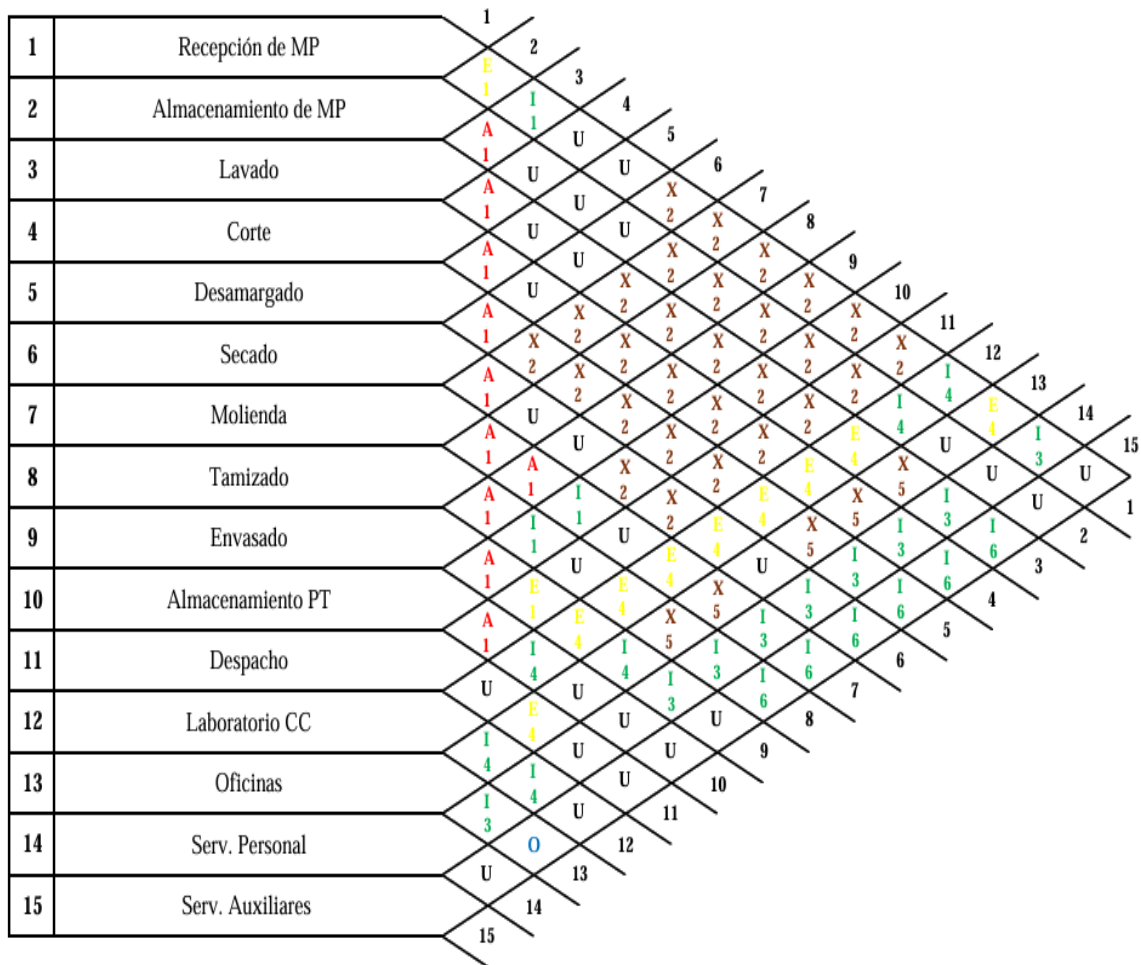
*Codificaciones de actividades y áreas funcionales de la planta piloto*

| <b>N°</b> | <b>Actividad / Área funcional</b> | <b>Tipo</b>            |
|-----------|-----------------------------------|------------------------|
| 1         | Recepción de materia prima        | Operación / inspección |
| 2         | Almacén de materia prima          | Almacenamiento         |
| 3         | Lavado y despepitado              | Operación              |
| 4         | Corte                             | Operación              |
| 5         | Desamargado                       | Operación              |
| 6         | Secado                            | Operación              |
| 7         | Molienda                          | Operación              |
| 8         | Tamizado                          | Operación              |
| 9         | Envasado                          | Operación              |
| 10        | Almacén de producto terminado     | Almacenamiento         |
| 11        | Zona de despacho                  | Transporte             |
| 12        | Laboratorio de control de calidad | Soporte                |
| 13        | Oficinas y administración         | Soporte                |
| 14        | Servicios para el personal        | Soporte                |
| 15        | Área de servicios auxiliares      | Soporte                |

El diagrama completo, presentado en la Figura 4.2 muestra la matriz de relación de actividades. Cada celda de la esta matriz contiene dos informaciones: una letra, que indica el grado de proximidad requerido, y un número, que indica el motivo principal de dicha valoración.

**Figura 4.2.**

*Diagrama de relación de actividades para la planta de harina de cítricos*



| Motivo |                                   |
|--------|-----------------------------------|
| 1      | Secuencia en el Flujo del Proceso |
| 2      | Higiene                           |
| 3      | Flujo de Personal                 |
| 4      | Control, seguridad o servicio     |
| 5      | Evitar contaminación              |
| 6      | Uso de servicios comunes          |

| Proximidad | Color asociado           |              |
|------------|--------------------------|--------------|
| A          | Absolutamente necesarios | Rojo         |
| E          | Especialmente importante | Amarillo     |
| I          | Importante               | Verde        |
| O          | poco importante          | Azul         |
| U          | Sin importancia          | Negro/Blanco |
| X          | No deseable              | Marrón       |

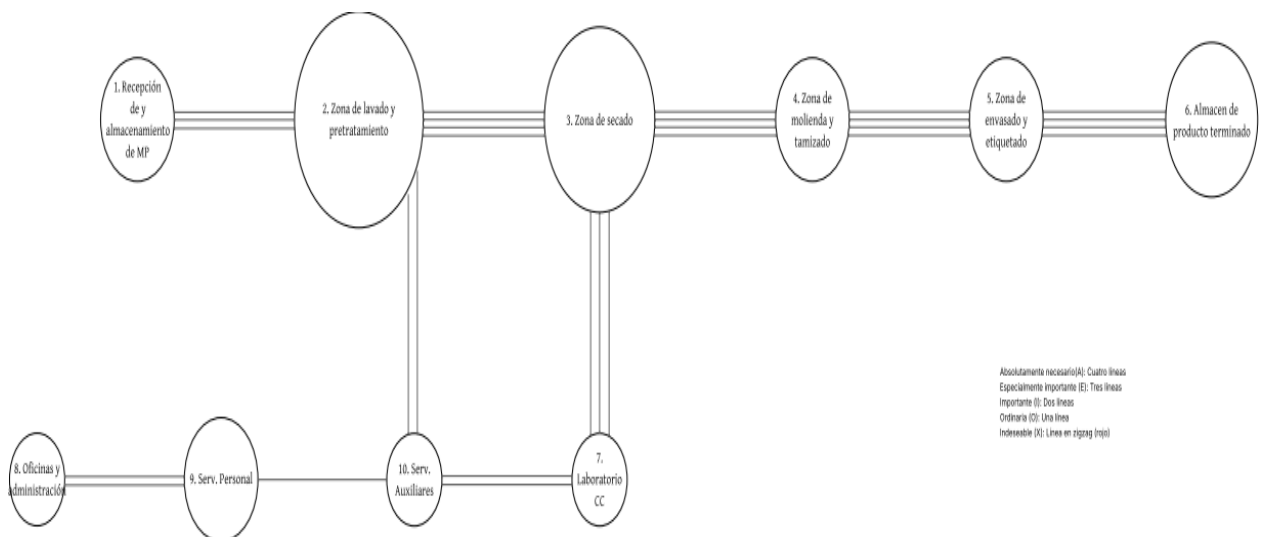
La Figura 4.2 muestra los requerimientos del proceso, los flujos de personal y las normas de seguridad del proceso, destacando tres líneas fundamentales. La primera es la definición de un flujo lógico y continuo que conecta con el almacén de materia prima con el despacho, minimizando distancias y retrocesos. La segunda, es el establecimiento de una barrera sanitaria crítica que separa estrictamente las zonas sucias de las zonas limpias, identificando la etapa de secado como el punto de transformación clave para cumplir con las buenas prácticas de manufactura (BPM). Finalmente, la

tercera es la agrupación de las áreas de soporte, donde el laboratorio de control de calidad se vincula con puntos de control de calidad, las oficinas con recepción para facilitar la supervisión, y los servicios para el personal como acceso higiénico controlado a las áreas de producción.

**d) Construcción de diagramas y desarrollo de alternativas:** definidos los requerimientos de espacio y las relaciones de proximidad, el siguiente paso de la metodología SLP consistió en transformar esta información en un esquema visual que representara la disposición de las áreas y sus interacciones dentro del espacio físico. La primera etapa fue la elaboración de un diagrama de relaciones de espacio, presentado en la Figura 4.3. Para su construcción, cada una de las diez áreas funcionales fue representada como un nodo cuyo tamaño es proporcional a su superficie requerida. Los nodos se unieron por un código de líneas que representan el nivel de proximidad requerido entre las diferentes áreas, resultando en un diagrama que agrupa las actividades en tres grupos principales.

**Figura 4.3**

*Diagrama de relaciones de espacio*



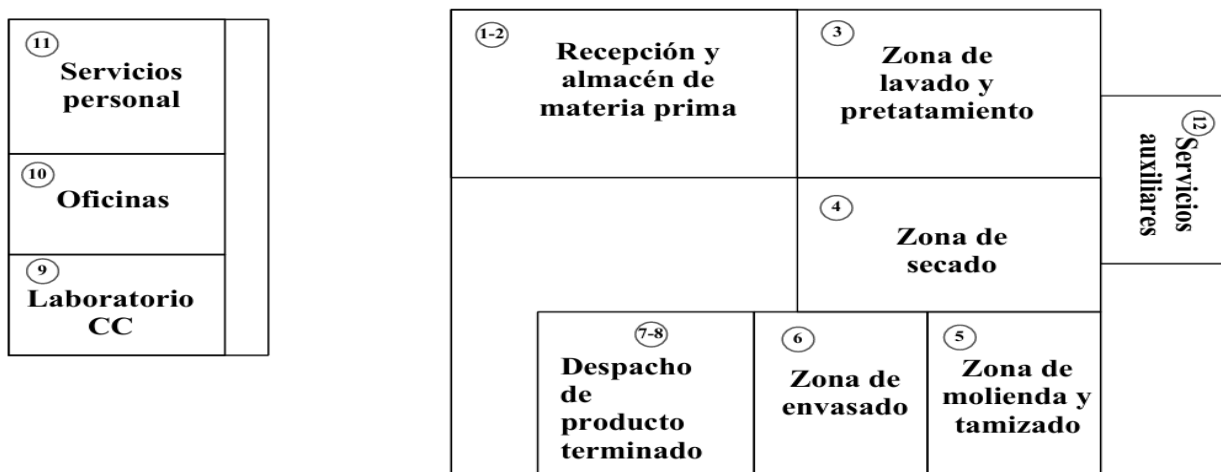
El diagrama presentado en la Figura 4.3 refleja tres decisiones clave de diseño. Primero, establece un flujo lineal y unidireccional desde la recepción de la materia prima hasta el almacén de producto terminado, con el fin de maximizar la eficiencia y reducir transportes. Segundo, define una barrera sanitaria con la zona de secado como

transición entre operaciones húmedas y secas, para asegurar el control higiénico. Por último, organiza en un eje secundario a las áreas de soporte, coloca el laboratorio de control de calidad en rutas con accesos a puntos de muestreo, en un bloque administrativo a las oficinas y servicios del personal, y con el objetivo de optimizar el suministro de agua caliente al tanque de desamargado y mejorar la eficiencia operativa, se colocan a los servicios auxiliares con la zona de lavado y pretratamiento.

Este diagrama de relaciones de espacio, se empleó como la base para el desarrollo de dos alternativas de distribución en bloque. La alternativa 1, presentada en la Figura 4.4, se diseñó con un flujo en U, donde la recepción y despacho se ubican en la misma fachada del edificio, mientras que las zonas de proceso húmedo y seco ocupan ramas paralelas. Por otro lado, la alternativa 2, mostrada en la Figura 4.5, se diseñó con un flujo en I o lineal, con la recepción ubicada en una fachada y el despacho en la opuesta. La elaboración de estas dos alternativas factibles, cada una con sus ventajas y desventajas, es el resultado final de esta fase del diseño y sirve como base para la evaluación y selección del diseño definitivo en la siguiente sección.

**Figura 4.4**

*Alternativa de layout 1 (Flujo en U)*



**Figura 4.5**

*Alternativa de layout 2 (Flujo en I)*

|  |                              |   |                            |  |  |
|--|------------------------------|---|----------------------------|--|--|
| ⑦-⑧<br><b>Despacho de producto terminado</b> | ⑥<br><b>Zona de envasado</b> | ⑤<br><b>Zona de molienda y tamizado</b> | ④<br><b>Zona de secado</b> | ③<br><b>Zona de lavado y pretatamiento</b> | ①-②<br><b>Recepción y almacén de materia prima</b> |
|  |                              |   |                            |  |  |

|                            |                                |                      |                            |
|----------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------------|
| ⑫<br><b>Servicios aux.</b> | ⑪<br><b>Servicios personal</b> | ⑩<br><b>Oficinas</b> | ⑨<br><b>Laboratorio CC</b> |
|----------------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------------|

e) **Selección y detalle para el *layout* final:** la selección del diseño se realizó a través de una evaluación sistemática de las dos alternativas de distribución en bloque. Para ello, se empleó una matriz de decisión ponderada para calificar cada *layout* frente a criterios clave como la seguridad alimentaria, la eficiencia del flujo, la utilización del espacio y la logística externa. El resultado de este análisis, detallado en el Cuadro 4.17, demostró la superioridad de la alternativa 1. El análisis detallado de las calificaciones asignadas muestra que, aunque el flujo en I ofrecía un recorrido interno ligeramente más corto, el flujo en U lo supera ampliamente en los criterios de mayor peso estratégico. En seguridad alimentaria, el criterio más importante, el flujo en U obtuvo la calificación más alta al crear una separación física natural entre las zonas húmeda y seca mediante el bloque de soporte central. En cuanto a la utilización del espacio y flexibilidad, su forma más compacta se consideró más favorable, debido a que facilita futuras expansiones. Finalmente, en logística externa, demostró ser más eficiente al concentrar toda la actividad de carga y descarga en una sola fachada. Por lo tanto, basado en su mayor puntuación total y sus ventajas en higiene, flexibilidad y logística, se seleccionó la alternativa 1 como el diseño final para la planta piloto.

**Cuadro 4.17**

*Matriz de evaluación de alternativas de layout*

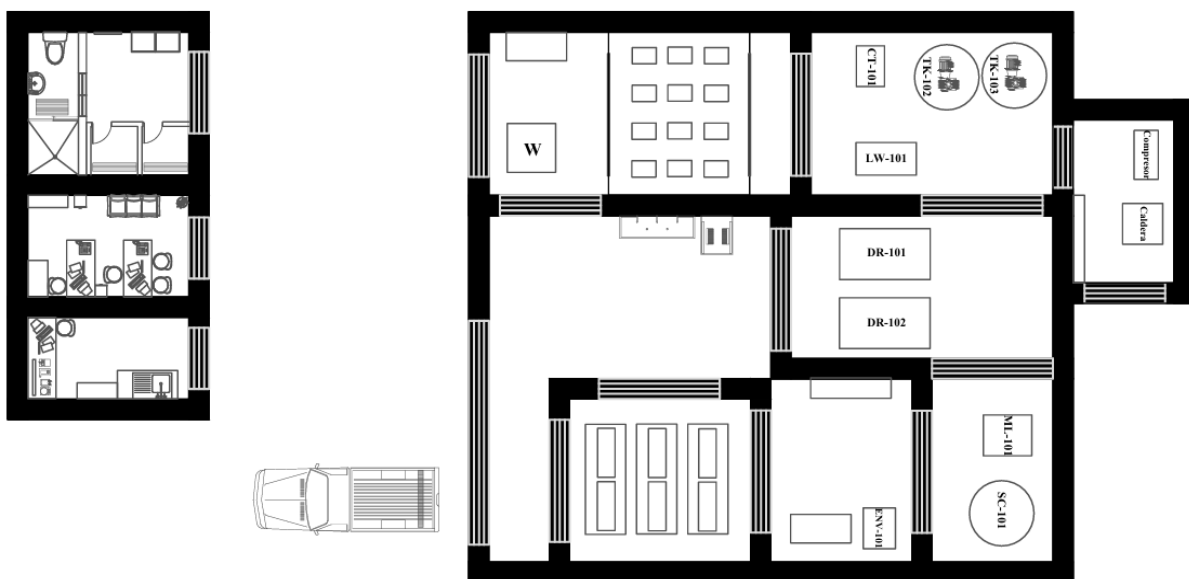
| Criterio              | Peso (%) | Alternativa 1 | Alternativa 2 |
|-----------------------|----------|---------------|---------------|
| Seguridad alimentaria | 40%      | 10            | 8             |

|                              |             |            |          |
|------------------------------|-------------|------------|----------|
| Eficiencia flujo materiales  | 30%         | 8          | 9        |
| Utilización del espacio      | 20%         | 9          | 7        |
| Eficiencia logística externa | 10%         | 9          | 7        |
| <b>Puntuación Total</b>      | <b>100%</b> | <b>9,1</b> | <b>8</b> |

El plano de distribución general final, presentado en la Figura 4.6, es el resultado detallado de la alternativa seleccionada, con una superficie total de 270 m<sup>2</sup>. El diseño se organiza en torno a un flujo de proceso unidireccional en forma de U que garantiza tanto la eficiencia operativa como la seguridad alimentaria. Esta disposición divide a la planta en tres zonas funcionales: una zona de proceso húmedo en la rama izquierda, una zona de proceso seco en la rama derecha y una zona de soporte y servicios que actúa como barrera central tanto física como de acceso. Un aspecto fundamental del diseño es la implementación de una zona higiénica a través de los servicios para el personal, siendo este el único punto de entrada controlado a las áreas de producción. Esta distribución respeta todas las relaciones críticas definidas en el análisis, asegurando un flujo de proceso lógico, previniendo la contaminación cruzada y creando un entorno de trabajo seguro y eficiente para la producción de harina de cítricos de alta calidad.

**Figura 4.6**

*Layout detallado*



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se realizó la caracterización fisicoquímica de la cáscara de limón Meyer, cuyos análisis experimentales permitieron determinar los parámetros de operación iniciales para el diseño del proceso. Los resultados clave, como la humedad inicial y el pH ácido, fueron determinantes para establecer especificaciones técnicas directas, como la capacidad de evaporación del secador y la necesidad de usar acero inoxidable en los equipos.
- Mediante una matriz de decisión, se optó por la metodología propuesta por Gómez *et al.* (2018) debido a su enfoque en la obtención de un producto con propiedades físicas controladas y su potencial de valorización de subproductos. Esta metodología sirvió como base, la cual fue posteriormente adaptada y mejorada para la escala piloto mediante la selección de tecnologías de equipos industriales.
- Se desarrolló la ingeniería básica completa para la línea de producción. Se encontró un rendimiento global del proceso de 6,21 %, dato que permitió conectar la demanda de mercado con la capacidad de diseño final. Este análisis culminó en la generación de los entregables claves como el diagrama de flujo de proceso con una tabla de corrientes y un plano de *layout* optimizado, demostrando así la viabilidad técnica y operativa de la planta piloto propuesta.

## 5.2.Recomendaciones

- Se recomienda utilizar la ingeniería básica desarrollada como punto de partida para la siguiente fase del proyecto.
- Se recomienda llevar a cabo una fase de investigación y desarrollo enfocada en la aplicación de la harina de cítricos como ingrediente funcional. Realizando pruebas de aplicación controladas en sectores como la panadería, la industria cárnica o la de suplementos. Posteriormente realizar análisis sensoriales y de vida útil sobre los productos finales para validar su aceptación y determinar el valor agregado que la harina aporta al producto final.
- El proceso de desamargado se basó en un método de la literatura. Se recomienda realizar un diseño de experimentos para optimizar las variables de este proceso con el fin de maximizar la eliminación de amargor minimizando la pérdida de sólidos solubles valiosos.

## REFERENCIAS

- Abdel-Naeem, H. H., Elshebrawy, H. A., Imre, K., Morar, A., Herman, V., Paşcalău, R., & Sallam, K. I. (2022). *Antioxidant and antibacterial effect of fruit peel powders in chicken patties*. *Foods*, 11(3), Article 301. <https://doi.org/10.3390/foods11030301>
- Albarracín, P. M., Prieto, D., Barnes, N. G., Paz, D., & Genta, H. (2011). *Elaboración de dietas utilizando cáscara de limón en alimento para ganado bovino*. [Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología; Facultad de Bioquímica, Química y Farmacia]. [https://produccion-animal.com.ar/tablas\\_composicion\\_alimentos/38-limon.pdf](https://produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/38-limon.pdf)
- Alcívar, D., & Rosado, L. (2022). *Estrategias de valoración ambiental de cáscara de naranja (Citrus sinensis) para el fomento de la economía circular en la parroquia canuto* [Trabajo de Integración Curricular, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio ESPAM. [https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1943/1/TIC\\_IA33D.pdf](https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1943/1/TIC_IA33D.pdf)
- Alfaro Bermúdez, F. N. (2023). *Composición química y actividad antioxidante del aceite esencial de la cáscara de limón (citrus limon) proveniente de Piura* [Tesis de grado, Universidad de Trujillo]. Repositorio UNT. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/73ff69cf-93d6-4fdc-b621-56068a9a980f/content>
- Al-Qudah, T., Zahra, U., Rehman, R., Majeed, M. I., Sadia, Sadique, Nisar, S., Al-Qudah, T., & Tahtamouni, R. (2018). *Lemon as a source of functional and medicinal ingredient: A review*. <https://www.iscientific.org/wp-content/uploads/2019/09/6-IJCBS-18-14-6.pdf>
- Aranda, N., & Valdez, I. (2019). *El color del limón: ¿Hormonas al servicio de exigencias de mercado?* EEAOC. <https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2019/06/avance40-1-el-color-del-limon.pdf>
- Arboleda, J., (2020). *Desarrollo de caramelos a base de cáscara de naranja (Citrus X sinensis) con la adición de miel de abeja* [Componente Práctico de Examen Complexivo, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Repositorio UCSG. <http://201.159.223.180/bitstream/3317/15578/1/T-UCSG-PRE-TEC- CIA-72.pdf>
- Baños, E. C. G., Dorantes, M. I. B., Luna-Jiménez, A. L., González-Cortés, N., & Jiménez-Vera, R. (2020). Caracterización de Harina de Naranja (Citrus x sinensis) para Uso Alimentario. *European Scientific Journal*, ESJ, 16(6), 12.

<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n6p12>

- Barnwal, S., & Dharmadhikari, P. (2016). Optimization of Plant Layout Using SLP Method. *International Journal Of Innovative Research In Science, Engineering And Technology*, 5, IJIRSET. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2016.0503046>
- Bocángel, G., Rosas, C., Bocángel-Marín, G. (2021). *Introducción al diseño de plantas*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán. <https://www.unheval.edu.pe/portal/wp-content/uploads/2021/09/DISENO-DE-PLANTAS.pdf>
- Bressani, Ricardo, Turcios, Juan C, Reyes, Luis, & Mérida, Roberta. (2001). Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(3), 309-313. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222001000300015&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222001000300015&lng=es&tlng=es).
- Cañarte, E., y Navarrete, J. (octubre, 2019). *Situación fitosanitaria de los cítricos en Ecuador*. Memorias del II Simposio Internacional Producción Integrada de Frutas 2019. Quito, Ecuador: INIAP. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5393>
- Chappalwar, A. M., Pathak, V., Goswami, M., Verma, A. K., & Rajkumar, V. (2021). *Efficacy of lemon albedo as fat replacer for development of ultra-low-fat chicken patties*. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(7), Article e15587. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15587>
- Chase, R. B., & Jacobs, F. R. (2017). *Operations and Supply Chain Management* (15.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Education.
- Chumo, R., & Rodríguez, J., (2018). *Influencia de la sustitución parcial de harinas de cáscara de frutas en perfil de textura y calidad nutricional de una galleta* [Trabajo de titulación, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. Repositorio ESPAM. <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/886/1/TTAI5.pdf>
- Cromos, R. (2024, 27 agosto). 15 recetas con cáscara de limón que puedes hacer fácilmente en casa. *ELESPECTADOR.COM*. <https://www.elespectador.com/gastronomia-y-recetas/15-recetas-con-cascara-de-limon-que-puedes-hacer-facilmente-en-casa/>
- Diario, E., & Grupo Ediasa S. A. (2017, mayo 4). *El “boom” de los cítricos llegó*. El Diario Ecuador. <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/431771-el-boom-de-los-citricos-lleg/>

- Diez, O., & Diez, P. (2023). La cáscara del limón y sus posibilidades productivas. *EEAOC*.  
<https://www.eeaoc.gob.ar/wp-content/uploads/2023/06/AA-44-1-2023-Cascara-de-Limon.pdf>
- Dueñas-Rivadeneira, A., Alcívar-Cedeño, U., Casdelo-Gutiérrez, N., & Villanueva-Ramos, G. (2016). Escalado y dimensionamiento de una planta piloto para la producción de un extracto acuoso de *Chuquiraga jussieui* J.F Gmel. *Tecnología Química*, 36, 255-266.  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852016000300001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852016000300001)
- Ekos. (2022, 20 diciembre). *Kantar publica los resultados de 'Consumer Insights Q3 2022: Claves para un crecimiento en 2023'*. Ekos Negocios.  
<https://ekosnegocios.com/articulo/kantar-publica-los-resultados-de-consumer-insights-q3-2022-claves-para-un-crecimiento-en-2023>
- El Comercio. (2011). Cuatro variedades de limón están de cosecha. *El Comercio*.  
<https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/cuatro-variedades-de-limon-de.html>
- Facundo. (2023, septiembre 27). *Materias primas: La pulpa de los cítricos*. nutriNews, la revista de nutrición animal; nutriNews. <https://nutrinews.com/materias-primas-pulpa-de-citricos/>
- FAO. (2021). *Citrus Fruit Statistical Compendium 2020*. Food And Agriculture Organization Of The United Nations; Rome: FAO.
- Fellows, P. (2018). *Tecnología del procesado de los alimentos: principios y prácticas* (3.<sup>a</sup> ed.). Editorial Acribia.
- GAD Municipal de Ibarra. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra*. Dirección Nacional de Registros Públicos.  
[https://www.registrospublicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/02/Poblacion-de-Ibarra\\_0001.pdf](https://www.registrospublicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2022/02/Poblacion-de-Ibarra_0001.pdf)
- García, A., Lozano, M. (2021). *Uso sostenible de la cáscara de naranja en el desarrollo de un producto alimenticio* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio ESPOL.  
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/53665>
- García, S. (2021). *Valorización de Residuos Agroindustriales Cítricos para la Obtención de Coproductos Útiles en la Industria Farmacéutica* [Unidades Tecnológicas de Santander]. Repositorio Institucional RI-UTS.  
<http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/6094>

- Gómez, Á., Jiménez, L., & Colina, J. (2018). Evaluación de harina de cáscara de limón como sustituto de grasa en torta tipo casera. *Revista de Investigaciones de Uniagraria*, 6(1). 52-58.  
<https://revistas.uniagraria.edu.co/index.php/riu/article/view/117/106>
- Granato, D., Barba, F. J., Kovačević, D. B., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. *Annual Review Of Food Science And Technology*, 11(1), 93-118.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2019). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*. United Kingdom: Pearson Education Ltd.
- Holguín, B. P., & Alvarado, A. A. (2017, octubre). Comportamiento de la producción de harina de trigo en Ecuador. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*.  
<https://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2017/produccion-harina-trigo.html>
- Hsieh, Y. H. P., & Rao, Q. (2017). Gliadin Detection by Immunoassay. En *Food science text series* (5.<sup>a</sup> ed., pp. 207-211). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-44127-6\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-319-44127-6_25)
- Ijege, K. O., Umar, I., & Suleiman, R. (2023). Assessment of The Mineral Contents Phytochemicals and Proximate Analysis of Seeds and Peels Of Citrus limon (Lemon). *Nigerian Journal of Chemical Research*, 28(1), 40–50.  
<https://doi.org/10.4314/njcr.v28i1.4>
- International Organization for Standardization. [ISO]. (2015). *ISO 10628-1:2015 - Diagrams for the chemical and petrochemical industry — Part 1: Specification of diagrams*.  
<https://tajhizkala.ir/doc/Drawing/BS%20EN%20ISO%2010628-1-2015.pdf>
- Jimenez Jumbo , L. D., Cujilema Tenezaca, C. M., Villacres Parco, S. P., & Chuin Vargas, G. M. (2024). Determinación de la Acidez Titulable en Cítricos Amazónicos: Correlación con la Madurez y la Susceptibilidad a la Pudrición. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 2441–2451. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i2.10681](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10681)
- Kotler, P. T., & Armstrong, G. (2018). *Principles of Marketing* (17.<sup>a</sup> ed.). Pearson Education.  
[https://opac.atmaluhur.ac.id/uploaded\\_files/temporary/DigitalCollection/ODIjY2E4ODIyODViZjFkODgzNDUxYWZlNWZhZmY2MGE5MDc0ZDVmYw==.pdf](https://opac.atmaluhur.ac.id/uploaded_files/temporary/DigitalCollection/ODIjY2E4ODIyODViZjFkODgzNDUxYWZlNWZhZmY2MGE5MDc0ZDVmYw==.pdf)

- La Nación. (2022, 27 junio). Cuáles son los beneficios que aporta la cáscara del limón y cómo aprovechar sus propiedades. *LA NACION*. <https://www.lanacion.com.ar/lifestyle/cuales-son-los-beneficios-que-aporta-la-cascara-del-limon-y-como-aprovechar-sus-propiedades-nid27082022/>
- Ledesma-Escobar, C. A., & Luque de Castro, M. D. (2014). Towards a comprehensive exploitation of citrus. *Trends In Food Science & Technology*, 39(1), 63-75. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.07.002>
- León, O., & Santos, R. (2020). *Elaboracion, formulacion y poder antioxidante de barras de harina de cascara de limon (Citrus limon), LIMA (Citrus limetta) y semilla de girasol (Helianthus annuus) con alto contenido de fibra alimentaria* [Trabajo de titulación, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio UNJFSC. [https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/7148/tesis\\_compressed.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/7148/tesis_compressed.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Mauer, L. J., & Bradley, R. L. (2017). Moisture and Total Solids Analysis. En *Food science text series* (pp. 257-286). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_15)
- Misha, S., Mat, S., Sopian, K., Salleh, E., & Jaya, H. T. (2013). Review on the Application of a Tray Dryer System for Agricultural Products. *World Applied Sciences Journal*, 22(3), 424-433. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.22.03.343>
- Moreno-Miranda, C., & Dries, L. (2024). Circular economy intentions in the fruit and vegetable sector of Central Ecuador. *Ecological Economics: The Journal of the International Society for Ecological Economics*, 219(108056), 108056. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.108056>
- Munir, H., Yaqoob, S., Awan, K. A., Imtiaz, A., Naveed, H., Ahmad, N., Naeem, M., Sultan, W., & Ma, Y. (2024). Unveiling the Chemistry of Citrus Peel: Insights into Nutraceutical Potential and Therapeutic Applications. *Foods*, 13(11), 1681. <https://doi.org/10.3390/foods13111681>
- Muñoz, M., (2020). *Desarrollo de una galleta a partir de la sustitución parcial de harina de trigo por las obtenidas de las cáscaras de naranja (Citrus × sinensis) y zanahoria (Daucus carota)* [Componente Práctico de Examen Complexivo, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Repositorio UCS. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/15267/1/T-UCSG-PRE-TEC-CIA-64.pdf>
- Muther, R. (1973). *Systematic layout planning* (3.<sup>a</sup> ed.). Management & Industrial Research Publications.

- Noboa, M. Y. (2024). *Residuos vegetales para obtención de pectina y su utilización en la Industria Alimentaria* [Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16289>
- Ordóñez, L. (2001). *Localización y distribución de plantas agroindustriales*. Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51958>
- Pan-American Life Insurance Group [PALIG]. (2022, 3 octubre). *Los beneficios y usos de la cáscara de limón*. PALIG. <https://palig.com/es/us/wellness-hub/p/los-beneficios-y-usos-de-la-cascara-de-limon>
- Porter, M. E. (1985). *Competitive advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press. <https://resource.1st.ir/PortalImageDb/ScientificContent/182225f9-188a-4f24-ad2a-05b1d8944668/Competitive%20Advantage.pdf>
- Puente, C. J. (2006). *Determinación de las Características Físicas y Químicas del Limón sutil (Citrus aurantifolia Swingle)* [Tesis de Grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio UTN. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/352/1/03%20AGI%20206%20TE%20SIS.pdf>
- Rincón, A. M., Vásquez, A., Padilla, M., & C, Fanny. (2005). Composición química y compuestos bioactivos de las harinas de cascaras de naranja (*Citrus sinensis*), mandarina (*Citrus reticulata*) y toronja (*Citrus paradisi*) cultivadas en Venezuela. *Archivos latinoamericanos de nutricion*, 55(3), 305–310. [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222005000300013](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222005000300013)
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations* (5.<sup>a</sup> ed.). Free Press.
- Rojas, E. K., & Araujo, M. J. (2023). *Ácido cítrico sostenible a partir de los residuos agroindustriales generados en Diana Food Ecuador S.A.* [Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio UTMACH. [https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22147/1/Trabajo\\_Titulacion\\_1909.pdf](https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/22147/1/Trabajo_Titulacion_1909.pdf)
- Saini, R. K., Ranjit, A., Sharma, K., Prasad, P., Shang, X., Gowda, K. G. M., & Keum, Y. (2022). Bioactive Compounds of Citrus Fruits: A Review of Composition and Health Benefits of Carotenoids, Flavonoids, Limonoids, and Terpenes. *Antioxidants*, 11(2), 239. <https://doi.org/10.3390/antiox11020239>

- Salazar, B. (2019). Métodos de localización de planta. *Ingeniería Industrial Online*. Recuperado de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/disen-y-distribucion-en-planta/metodos-de-localizacion-de-planta/>
- Sangeeta, A., Gopalakrishnan, K., & Mishra, P. (2024). New food product development from citrus fruits. En *Citrus Fruits and Juice* (pp. 223–258). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-8699-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-981-99-8699-6_10)
- Seider, W. D., Lewin, D. R., Seader, J. D., Widagdo, S., Gani, R., & Ng, K. M. (2016). *Product and Process Design Principles: Synthesis, Analysis and Evaluation*. John Wiley & Sons.
- Seider, W., Lewin, D., Seader, J. D., Widagdo, S., Gani, R., & Ng, K. M. (2016). *Product and Process Design Principles: Synthesis, Analysis and Evaluation* (4.<sup>a</sup> ed.). John Wiley & Sons.
- Serra, R. (2020, octubre 23). *Terpenos: qué son, dónde se encuentran y por qué son útiles*. Terpy. <https://www.terpy.es/blog/terpenos-que-son-donde-se-encuentran-por-que-son-utiles/>
- Thangaraj, P. (2016). Proximate Composition Analysis. En *Pharmacological Assays of Plant-Based Natural Products. Progress in Drug Research* (Vol. 71, pp. 21-31). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-26811-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26811-8_5)
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities planning* (4.<sup>a</sup> ed.). John Wiley & Sons.
- Turton, R., Shaeiwitz, J., Bhattacharyya, D., & Whiting, W. (2018). *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes* (5.<sup>a</sup> ed.). Pearson.
- Urrunaga Ormachea, M., Del Carpio Jiménez, C., Gutierrez Chavez, R. G., & Tomaylla Cruz, C. (2022). PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DEL ACEITE ESENCIAL DE *Citrus jambhiri* (Limón rugoso). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 88(3). <https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i3.403>
- Vargas y Vargas, M., Figueroa Brito, H., Tamayo Cortez, J., Toledo López, V., & Moo Huchin, V. (2019). Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *CIENCIA Ergo-Sum*, 26(2). doi:10.30878/ces.v26n2a6
- Velasquez-Rivera, J. R., & Díaz-Torres, R. (2024). Citrus peel flour as an ingredient for the meat industry. *Agronomía Mesoamericana*, 35, 58857. <https://doi.org/10.15517/am.2024.58857>

- Vinueza López, C., Hidalgo Nuñez, D., Barona Nieto, F., & Enríquez Pico, J. (2023). Adición de harina de cáscara de frutas cítricas en la elaboración de pasta tipo tallarín. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 5(4), 104–113. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i4.651>
- Zambrano, R. (2020, diciembre 30). *Ecuador genera 375 mil toneladas de residuos sólidos urbanos al año, pero solo recicla el 4% de estos desechos*. El Universo. <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/12/30/nota/9111586/ecuador-genera-375-mil-toneladas-residuos-solidos-urbanos-ano-solo>

## ANEXOS

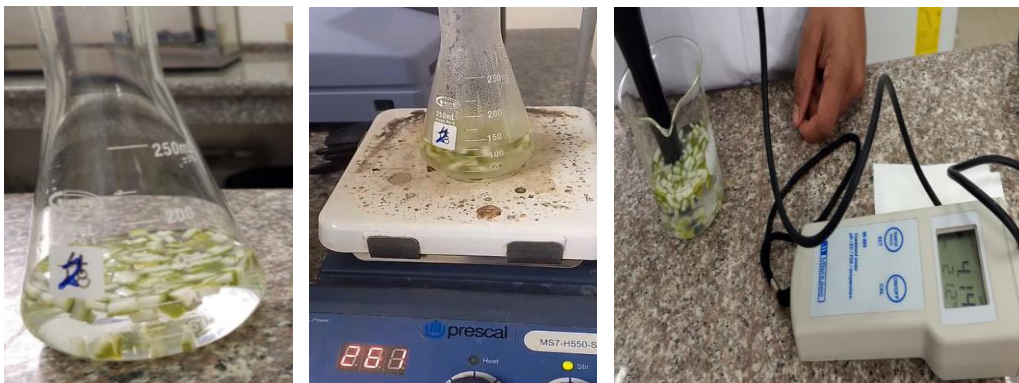
### Anexo 1.

#### Análisis de acidez



### Anexo 2.

#### Análisis de pH



### Anexo 3.

#### Análisis de humedad



## Anexo 4.

### Análisis de grasa



## Anexo 5.

### Análisis de proteína



Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos:  
Aguas, Alimentos y Afines

Informe N°: 03- 2025

#### DATOS DEL CLIENTE

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Análisis solicitado por: | Srta. Karla Rivera   |
| Atención:                | Srta. Karla Rivera   |
| RUC/Ci:                  | 1005216401   |
| Dirección:               | Ibarra   |
| Ciudad/Provincia:        | Ibarra   |
| Teléfono:                | 095 993 1492   |
| email:                   | <a href="mailto:k4rla0258@gmail.com">k4rla0258@gmail.com</a> |

#### DATOS DE LA MUESTRA

|                                       |                       |                         |                     |
|---------------------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|
| Cáscara de Limón Verde Variedad Meyer |                       |                         |                     |
| Tipo de muestra:                      | Sólida                | Descripción:            | Cáscara Limón Verde |
| Fecha de recepción:                   | 25 de febrero de 2025 | Número de muestras:     | 1                   |
| Cantidad:                             | 100 g                 | Fecha de elaboración:   | No aplica           |
| Tipo de conservación:                 | No aplica             | Lote:                   | No aplica           |
| Tipo de envase:                       | Funda Polietileno     | Fecha de caducidad:     | No aplica           |
| Tipo de muestreo:                     | No aplica             | Persona quien muestrea: | Cliente             |

#### DATOS DE LABORATORIO

|                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| Fecha de análisis:        | 25 de febrero de 2025 |
| Fecha de entrega informe: | 06 de marzo de 2025   |
| Código interno            | No aplica             |

#### Resultado Analítico

| Parámetro Analizado | Unidad | Resultado | Método de Ensayo |
|---------------------|--------|-----------|------------------|
| Proteína            | %      | 1.25      | AOAC 984.13      |

#### Observaciones

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

El laboratorio no se responsabiliza del uso que el cliente pueda dar al presente informe.

Los informes se almacenarán por un periodo de dos años a partir del ingreso de la muestra al laboratorio

Tiempo de almacenamiento de las muestras: 5 días a partir de la entrega del informe

Responsable:

*Verónica Espinoza*  
Dra. Verónica Espinoza  
Gerente



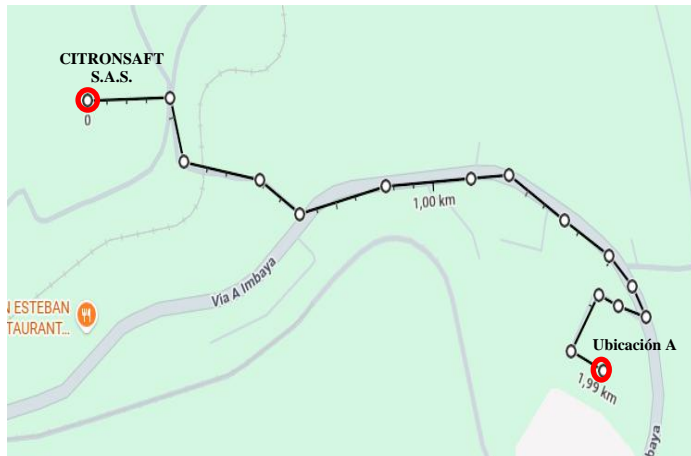
Alfanalítica S.A.S.

RUC: 1091796298001

Dirección: Manuel Peñaherrera 4-106 y Rafael Troya – Parque Boyacá. – Ibarra, Teléfonos: 0983064170, 0989753573, 0983382115,  
e-mail: [alfanalitica@outlook.com](mailto:alfanalitica@outlook.com), [alfanalitica.ibarra@gmail.com](mailto:alfanalitica.ibarra@gmail.com)

**Anexo 6.**

*Distancia aproximada ubicación A con respecto a CITRONSAFT*



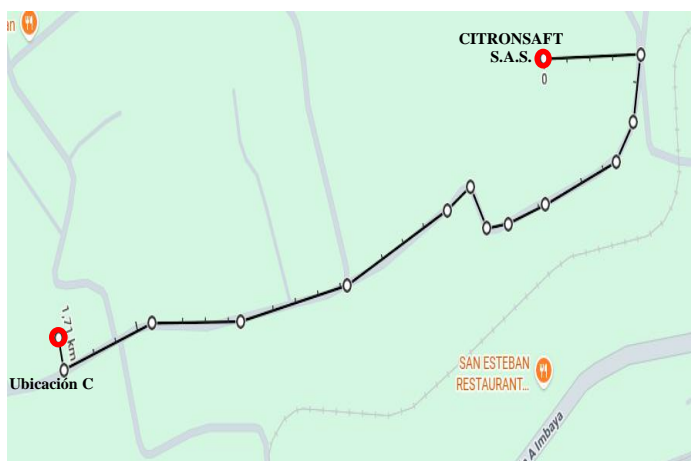
**Anexo 7.**

*Distancia aproximada ubicación B con respecto a CITRONSAFT*



**Anexo 8.**

*Distancia aproximada ubicación C con respecto a CITRONSAFT*



**Anexo 9.**

*Materia prima (Cáscara de limón)*



**Anexo 10.**

*Limpieza de las cáscaras de limón*



**Anexo 11.**

*Cortado de las cáscaras de limón*



**Anexo 12.**

*Desamargado de las cáscaras de limón*



**Anexo 13.**

*Proceso de secado de las cáscaras de limón*



**Anexo 14.**

*Cáscara de limón deshidratada*



**Anexo 15.**

*Proceso de molienda de la cáscara de limón deshidratadas*



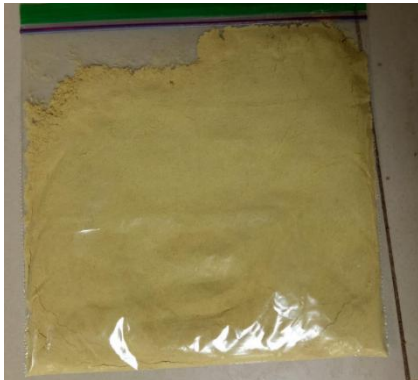
**Anexo 16.**

*Proceso de tamizado de las cáscaras de limón deshidratadas*



**Anexo 17.**

*Harina de cáscara de limón*



## Anexo 18.

### Certificado de análisis



#### Informe de análisis

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

Rivera\_Karla\_TIC\_03-03-2026

ID : 8f879ac182b7806d960a0c21559f84f74811c496



10%

Textos sospechosos

Nombre del fichero : Rivera\_Karla\_TIC\_03-03-2026.txt  
Tamaño del archivo original : 986,61 kB  
Número de palabras : 15.475  
Número de caracteres : 101101

Depositante : Juan Carlos De La Vega Quintero  
Fecha de depósito : 3 de marzo de 2026  
Tipo de carga : interface  
fecha de fin de análisis : 3 de marzo de 2026

#### Resumen (sección 1/3)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :



#### Similitudes

<1%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



#### Detección de IA

8%

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

0%

Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.