



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIECIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN  
DE CALCIO A PARTIR DE LA CÁSCARA DE HUEVO**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR:** JOHN JAIRO JATIVA MAFLA

**DIRECTORA:** ING. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, John Jairo Jativa Mafla

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, JOHN JAIRO JATIVA MAFLA, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de mayo de 2024

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'John Jativa Mafla', with a stylized flourish at the end.

**John Jairo Jativa Mafla**  
**2350056301**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE CALCIO A PARTIR DE LA CÁSCARA DE HUEVO** realizado por el señor: **JOHN JAIRO JATIVA MAFLA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. MABEL MARIELA PARADA RIVERA  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



2024-05-14

Ing. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZ  
**DIRECTORA DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2024-05-14

Ing. CESAR ARTURO PUENTE GUIJARRO  
**ASESOR DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2024-05-14

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de integración curricular se lo dedico a mi madre Flor María Mafla, quien me ha dado todo su amor, comprensión y paciencia a lo largo de este arduo camino, le agradezco de corazón ya que siempre ha estado ahí para escucharme, brindarme consejos y animarme a seguir adelante cuando las cosas se volvían difíciles, su ejemplo de dedicación como sacrificio han sido mi mayor inspiración. A mis hermanos Edwin y Deysi Jativa Mafla, quienes han sido mis compañeros de aventuras y mis cómplices en cada etapa de mi vida, les agradezco por su incondicional apoyo, ser mi fuente de alegría como de motivación, dado que sus palabras de aliento y su presencia constante me han dado la confianza necesaria para superar cualquier obstáculo.

John

## **AGRADECIMIENTO**

A la Ing. Mayra Zambrano y al Ing. Cesar Puente por brindarme sus conocimientos, orientación y guía durante el desarrollo del trabajo de integración curricular. A mi novia Paola por su apoyo incondicional. A la técnica de laboratorio Pamela Morales por su predisposición, ayuda y cooperación.

John

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO Y DEFINACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Planteamiento del Problema.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Beneficiarios directos e indirectos.....</b>	<b>2</b>
<i>1.2.1 Beneficiarios directos .....</i>	<i>2</i>
<i>1.2.2 Beneficiarios indirectos .....</i>	<i>3</i>
<b>1.3 Justificación.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<i>1.4.1 Objetivo General.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2 Objetivos Específicos .....</i>	<i>4</i>

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Antecedentes de la investigación .....</b>	<b>5</b>
<i>2.1.1 Obtención de calcio a partir de la cáscara de huevo .....</i>	<i>5</i>
<b>2.2 Referencias teóricas.....</b>	<b>6</b>
<i>2.2.1 Particularidades del huevo .....</i>	<i>6</i>
<i>2.2.2 Clara.....</i>	<i>7</i>

2.2.3	<i>Yema</i> .....	7
2.2.4	<i>La cáscara del huevo</i> .....	8
2.2.4.1	<i>Estructura de la cáscara de huevo</i> .....	8
2.2.5	<i>Carbonato de calcio</i> .....	9
2.2.6	<i>Calcio</i> .....	9
2.2.7	<i>Residuos agroindustriales</i> .....	9

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	10
3.1	<b>Metodología</b> .....	10
3.1.1	<i>Método deductivo</i> .....	10
3.1.2	<i>Método inductivo</i> .....	10
3.1.3	<i>Caracterización de la materia prima</i> .....	10
3.1.3.1	<i>Determinación de fibras</i> .....	10
3.1.3.2	<i>Determinación de humedad</i> .....	11
3.1.3.3	<i>Determinación de cenizas</i> .....	11
3.1.4	<i>Descripción de los métodos</i> .....	12
3.1.4.1	<i>Obtención de óxido de calcio en solución (Método 1)</i> .....	12
3.1.4.2	<i>Obtención de óxido de calcio por calcinación (Método 2)</i> .....	14
3.1.5	<i>Elección del método</i> .....	15
3.1.6	<i>Diseño del proceso</i> .....	15
3.1.7	<i>Factibilidad económica</i> .....	16
3.2	<b>Ingeniería del proyecto</b> .....	16
3.2.1	<i>Resultados de la caracterización de la materia prima</i> .....	16
3.2.2	<i>Resultados de la obtención de calcio</i> .....	17
3.2.2.1	<i>Obtención de óxido de calcio en solución</i> .....	17
3.2.2.2	<i>Obtención de óxido de calcio por calcinación</i> .....	19
3.2.3	<i>Elección del método industrial para la obtención de calcio</i> .....	21

<b>3.2.4</b>	<b><i>Pasos del método seleccionado</i></b> .....	22
3.2.4.1	<i>Diagrama de flujo del método seleccionado para la obtención de calcio</i> .....	23
3.2.4.2	<i>Formulación de la obtención de óxido de calcio</i> .....	30
<b>3.2.5</b>	<b><i>Técnica empleada para obtención de calcio</i></b> .....	30
<b>3.2.6</b>	<b><i>Resultados caracterización de la cáscara de huevo y el óxido de calcio</i></b> .....	31
<b>3.2.7</b>	<b><i>Diseño del proceso</i></b> .....	32
3.2.7.1	<i>Operaciones unitarias</i> .....	32
3.2.7.2	<i>Variables y parámetros</i> .....	33
3.2.7.3	<i>Balance de masa del proceso</i> .....	34
<b>3.2.8</b>	<b><i>Dimensionamiento de la planta</i></b> .....	36
3.2.8.1	<i>Cotización de equipos utilizados para la obtención de calcio</i> .....	36
3.2.8.2	<i>Cotización de reactivos utilizados para la obtención de calcio</i> .....	38
<b>3.2.9</b>	<b><i>Diseño del equipo</i></b> .....	39
3.2.9.1	<i>Tanque evaporador</i> .....	39
3.2.9.2	<i>Dimensionamiento del tanque evaporador</i> .....	40
3.2.9.3	<i>Resultados del Dimensionamiento del equipo</i> .....	41
3.2.9.4	<i>Costo de fabricación del evaporador</i> .....	41
<b>3.2.10</b>	<b><i>Factibilidad económica</i></b> .....	42
3.2.10.1	<i>Cotización de equipos y reactivos</i> .....	42
<b>3.3</b>	<b><i>Análisis costo beneficio</i></b> .....	42
<b>3.3.1</b>	<b><i>Calculo punto de equilibrio</i></b> .....	43
3.3.1.1	<i>Costo de producción de óxido de calcio</i> .....	43
3.3.1.2	<i>Costos fijos</i> .....	43
3.3.1.3	<i>Costos variables</i> .....	43
<b>3.3.2</b>	<b><i>Análisis VAN y TIR</i></b> .....	44
3.3.2.1	<i>Flujo de caja</i> .....	44
3.3.2.2	<i>Análisis del VAN y TIR</i> .....	46

## **CAPÍTULO IV**

<b>4. RESULTADOS</b> .....	47
<b>CONCLUSIONES</b> .....	49
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	51

## **GLOSARIO**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3-1:</b> Materiales, equipos y reactivos utilizados para la obtención .....	13
<b>Tabla 3-2:</b> Materiales, equipos y reactivos necesarios para .....	15
<b>Tabla 3-3:</b> Porcentaje de humedad de la cáscara de huevo .....	16
<b>Tabla 3-4:</b> Porcentaje de ceniza de la cáscara de huevo .....	16
<b>Tabla 3-5:</b> Porcentaje de fibra de la cáscara de huevo .....	17
<b>Tabla 3-6:</b> Resultados método 1.....	17
<b>Tabla 3-7:</b> Longitud de onda del óxido de calcio.....	19
<b>Tabla 3-8:</b> Resultados método 2.....	19
<b>Tabla 3-9:</b> Longitud de onda del óxido de calcio.....	21
<b>Tabla 3-10:</b> Rendimiento de óxido de calcio .....	30
<b>Tabla 3-11:</b> Huevo fresco de gallina de acuerdo a su grado de calidad.....	30
<b>Tabla 3-12:</b> Características físicas del huevo comercial de gallina .....	30
<b>Tabla 3-13:</b> Análisis del tamaño de la partícula.....	31
<b>Tabla 3-14:</b> Determinación de la densidad.....	31
<b>Tabla 3-15:</b> Propiedades visuales de la cáscara de huevo .....	31
<b>Tabla 3-16:</b> Grosor de la cáscara de huevo .....	31
<b>Tabla 3-17:</b> Temperatura y tiempo del proceso .....	34
<b>Tabla 3-18:</b> Resultados de la calcinación de la .....	35
<b>Tabla 3-19:</b> Resultados de evaporación .....	35
<b>Tabla 3-20:</b> Parámetros técnicos de la mufla.....	36
<b>Tabla 3-21:</b> Características del secador de.....	37
<b>Tabla 3-22:</b> Características del molino .....	38
<b>Tabla 3-23:</b> Costo ácido acético.....	39
<b>Tabla 3-24:</b> Datos para el diseño del tanque evaporador .....	40
<b>Tabla 3-25:</b> Dimensiones del equipo .....	41
<b>Tabla 3-26:</b> Costo de fabricación del tanque evaporador simple.....	42
<b>Tabla 3-27:</b> Precio total de equipos y.....	42
<b>Tabla 3-28:</b> Costo de producción para 1lb de óxido de calcio.....	43
<b>Tabla 3-29:</b> Costo mano de obra mensual.....	43
<b>Tabla 3-30:</b> Costo de servicios básicos .....	43
<b>Tabla 3-31:</b> Costos variables.....	44
<b>Tabla 3-32:</b> Costo de materia prima.....	44
<b>Tabla 3-33:</b> Costo de enseres .....	44

<b>Tabla 3-34:</b> Producción mensual.....	44
<b>Tabla 3-35:</b> Ingresos anuales.....	45
<b>Tabla 3-36:</b> Resolución de costos .....	45
<b>Tabla 3-37:</b> Rubros .....	45
<b>Tabla 3-38:</b> Resultados .....	46

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b> Características del huevo .....	7
<b>Ilustración 2-2:</b> Partes que conforma la.....	8
<b>Ilustración 3-1:</b> Diagrama de flujo para la obtención de óxido de calcio.....	12
<b>Ilustración 3-2:</b> Diagrama de flujo para la obtención de óxido de calcio.....	14
<b>Ilustración 3-3:</b> Espectrofotometría de la muestra 1A obtenido por el método 1.....	18
<b>Ilustración 3-4:</b> Espectrofotometría de la muestra 2A obtenida por el método 1.....	18
<b>Ilustración 3-5:</b> Espectrofotometría de la muestra 1Cc obtenida .....	20
<b>Ilustración 3-6:</b> Espectrofotometría de la muestra 2Cc obtenida .....	20
<b>Ilustración 3-7:</b> Espectrofotometría de la muestra 3Cc obtenida .....	21
<b>Ilustración 3-8:</b> Diagrama de flujo .....	23
<b>Ilustración 3-9:</b> Lavado de la cáscara de huevo.....	24
<b>Ilustración 3-10:</b> Secado cáscara de huevo.....	24
<b>Ilustración 3-11:</b> Molienda cáscara de huevo.....	25
<b>Ilustración 3-12:</b> Tamizado de la cáscara de huevo.....	25
<b>Ilustración 3-13:</b> Calcinación de cáscara de huevo .....	26
<b>Ilustración 3-14:</b> disolución de ceniza en ácido .....	26
<b>Ilustración 3-15:</b> filtración de la solución de ceniza.....	27
<b>Ilustración 3-16:</b> Evaporación de la solución .....	28
<b>Ilustración 3-17:</b> Carbonato de calcio y residuos .....	28
<b>Ilustración 3-18:</b> Calcinación a 800 °C de CaCO <sub>3</sub> .....	29
<b>Ilustración 3-19:</b> Análisis de FTR .....	29
<b>Ilustración 3-20:</b> Balance de masa en la mufla.....	34
<b>Ilustración 3-21:</b> Balance de masa en la estufa .....	35
<b>Ilustración 3-22:</b> Mufla industrial.....	36
<b>Ilustración 3-23:</b> Secador de bandejas.....	37
<b>Ilustración 3-24:</b> Molino de martillo .....	38
<b>Ilustración 3-25:</b> Diagrama del tanque evaporador .....	39

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** NTE INEN 1973:2011 HUEVOS COMERCIALES Y OVOPRODUCTOS.  
REQUISITOS

**ANEXO B:** NTE INEN 2589:2011 CAL VIVA, CAL HIDRATADA Y CALIZA. MÉTODOS  
DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS FÍSICO

## RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular se realizó porque las industrias ovo-productoras desechan gran cantidad de cáscaras de huevo, consideradas como desechos orgánicos. Por lo cual se consideró a estos residuos agroindustriales una alternativa para el desarrollo de distintos productos, su aprovechamiento contribuye a disminuir el impacto ambiental y ofrece ventajas relativas debido a su bajo costo y disponibilidad de adquisición. El objetivo de este proyecto técnico fue realizar un diseño industrial para la obtención de calcio a partir de la cáscara de huevo. Este estudio se basó en dos métodos de extracción el primero en solución de ácido acético y el segundo por calcinación. El proceso comienza con un lavado seguido de la desinfección de materia prima la cual es cáscara de huevo utilizando agua y vinagre. Luego, se procede a secar a una temperatura de 60°C y a eliminar la membrana de la cáscara. Posteriormente, se realiza la trituration y tamizaje de la cáscara de huevo, después se calcina a 600°C. A continuación, se disuelve la ceniza en ácido acético a 0.8M, se evapora la solución a 100°C y, finalmente, se calcina a 800°C para formar el óxido de calcio. Se escogió el mejor método con un rendimiento del 66.56% de óxido de calcio obtenido mediante el método uno solución de ácido acético. Para el proceso del diseño industrial a fin de obtener una producción diaria de 5 libras de óxido de calcio se diseñó un tanque evaporador simple y se incluyó equipos fabricados como son: mufla industrial, secador de bandejas y molino de martillo. La caracterización de la materia prima se la realizó con la NTE INEN 1973:2011 HUEVOS COMERCIALES Y OVOPRODUCTOS. REQUISITOS. y los análisis físicos con la norma NTE INEN 2589:2011 CAL VIVA, CAL HIDRATADA Y CALIZA. MÉTODOS DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS FISICO.

**Palabras clave:** <CALCIO>, <ÓXIDO DE CALCIO>, <CALCINACIÓN>, <ÁCIDO ACÉTICO>, <CÁSCARA DE HUEVO>.

07011-DBRA-UPT-2024



## ABSTRACT

This curricular integration work was carried out because the egg-producing industries discard a large number of eggshells, considered as organic waste. Therefore, these agro-industrial wastes were considered an alternative for the development of different products; their use contributes to reduce the environmental impact and offers relative advantages due to their low cost and availability for acquisition. The objective of this technical project was to carry out an industrial design for obtaining calcium from egg shells. This study was based on two extraction methods, the first in acetic acid solution and the second by calcination. The process begins with washing followed by disinfection of the raw material, which is eggshell, using water and vinegar. Then, the eggshell is dried at a temperature of 60°C and the shell membrane is removed. Subsequently, the eggshell is crushed and sieved, and then calcined at 600°C. The ash is then dissolved in acetic acid at 0.8M, the solution is evaporated at 100°C and finally calcined at 800°C to form calcium oxide. The best method was chosen with a yield of 66.56% of calcium oxide obtained by method one acetic acid solution. For the industrial design process in order to obtain a daily production of 5 pounds of calcium oxide, a simple evaporator tank was designed and included manufactured equipment such as: industrial muffle, tray dryer and hammer mill. The characterization of the raw material was carried out with NTE INEN 1973:2011 COMMERCIAL EGGS AND OVOPRODUCTS. REQUIREMENTS and the physical analysis with NTE INEN 2589:2011 LIVE LIME, HYDRATED LIME AND LIMESTONE. TEST METHODS FOR PHYSICAL ANALYSIS.

**Key words:** <CALCIUM>, <COALCIUM OXIDE>, <CALCINATION>, <ACETIC ACID>, <EGG SHELL>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

C.I.: 1103696132

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto pretende llevar a cabo el diseño de un proceso industrial para aprovechar los residuos agroindustriales generados por las empresas ovo-productoras con el fin de obtener calcio, para lo cual la materia prima que se busca utilizar para este proceso es la cáscara de huevo de gallina. En diferentes agroindustrias se fabrican productos alimenticios utilizando como base el huevo de gallina, lo que provoca una gran cantidad de desechos, aproximadamente 5.000 cáscaras diarias en el país, y al ser este un residuo de gran magnitud se ha buscado darle una vida útil obteniendo de esta manera un nuevo producto.

La cáscara de huevo contiene una cantidad significativa de compuestos químicos como es la formación de minerales de los cuales se encuentra principalmente el óxido de calcio en forma de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), el agua y por último la materia orgánica; la cual la convierte en una fuente rica de concentración del mineral de estudio. El producto obtenido puede ser utilizado en procesos industriales como suplemento para la industria agrícola, jardinera, metalúrgica, con casos específicos en el procesamiento de metales especialmente en la fabricación de acero, para el tratamiento de aguas residuales, estabilizador de pH de aguas y suelos y explotación avícola.

El diseño de un proceso industrial para la obtención de calcio a partir de la cáscara de huevo permite el aprovechamiento de los residuos avícolas manejando una economía circular verde por su bajo costo en la obtención de la materia prima y la realización del proceso, de igual manera se ayuda a combatir la contaminación del medio ambiente por la reutilización de un desperdicio agroindustrial contribuyendo a la recuperación de un mineral con alta demanda en el mercado como es el calcio, debido a sus propiedades físico químicas que son aprovechadas en diferentes industrias.

Con este trabajo se busca obtener calcio puro, este compuesto se utiliza en las fábricas como aditivo para obtener productos elaborados, que ayudan a la economía del ovoproductor y al fabricante directo, por lo cual se requiere conocer la viabilidad del proceso para lograr un producto óptimo y viable para el consumidor.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1 Planteamiento del Problema

La reutilización de los residuos agroindustriales es una de las prioridades para un desarrollo sostenible a nivel mundial hoy en día. En la actualidad, las industrias ovo-productoras desechan gran cantidad de cáscaras de huevo, las cuales son consideradas como desechos orgánicos (Cruz, Lagos 2020, p. 2).

La cáscara de huevo como residuo agroindustrial es una alternativa para el desarrollo de distintos productos, su aprovechamiento contribuye a disminuir el impacto ambiental y ofrece ventajas relativas debido a su bajo costo y disponibilidad de adquisición (Bedoya-Salta zar, Valencia-González 2020, p. 5). La generación en masa de estos residuos se da por: plantas de incubación, criaderos de gallinas, industrias de repostería, fábricas de salsas, entre otras (Vargas 2015, p. 22). Conforme al último censo avícola realizado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca a la par con la Corporación Nacional de Avicultores (CONAVE), en el Ecuador existe una producción anual de alrededor de 3812 millones de huevos comerciales, los mismos que producen aproximadamente 14.900 toneladas anuales de residuos de cáscaras de huevo, de los cuales se considera que el 90% se depositan sin ningún tratamiento en los rellenos sanitarios (CONAVE 2022). La cáscara de huevo es un residuo agroindustrial, químicamente está compuesto por: 1.6% de agua, 93.6% de carbonato de calcio (calcita), 0.8% de carbonato de magnesio, 0.7% de fosfato tricálcico y 3.3% de materia orgánica, por lo que, la cáscara de huevo representa un posible aprovechamiento de calcio en la alimentación de personas como de animales y por lo general son desechadas sin darle un valor agregado (Pérez, Aguirre 2019, p. 4).

Para poder generar cambios se deben implementar alternativas industriales que ayuden a reutilizar estas materias primas con el fin de aprovechar al máximo sus propiedades y de esta manera generar una economía circular. Son estas las razones por las que se desea plantear un diseño industrial para la obtención de calcio con el fin de reducir los desperdicios de la cáscara de huevo y darle un valor agregado.

#### 1.2 Beneficiarios directos e indirectos

##### 1.2.1 *Beneficiarios directos*

El beneficiario directo del presente proyecto es la empresa Corporiz S.A., que se dedica a la producción de suplementos alimenticios, como consecuencia el diseño del proceso industrial para la obtención de calcio a partir de la cáscara de huevo.

### ***1.2.2 Beneficiarios indirectos***

Los ovo-productores se ven beneficiados al disminuir la acumulación de desperdicios y tener un ingreso extra al recolectar las cáscaras de huevo.

### **1.3 Justificación**

El incremento de los desechos agro-industriales nos pone en la necesidad de incrementar opciones para el aprovechamiento de estas materias primas, el presente trabajo busca implementar de forma industrial un proceso para la obtención de calcio a partir de la cáscara de huevo.

El huevo al ser un producto consumido de manera diaria el desperdicio de estos residuos incrementa la contaminación ambiental. De ahí la importancia de implementar un proceso industrial para el aprovechamiento de calcio presente en la cáscara de huevo el cual nos permite reducir la contaminación generada. También permitirá generar un valor agregado al proceso.

Para la ingeniería, la cáscara de huevo es un excelente precursor para la producción de: óxido de calcio, hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio de alta pureza (Vázquez Martínez et al. 2021, p. 43). De igual manera se emplea como aditivo en diversas industrias de las que podemos mencionar: plástico, pinturas, adhesivos, detergentes, papel, resinas, cosméticos, vidrio, cemento, alimentos, entre otros (Amengual et al., p. 2).

Para el diseño se involucran procesos físico químicos que aseguren la viabilidad de la obtención del producto. Estos residuos al no tener un valor agregado son desechados, por lo que se puede generar un beneficio económico a las diferentes industrias que distribuyan gran cantidad de esta materia prima, se reduce la cantidad de residuos y a su vez genera un gran impacto ambiental.

El presente trabajo busca producir calcio puro para ser utilizado como aditivo en las diferentes industrias, conocer la viabilidad del proceso y estimar el rendimiento partiendo de la cáscara de huevo.

## **1.4 OBJETIVOS**

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

- Diseñar un proceso industrial para la obtención de calcio a partir de la cáscara de huevo.

### ***1.4.2 Objetivos Específicos***

- Caracterizar la materia prima mediante la norma NTE INEN 1973:2011 HUEVOS COMERCIALES Y OVOPRODUCOS. REQUISITOS.
- Identificar las variables, parámetros y las operaciones necesarias para efectuar los cálculos de diseño en el proceso de obtención de calcio.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el diseño del proceso industrial para la obtención del calcio.
- Validar la factibilidad técnica y económica del calcio mediante la norma NTE INEN 2589:2011 CAL VIVA, CAL HIDRATADA Y CALIZA. MÉTODOS DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS FISICO.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1 *Obtención de calcio a partir de la cáscara de huevo*

En la actualidad la cáscara de huevo ha sido utilizada como fuente de obtención de calcio en distintos campos para darle un valor agregado a este residuo agroindustrial, la cual es fuente principal para la realización del presente estudio.

Según Bedoya-Saltazar, Valencia-González. (2020, p. 5,6,7) en la investigación denominada “Usos potenciales de la cáscara de huevo de gallina (*Gallus gallus domesticus*): una revisión sistemática” realizada en Medellín, Colombia su objetivo principal es demostrar el beneficio de la cáscara de huevo como residuo agroindustrial, se lo puede emplear en las diferentes áreas como son: la industria farmacéutica, química, cosmética y alimentaria debido a su alto porcentaje de carbonato de calcio. En la industria farmacéutica el carbonato de calcio es empleado como excipiente farmacéutico, también es utilizado como reemplazo del bicarbonato de sodio en tabletas efervescentes, la cáscara de huevo en polvo es una fuente natural de calcio que mezclado con diferentes vitaminas es un suplemento nutricional para pacientes con osteoporosis. En la industria cosmética se utiliza para diferentes formulaciones en las cuales se pueden obtener productos como cremas, exfoliantes, cremas dentales y soluciones para el cuidado personal, la abrasividad que aporta el carbonato de calcio en forma cristalina ha sido aprovechada ya que no contiene sustancias tóxicas, tiene una alta capacidad de limpieza otorgada por su estructura porosa. En la industria química es utilizado como reemplazo del polipropileno, también en la industria de papel el polvo de cáscara de huevo es utilizado como revestimiento de pigmentos para papel de impresión. En la industria alimentaria la cáscara de huevo es empleada como aditivo en la dieta del ser humano como suplemento de calcio. Esta investigación nos ayuda a direccionar los diferentes usos de la cáscara de huevo ya que posee un alto porcentaje de calcio.

Por otro lado, Gómez, Giraldo (2017) realizaron un trabajo de investigación titulado “Estudio de pre factibilidad para la producción y comercialización de carbonato de calcio a partir de la cáscara de huevo como suplemento alimenticio en aves de corral línea carne para empresas productoras de alimentos concentrados para autoconsumo en el departamento de Cundinamarca” su objetivo principal es determinar la funcionalidad del alimento producido a partir del carbonato de calcio que es extraído a partir de la cáscara de huevo después de un proceso de lavado, secado, molienda

y clasificado. El cual determinan que la producción de este suplemento es viable y ayuda a la disminución de desechos en los rellenos sanitarios.

Así mismo, Catalán, p. (2020, p. 1,16) hizo una investigación denominada “Desarrollo de tortilla de harina de maíz (*Zea mays*) nixtamalizada fortificada con calcio a partir de cáscaras de huevo” en la cual el calcio actúa como un micronutriente que participa en la formación de masa ósea, su protección, control de patologías y regulación de peso corporal. Una tortilla de maíz con un 5% de polvo de cáscara de huevo aporta más del 25 % de calcio requerido en la dieta de ser humano por lo que es considerado como un alimento fortificado.

Por su parte, Vaca-Tubón. (2019, pp. xi, 1) realizó una investigación titulada “Aplicación foliar de calcio en el cultivo de fresa (*fragaria sp.*) obtenido a partir de cáscara de huevo de gallina (*gallus gallus*)” elaborada en Ambato-Ecuador en la cual realizó diferentes estudios que buscaban el incremento de calcio en la producción de fresas debido a una deficiencia de calcio que es causada por una baja disponibilidad del mismo ya que el calcio actúa como un componente estructural de las paredes y tejidos de las células. Los tratamientos que recibieron aplicación de calcio en una concentración del 30% reportan mayor porcentaje de calcio en las hojas y presentan mayor número de centros florales.

Por otra parte, la investigación realizada por, Vázquez Martínez et al. (2021) titulada “Extracción de calcio en solución a partir de cáscara de huevo” fue procesada mediante trituración la cual nos ayuda a la disolución en el ácido clorhídrico y el ácido acético para la obtención de carbonatos de calcio seguida de un proceso de agitación y separar la solución en masa en un 93.58%. se considera que una temperatura de 50°C es la más adecuada para realizar la disolución de la cáscara de huevo calcinada. Esta investigación nos muestra la viabilidad para la obtención de calcio por medio de la cáscara de huevo.

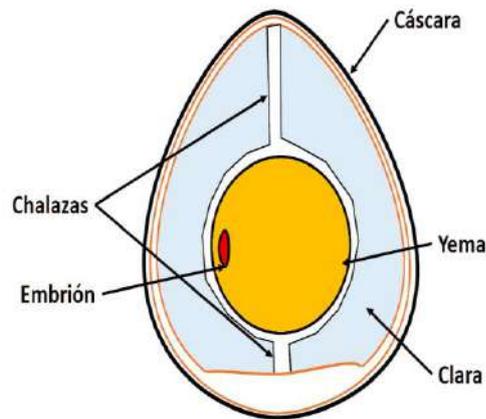
## **2.2 Referencias teóricas**

### **2.2.1 Particularidades del huevo**

El huevo es considerado un alimento único, por tener una proporción equilibrada de hidratos de carbono, grasas, proteínas, minerales y vitaminas. Las proteínas del huevo son de alto valor biológico, por poseer un gran número de aminoácidos esenciales en su composición. El huevo es una importante fuente de minerales, destacándose el calcio, selenio, potasio, fósforo, yodo, zinc, y calcio (esto mayoritariamente presente en la cáscara). También el huevo es una buena fuente de vitaminas, entre las que se encuentran la B12, la biotina, el ácido pantoténico, la riboflavina, el niacina, y liposolubles ADE. El aporte de vitamina D es especialmente valioso, por ser una vitamina de escasa presencia en casi todas las dietas (Vázquez 2020).

Los huevos de aves de corral constan de varios componentes: cáscara, membrana de cáscara, chalazas, clara (albúmina) y yema (vitelo) (Mahdavi et al. 2021, p. 1).

En la Ilustración 2-1 podemos identificar las diferentes partes que conforman el huevo:



**Ilustración 2-1:** Características del huevo

**Fuente:** (Pié. 2019)

### 2.2.2 Clara

La clara de huevo, se compone de lisozima, ovomucoide, ovotransferrina y albúmina (La mitad de la proteína en los huevos tiene este componente) (Shimakura et al. 2016, p. 2). La clara es un elemento nutritivo importante para el crecimiento de embriones, durante este proceso las claras se absorben y se utilizan para satisfacer las necesidades energéticas nutricionales, protegiendo al embrión de la invasión bacteriana (Qiu et al. 2012, p. 1895).

### 2.2.3 Yema

La yema de huevo es de color amarillento, constituye entre el 28 y 29% del peso total de un huevo, conteniendo un alto valor nutricional (Zhao et al. 2021, p. 1), está compuesta por lípidos (siendo este uno de los componentes principales con un 32 % conformado por colesterol, fosfolípidos y triglicéridos), 5 % carbohidratos, 16 % de proteínas y 47 % de agua. (Legan et al. 2020). Es rica en grasa y nutrientes para el crecimiento de embriones de aves si los huevos son fertilizados. De igual manera es una fuente importante de calorías aportando nutrientes en las personas que lo consumen (Zhao et al. 2021, p. 2).

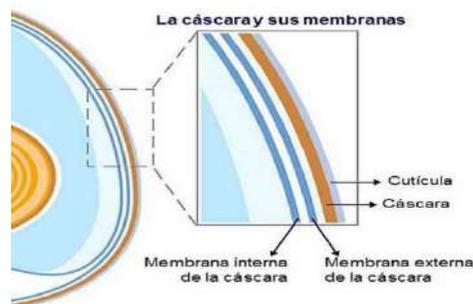
#### 2.2.4 La cáscara del huevo

La cáscara constituye la cubierta protectora del huevo, la pared que le defiende de la acción de los agentes externos, y el medio a través del cual pueden realizarse un intercambio líquido-gas. La cáscara constituye entre el 9 – 12% de la masa total del huevo, lo que significa que entre 5 a 7 gramos corresponden a la cáscara, y se compone principalmente de sustancias minerales, entre las cuales el Carbonato de calcio (94.0%) es una de las más importantes como componente estructural. La cáscara de huevo presenta otros minerales en muy pequeñas cantidades como son: el fosfato tricálcico y el carbonato de magnesio (Quispe 2018, p. 12).

##### 2.2.4.1 Estructura de la cáscara de huevo

La cáscara de huevo está compuesta por membranas las cuales son cutícula, cáscara, membranas internas y externas. Conformada por 95% de minerales inorgánicos entre el 3,3 y 3,5% de membranas y 1,6% de agua. Siendo de esta manera el 98,4% carbonato de calcio, encontrándose una composición del 37,5 % de calcio y 58 % de carbonato, de igual manera se localizan otros minerales adicionales como es el fósforo que se encuentra en la parte superficial y en la cutícula, el zinc, magnesio, cobre y manganeso se hallan en toda la cáscara (Gautron et al. 2021, p. 2).

La parte externa que cubre al huevo está compuesta por cutícula, cáscara, membrana externa de la cáscara y membrana interna de la cáscara tal y como se indica en la Ilustración 2-2



**Ilustración 2-2:** Partes que conforma la parte externa del huevo

**Fuente:** (Equipo de redacción Partesdel.com 2017).

Las cáscaras de huevo están compuestas primordialmente por el carbonato de calcio que promueve la reparación ósea a través de sus propiedades biológicas. La membrana de la cáscara de huevo es una fina capa de proteínas formada por una estructura fibrosa conformada de varios

biopolímeros como ácido hialurónico y colágeno, teniendo de esta manera varias aplicaciones en la regeneración y reparación de tejidos en la piel (Mahdavi et al. 2021, p. 1).

### **2.2.5 Carbonato de calcio**

La sustancia química conocida como carbonato de calcio con la fórmula química  $\text{CaCO}_3$  consta de tres elementos: calcio, carbono, y oxígeno. Es un compuesto común que se puede encontrar en rocas principalmente en la piedra caliza, siendo de esta manera un componente principal de caracoles, perlas, conchas marinas y las cáscaras de huevo (Al Omari et al. 2016, p. 34).

### **2.2.6 Calcio**

El calcio (Ca) es un elemento químico que se encuentra en los minerales como ión  $\text{Ca}^{2+}$  y forma parte de las moléculas de diferentes compuestos que se encuentran en la naturaleza. Es el componente más importante de nuestro cuerpo, debido a que se localiza en la formación de huesos y dientes (Martínez et al. 2016, p. 27).

### **2.2.7 Residuos agroindustriales**

La agroindustria provoca una gran suma de residuos a nivel mundial, donde se puede perder hasta el 50% del alimento después de la utilización del producto o cosecha. Esto crea un problema de contaminación ambiental debido a que los residuos están compuestos principalmente por materia orgánica (Leyva-López et al. 2020, p. 1).

La generación de estos residuos se está convirtiendo en una problemática global debido a su impacto negativo con el medio ambiente y la salud. El uso de desechos como materia prima para la elaboración de productos con valor agregado abre nuevas oportunidades que contribuyen al desarrollo ecológicamente sostenible (Gaur et al. 2022, p. 1).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Metodología

La metodología aplicada en el proyecto parte de la revisión bibliográfica con la finalidad de conocer los métodos utilizados para la obtención de calcio. Se han analizado distintos procedimientos para la obtención de calcio a partir de la cáscara de huevo, entre los cuales podemos mencionar dos métodos significativos. El primero donde se trata la materia prima en solución con ácidos para la desnaturalización de residuos orgánicos y el método dos donde se calcina la cáscara de huevo a altas temperaturas para eliminar directamente los residuos orgánicos.

##### 3.1.1 *Método deductivo*

La metodología a utilizar será útil al momento de desarrollar y verificar que los valores cumplan con los requisitos que presenta la norma NTE INEN 1973:2011 HUEVOS COMERCIALES Y OVOPRODUCTOS, REQUISITOS. Y la norma NTE INEN 2589:2011 CAL VIVA, CAL HIDRATADA Y CALIZA. METODOS DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS FISICO. Estas pautas suministran datos sólidos que nos permiten evaluar el proceso inicial para crear el proceso industrial idóneo.

##### 3.1.2 *Método inductivo*

El presente trabajo de titulación presenta un enfoque inductivo ya que se basa en la recopilación de todos los datos obtenidos a través de la observación y la recolección de información empírica, se busca encontrar patrones que ayuden a la creación de un proceso industrial para obtener calcio a partir de un recurso comúnmente desechado.

##### 3.1.3 *Caracterización de la materia prima*

###### 3.1.3.1 *Determinación de fibras*

Análisis de fibra detergente neutra (NDF) con el equipo ANKON 2000 Fiber analyzer.

La fibra NDF es una fracción de la fibra bruta que es insoluble en soluciones de NaOH 0,3130N y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,255N, la cual está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. Este

análisis es importante para determinar la cantidad de fibra presente en la cáscara de huevo y se realiza por medio de una digestión ácida y una digestión básica. En la digestión ácida se baja el pH de la muestra y se eliminan los compuestos polares, en la digestión básica se eliminan todos los residuos orgánicos dando como resultado el porcentaje de fibra. Se determina mediante la fórmula:

$$\%NDF = \frac{100 \times (Ancho\ 3 - (W_1 \times C_1))}{W_2}$$

Donde:

$W_1$  = peso de tara de la bolsa

$W_2$  = peso de la muestra

$W_3$  = peso seco de la bolsa de filtro con fibra después del proceso de extracción

$C_1$  = Corrección de la bolsa en blanco (promedio móvil del peso final secado al horno dividido por el peso de la bolsa en blanco original).

### 3.1.3.2 *Determinación de humedad*

Análisis de humedad para la materia prima se utilizó una termo balanza, también conocida como analizador de humedad. El equipo mide el peso que la muestra pierde al exponerse a una definida temperatura durante un periodo de tiempo. Para valorar la cantidad de agua perdida, el peso de se debe mantener constante durante un determinado tiempo. La termo balanza trabaja con una balanza de torsión sensible y una lámpara de luz infrarroja.

### 3.1.3.3 *Determinación de cenizas*

La determinación de cenizas se realiza para medir el contenido de residuos orgánicos que contienen las muestras después de someterse a un proceso de calcinación en una mufla a una temperatura de 500 °C por un determinado tiempo el cual varía de entre 2 a 3 horas. Para conocer el porcentaje de ceniza se lo determina con ayuda de la siguiente fórmula:

$$C = \frac{P_2 - P_1}{M} * 100$$

Donde:

C = ceniza

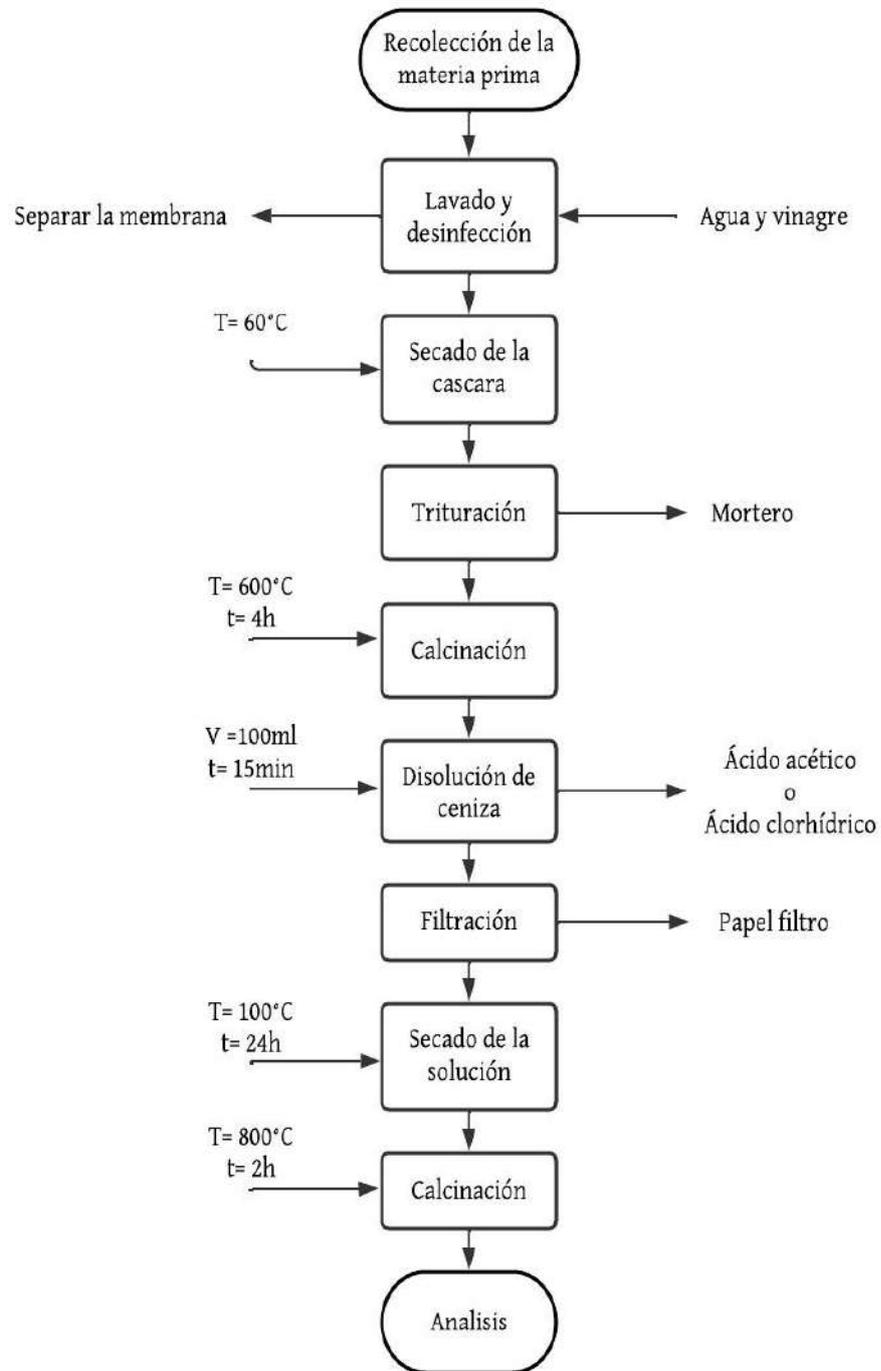
$P_2$  = Peso del crisol con ceniza

$P_1$  = Peso del crisol

M = Peso de la muestra

### 3.1.4 Descripción de los métodos

#### 3.1.4.1 Obtención de óxido de calcio en solución (Método 1)



**Ilustración 3-1:** Diagrama de flujo para la obtención de óxido de calcio mediante solución

**Fuente:** Vázquez Martínez et al. 2021

**Realizado por:** Jativa J., 2024.

Para la realización del método 1 se emplean algunos materiales, reactivos y equipos detallados en la Tabla 3-1

**Tabla 3-1:** Materiales, equipos y reactivos utilizados para la obtención de óxido de calcio

<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Equipos</b>
Balón de aforo 100ml		
Vaso de precipitación 400ml	Agua destilada	Mortero
Embudo	Ácido clorhídrico	Estufa
Papel filtro	Ácido acético	Mufla

Realizado por: Jativa J., 2024.

**Lavado y desinfección de la cáscara de huevo:** Se lava con abundante agua y jabón para eliminar residuos de clara y residuos fecales, este proceso se lo repite por unas 5 veces para asegurarse que no tengan residuos, se desinfecta con vinagre durante 15 minutos y se enjuaga con agua destilada, se retira las membranas.

**Secado:** Se lo realiza en una estufa a una temperatura de 40 a 60 °C durante 4 horas hasta que se elimine toda la humedad retenida.

**Trituración:** Se pulveriza la cáscara con ayuda del mortero.

**Calcinación:** Se prepara la muestra en crisoles para luego ser sometida a calor durante 4 o 2 horas según corresponda.

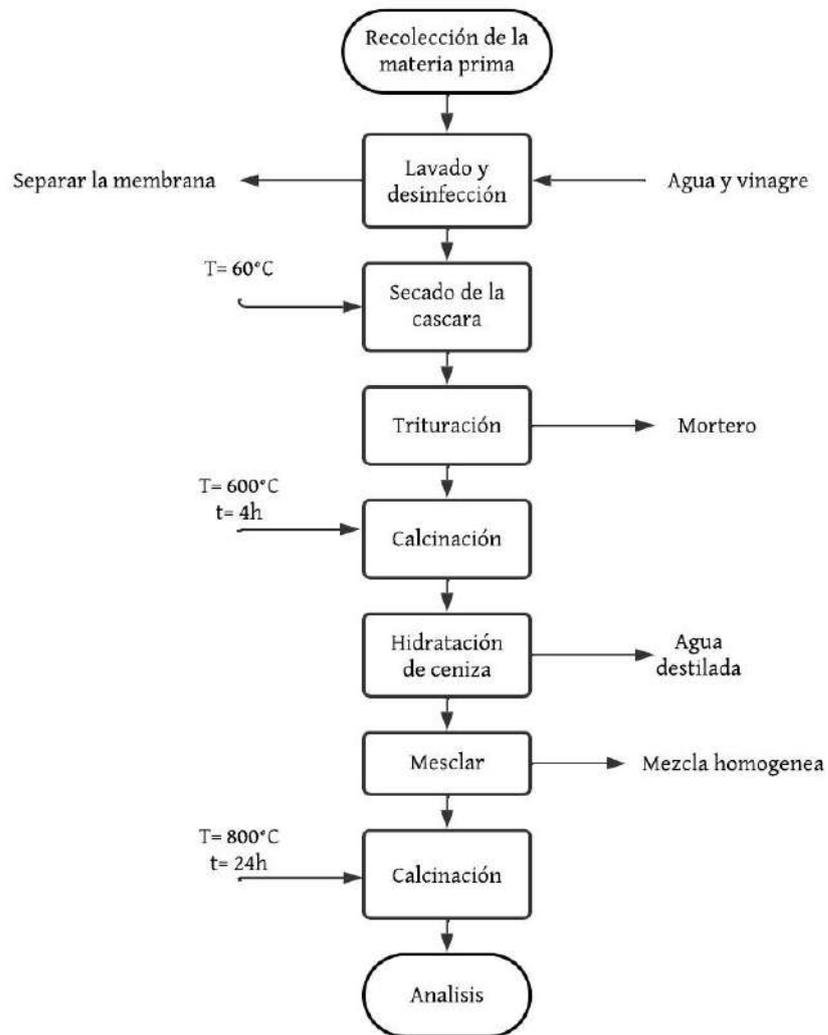
**Disolución:** Se disuelve 1 gramo de ceniza en 100ml de una solución de ácido acético o ácido clorhídrico por un tiempo de 15 min.

**Filtración:** Con ayuda de un embudo y papel filtro.

**Evaporación de la solución:** Se la realiza a una temperatura de 100 °C durante 24 horas hasta obtener un polvo blanquecino en una estufa.

**Análisis:** Se caracteriza por análisis FTIR.

### 3.1.4.2 Obtención de óxido de calcio por calcinación (Método 2)



**Ilustración 3-2:** Diagrama de flujo para la obtención de óxido de calcio por calcinación

**Fuente:** (Pérez, Aguirre 2019)

**Realizado por:** Jativa J., 2024.

Para el método 2 por calcinación se utilizan diferentes materiales, reactivos y equipos especializados en la Tabla 3-2

**Tabla 3-2:** Materiales, equipos y reactivos necesarios para la obtención de óxido de calcio.

<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Equipos</b>
Vaso de precipitación 400ml	Agua destilada	Mortero
Crisol	Vinagre	Estufa
		Mufla

**Realizado por:** Jativa J., 2024.

**Lavado de cáscara de huevo:** Se lava con agua y jabón para eliminar residuos de clara y residuos fecales, se realiza 5 veces el proceso para asegurarse que no tengan residuos, se desinfecta con vinagre, se deja reposar durante 15 minutos y se enjuaga con agua destilada.

**Secado:** Se lo realiza en una estufa a una temperatura de 40 a 60°C durante 8 horas.

**Triturado:** Se lo realiza con ayuda de un mortero y un pistilo hasta reducir el tamaño de partícula de la cáscara de huevo

**Calcinado:** Coloque las partículas de cáscara de huevo en una mufla a la temperatura requerida de 600 o 800 grados Celsius según corresponda. Una vez que se han eliminado los componentes orgánicos mediante la calcinación, la cáscara de huevo se convierte en una mezcla de sílice y carbonato de calcio.

**Hidratado:** Trate la mezcla con agua para convertir el carbonato de calcio en hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Agregue más agua y continúe mezclando hasta obtener una pasta suave y homogénea. Coloque la pasta en un crisol y déjela secar en una mufla durante 24 horas hasta que se forme el CaO.

### **3.1.5 Elección del método**

Para la elección del método se debe considerar ciertos puntos como es: reactivos, equipos y el porcentaje del producto terminado. A nivel de laboratorio se trabajarán dos métodos para la obtención de calcio a partir de la cáscara de huevo con el fin de establecer el rendimiento de cada uno de los métodos.

### **3.1.6 Diseño del proceso**

Se basa en un conjunto de operaciones unitarias el cual requiere de equipos que permitan la producción de calcio a nivel industrial para un buen funcionamiento de producción.

### 3.1.7 Factibilidad económica

Para determinar la factibilidad económica, se deben tener en cuenta varios aspectos. En primer lugar, es necesario analizar los costos involucrados en el proyecto, incluyendo los costos iniciales de inversión, los costos operativos y los costos de mantenimiento. Esto implica evaluar los recursos necesarios, como materiales, mano de obra y equipos.

Un aspecto fundamental en la factibilidad económica es el análisis financiero. Esto incluye el cálculo de indicadores financieros como el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).

## 3.2 Ingeniería del proyecto

### 3.2.1 Resultados de la caracterización de la materia prima

Los análisis de la materia prima se los realizó en el laboratorio de bromatología Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

El análisis de humedad se lo realizó en una termo balanza dando un promedio de 0,638% p/p cómo se puede ver en la Tabla 3-3

**Tabla 3-3:** Porcentaje de humedad de la cáscara de huevo

Análisis	Método	Resultados (% p/p)	
		M1	M2
Humedad	INEN 518	0,638	0,678

Realizado por: Jativa J., 2024.

El análisis de ceniza se lo realiza en una mufla a 500 °C dando como resultado un promedio del 95,734% p/p como se puede ver en la Tabla 3-4

**Tabla 3-4:** Porcentaje de ceniza de la cáscara de huevo

Análisis	Método	Resultados (% p/p)	
		M1	M2
Ceniza	INEN 520	95,685	95,783

Realizado por: Jativa J., 2024.

El análisis de fibra se lo realizo con ayuda del equipo ANKON 2000 a una temperatura de 95°C dando como resultado un promedio del 66,04% p/p como se puede ver en la Tabla 3-5

**Tabla 3-5:** Porcentaje de fibra de la cáscara de huevo

Análisis	Método	Resultados (% p/p)	
		M1	M2
Fibra	INEN 522	57,94	74,14

Realizado por: Jativa J., 2024.

Las medidas de análisis de humedad y ceniza para la cáscara de huevo son proporcionales con los resultados reportados por Vargas (2015), el cual nos indica que la humedad está en un rango de 1,17 % con un margen de error de  $\pm 0,15$  y la ceniza alrededor de 95,46 % con  $\pm 0,20$  de error.

### 3.2.2 *Resultados de la obtención de calcio*

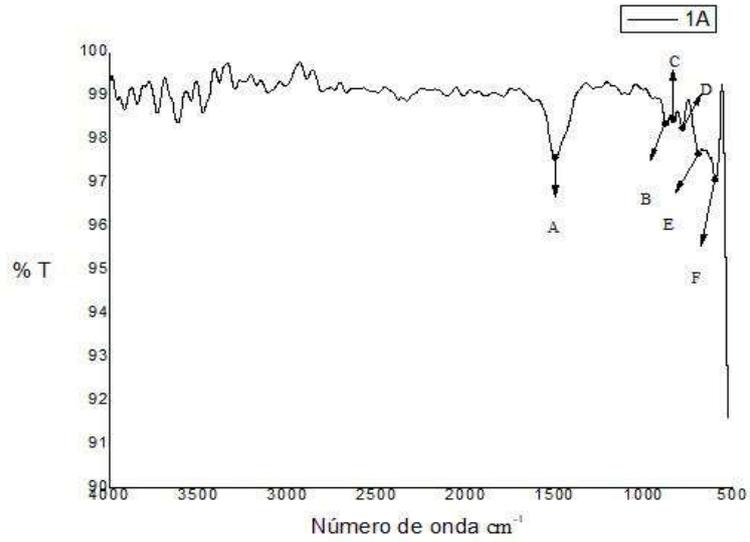
#### 3.2.2.1 *Obtención de óxido de calcio en solución*

**Tabla 3-6:** Resultados método 1

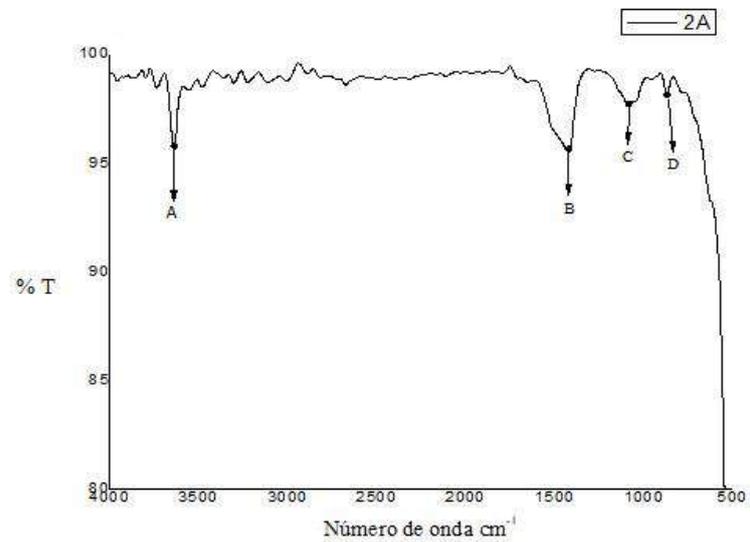
Repetición	Peso materia prima (g)	Carbonato de calcio %	Oxido de calcio (%)
1 a	1,546	81,9	66,49
2 a	1,372	91,3	66,62
1C	1,356	89,9	16,03
2C	1,177	94,3	13,96

Realizado por: Jativa J., 2024.

Los resultados de la obtención de calcio en solución detallados en la Tabla 3-6, encontramos que el mejor método es trabajando con ácido acético a 0,8 molar en 100 ml por cada 2 gramos de ceniza para obtener carbonato de calcio del 86,6 % p/p y de óxido de calcio con un promedio del 66.56 % por cada gramo tratado coincidiendo con lo mencionado por Vázquez Martínez et al. (2021, p. 45) el cual nos indica un promedio de 0,65 por cada gramo de ceniza disuelta para la obtención de óxido de calcio. Esto nos revela una mejor eficiencia en porcentajes peso-peso para la producción a nivel industrial.



**Ilustración 3-3:** Espectrofotometría de la muestra 1A obtenido por el método 1



**Ilustración 3-4:** Espectrofotometría de la muestra 2A obtenida por el método 1

Los resultados de los picos más representativos de las muestras 1A y 2A están representados en la Tabla 3-7

**Tabla 3-7:** Longitud de onda del óxido de calcio

Muestra 1ª		Muestra 2A	
Número de onda (cm-1)	% Transmitancia	Número de onda (cm-1)	% Transmitancia
1496,49	97,5497	3637,09	95,6703
871,667	98,3455	1423,21	95,5748
833,098	98,4184	1087,66	97,6663
782,958	98,251	871,667	98,1713
694,248	97,6473	-	-
597,825	97,0509	-	-

Realizado por: Jativa J., 2024.

La espectrofotometría de infrarrojo determina la estructura y composición molecular de la muestra mediante la interacción de la radiación infrarroja con las moléculas presentes. Los picos de 1496, 1423, 871, 782, 695 y 597  $\text{cm}^{-1}$  de la figura 1A y 2A concuerdan con lo manifestado por Rodas, Ribeiro, Monteiro. (2018a, p. 39) el cual nos indica que dentro de los picos 1423, 871 y 713  $\text{cm}^{-1}$  son pertenecientes al grupo del  $\text{CaCO}_3$ , por otra parte, menciona que el pico de 3646  $\text{cm}^{-1}$  pertenecen al grupo OH el cual está asociado al Ca como un hidróxido. Tal y como nos indica la figura 2A el punto A 3637,09 indicando la presencia de calcio. El CaO aparece en el pico 500  $\text{cm}^{-1}$  (Calvo 2019, p. 36). Tal y como nos muestra la figura 1A en el punto F 597,825  $\text{cm}^{-1}$  lo que nos corrobora que existe presencia de calcio.

### 3.2.2.2 Obtención de óxido de calcio por calcinación

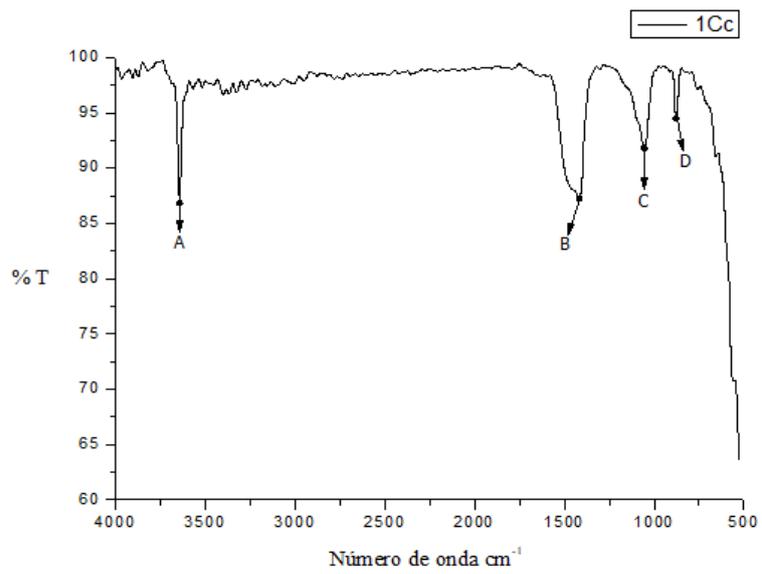
En la Tabla 3-8 se detallan los resultados obtenidos por el método de calcinación tanto para el carbonato de calcio como para el óxido de calcio.

**Tabla 3-8:** Resultados método 2

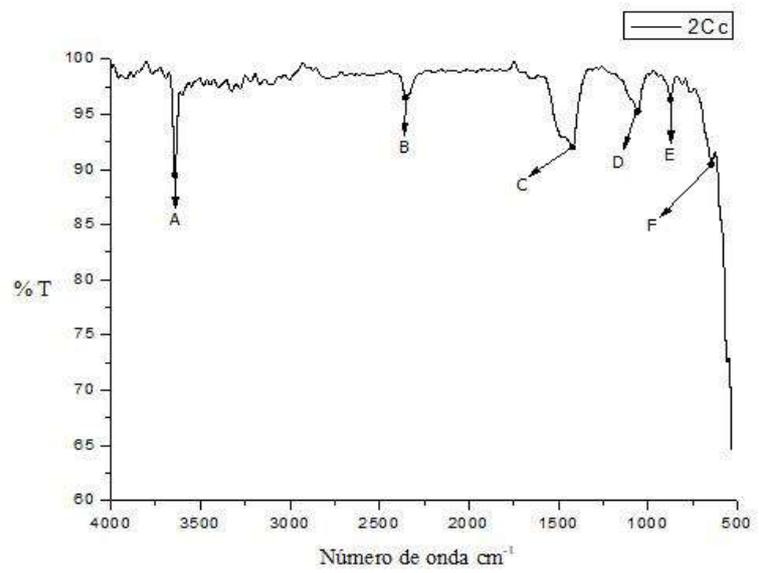
Repetición	peso carbonato de calcio (g)	Oxido de calcio (%)
1Cc	1,026	55,23
2Cc	1,068	49,47
3Cc	1,001	46,73

Realizado por: Jativa J., 2024.

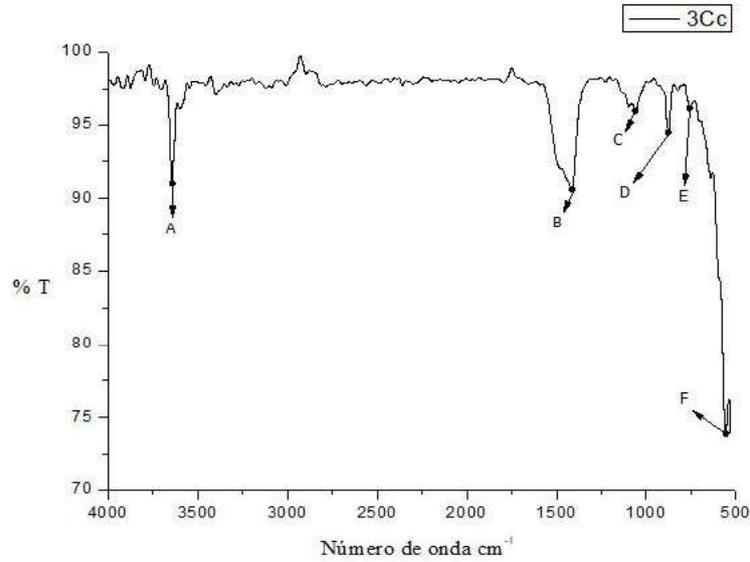
Los resultados del método 2 denominado obtención de calcio por calcinación nos indica que el promedio para la obtención de óxido de calcio es de 50,48 % por cada gramo tratado de carbonato de calcio. Según Rodas, Ribeiro, Monteiro (2018b, p. 43) indican que la temperatura idónea para la obtención de óxido de calcio es a 800 °C por tiempo promedio de 6 horas obteniendo una pureza del 92,24% (p/p).



**Ilustración 3-5:** Espectrofotometría de la muestra 1Cc obtenida por el método 2



**Ilustración 3-6:** Espectrofotometría de la muestra 2Cc obtenida por el método 2



**Ilustración 3-7:** Espectrofotometría de la muestra 3Cc obtenida por el método 2

Los puntos más representativos obtenidos de la espectrofotometría de infrarrojo se detallan en la Tabla 3-9.

**Tabla 3-9:** Longitud de onda del óxido de calcio

Muestra 1Cc		Muestra 2Cc		Muestra 3Cc	
Número de onda (cm-1)	% Transmitancia	Número de onda (cm-1)	% Transmitancia	Número de onda (cm-1)	% Transmitancia
3640.95	86.8186	3640.95	89.4796	3640.95	91.022
1415.49	87.2744	2352.73	96.5016	1415.49	90.6129
1052.94	91.8027	1419.35	92.0009	1056.8	95.9318
875.524	94.4853	1056.8	95.256	875.524	94.451
		871.667	96.3399	755.959	96.1112
		644.108	90.4541	555.398	73.9006

Realizado por: Jativa J., 2024.

Los puntos más sobresalientes de las figuras 5, 6, 7-3 es el pico de 3640,95  $\text{cm}^{-1}$  el cual nos indica la presencia de Ca como grupo hidroxilo. En el pico de 555,398  $\text{cm}^{-1}$  aparece el enlace CaO. Mientras que los otros picos especificados en las figuras ya mencionados hacen referencia al  $\text{CaCO}_3$ . Según Huacho Chávez et al., p. (2023, p. 181) el rango asociado al calcio es el 1403,92 nm.

### 3.2.3 Elección del método industrial para la obtención de calcio

Para la obtención de calcio a partir de la cáscara de huevo se ha planteado dos métodos: obtención de calcio en solución y obtención de calcio por calcinación, el cual, por análisis de

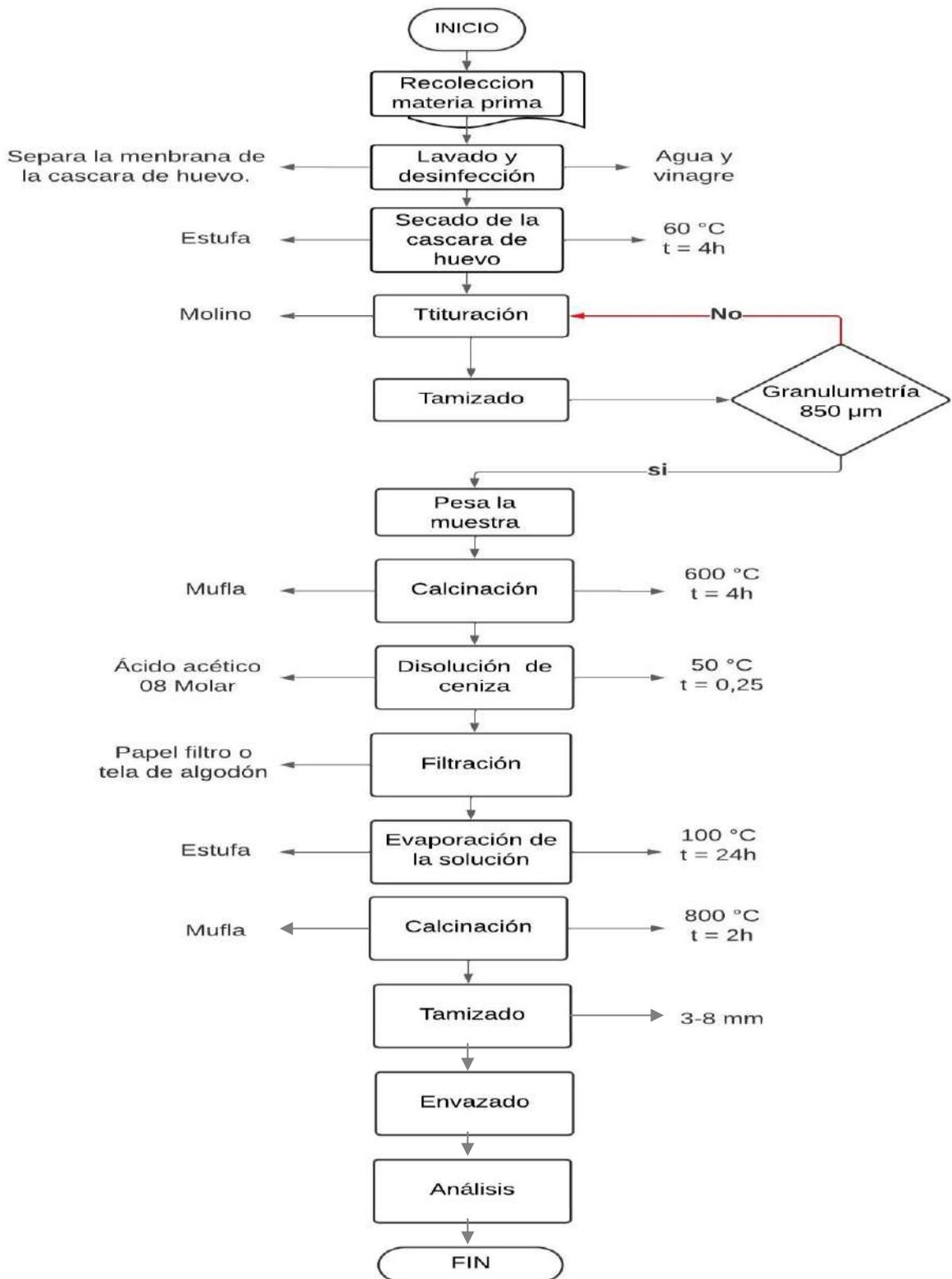
ESPECTROFOTOMETRÍA DE INFRARROJO logramos identificar la presencia de calcio en cada una de las muestras, además, para la elección del método se debe considerar el mejor rendimiento, el uso de reactivos y equipos empleados para la producción. Teniendo en cuenta estos aspectos: El método 1 para la obtención de calcio nos arroja un rendimiento promedio del 66,56 % por cada gramo tratado con solución de ácido acético y el método 2 nos proyecta un promedio del 50,48 % por cada gramo de cáscara de huevo calcinada.

El método obtención de calcio con solución de ácido acético tiene un mayor rendimiento de producción sobresaliendo con un 16,08% más que el método por calcinación, para el cual podemos decir que el método seleccionado para la producción de calcio a partir de la cáscara de huevo es el método 1.

#### **3.2.4 Pasos del método seleccionado**

El objetivo es analizar cada uno de los pasos a seguir con el fin de obtener óxido de calcio en la pureza más alta posible, mejorando el método 1 con el fin de optimizar la producción de calcio.

### 3.2.4.1 Diagrama de flujo del método seleccionado para la obtención de calcio



**Ilustración 3-8:** Diagrama de flujo

Realizado por: Jativa J., 2024.

### **Lavado y desinfección**

Es necesario lavar las cáscaras de huevo para retirar materia fecal que comúnmente la cáscara de huevo contiene, se realiza 5 lavados aproximadamente con agua, en la primera lavada se adiciona jabón para que ayude a eliminar residuos. Para la desinfección se utiliza vinagre blanco a una concentración de 5%.



**Ilustración 3-9:** Lavado de la cáscara de huevo

### **Secado de la cáscara de huevo**

El secado se lo realiza a una temperatura de 60 °C para eliminar la humedad después del lavado y desinfección, esto ayuda a la separación de la membrana.



**Ilustración 3-10:** Secado cáscara de huevo

## **Molienda**

El objetivo es disminuir el tamaño de partícula de la cáscara para poder eliminar de manera más efectiva los residuos. El tamaño de partícula adecuado es de 850  $\mu\text{m}$ .



**Ilustración 3-11:** Molienda cáscara de huevo

## **Tamizado**

Se utiliza tamices de diferentes tamaños de partícula de 2000 micrones y 850  $\mu\text{m}$  para separar y obtener partículas de cáscara de huevo del mismo tamaño.



**Ilustración 3-12:** Tamizado de la cáscara de huevo

## Calcinación

Se la realiza la calcinación de la cáscara de huevo a 600 °C hasta obtener ceniza.



**Ilustración 3-13:** Calcinación de cáscara de huevo triturada

## Disolución de ceniza en ácido acético

Se trabaja a una temperatura de 50 °C con solución de ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) 0,8 molar y por cada 100 ml se añade 2 gramos de ceniza.



**Ilustración 3-14:** disolución de ceniza en ácido acético

## Filtración

Se lo realiza para eliminar las impurezas y obtener el porcentaje de carbonato de calcio disuelto.

**Ecuación 3-1:** Cálculo del porcentaje de carbonato de calcio

$$\% CaCO_3 = \frac{M_{ci} - M_{cf}}{M_{ci}} * 100$$

Donde:

$M_{ci}$  = Masa de la ceniza inicial

$M_{cf}$  = Masa de la ceniza final que queda en el papel filtro.



**Ilustración 3-15:** filtración de la solución de ceniza

## Evaporación de la solución para obtener carbonato de calcio

La solución se la hace evaporar a una temperatura de 100 °C por un tiempo de 24 horas para extraer un polvo blanquecino ( $CaCO_3$ ).



**Ilustración 3-16:** Evaporación de la solución



**Ilustración 3-17:** Carbonato de calcio y residuos

### **Calcinación del carbonato de calcio para obtener óxido de calcio**

Se pesa 1 gramo de  $CaCO_3$  y se lo coloca en un crisol para ser sometido a una temperatura de  $800\text{ }^\circ\text{C}$  por un tiempo de 2 horas, tiempo necesario para eliminar los compuestos carbonatados y obtener un polvo de color grisáceo.

**Ecuación 3-2:** Cálculo del porcentaje de óxido de calcio.

$$\% CaO = \frac{Mf}{Mi} * 100$$

Donde:

Mi = Masa inicial de  $CaCO_3$

Mf = Masa final que queda en el crisol.



**Ilustración 3-18:** Calcinación a 800 °C de CaCO<sub>3</sub>

### **Análisis del óxido de calcio**

El óxido de calcio extraído luego de ser sometido a varios procesos se lo analiza en un espectrofotómetro de infrarrojo para determinar los grupos funcionales presentes.



**Ilustración 3-19:** Análisis de FTR

### **Envasado**

Se lo envasa en recipientes que no alteren las características fisicoquímicas del producto. Esta debe proporcionar resistencia a la humedad.

### 3.2.4.2 Formulación de la obtención de óxido de calcio

La formulación se la obtuvo de ensayos previamente realizados. Por lo que al comparar los métodos estudiados analizamos que el rendimiento más alto se lo obtuvo al trabajar a 50 °C con ácido acético en solución 0,8 molar, y sometiéndolo a un proceso de calcinación de 800°C por dos horas.

El peso de la cáscara de huevo, del carbonato de calcio y del óxido de calcio expresado en gramos se detallan en la Tabla 3-10

**Tabla 3-10:** Rendimiento de óxido de calcio

Peso inicial cáscara de huevo (g)	Peso carbonato de calcio (g)	Peso óxido de calcio (g)
1.00	0.912	0,527

Realizado por: Jativa J., 2024.

### 3.2.5 Técnica empleada para obtención de calcio

Las técnicas utilizadas son las establecidas por la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1973:2011 HUEVOS COMERCIALES Y OVOPRODUCOS. REQUISITOS. Y la norma NTE INEN 2589:2011 CAL VIVA, CAL HIDRATADA Y CALIZA. MÉTODOS DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS FÍSICO. Como podemos ver en la Tabla 3-11 para la cáscara, en la Tabla 3-12 para el espesor de la cáscara de huevo y en la Tabla 3-14 para la determinación de la densidad del óxido de calcio.

**Tabla 3-11:** Huevo fresco de gallina de acuerdo a su grado de calidad.

	Grado A	Grado B
Cáscara y cutícula	Normal, intacta, limpia	Normal e intacta, manchas mínimas no propias del producto

Realizado por: Jativa J., 2024.

**Tabla 3-12:** Características físicas del huevo comercial de gallina. Ver Anexo A TABLA 3.

Parámetro	Mínimo	Máximo	unidades	Método ensayo
Espesor de la cáscara	0,28	0,37	milímetros	Medición directa

Realizado por: Jativa J., 2024.

**Tabla 3-13:** Análisis del tamaño de la partícula. Ver en anexo B apartado 4,4.

<b>Determinación de la granulometría por vía seca, por el método de tamizado</b>	
$\text{porcentaje pasante} = \frac{S * R}{S} * 100$	
Donde:	
S= Masa de la muestra, g	
R= masa del residuo del tamizado, g	

Realizado por: Jativa J., 2024.

**Tabla 3-14:** Determinación de la densidad. Ver anexo B apartado 4,5.

<b>Determinación de la densidad compactada aparente de la cal hidratada, cal viva pulverizada y caliza</b>	
$D = \frac{M}{V}$	
Donde:	
D= densidad compactada.	
M= Masa de la muestra, g	
V= volumen final de la muestra, cm <sup>3</sup>	

Realizado por: Jativa J., 2024.

### 3.2.6 *Resultados caracterización de la cáscara de huevo y el óxido de calcio.*

Los análisis se los realizo en el laboratorio de bromatología de la escuela superior politécnica de Chimborazo Facultad de Ciencias los cuales se detalla en la Tabla 3-15 y Tabla 3-16

**Tabla 3-15:** Propiedades visuales de la cáscara de huevo

<b>Muestra</b>	<b>Observación</b>
M1	Normal, color marrón, manchas mínimas, limpia
M2	Normal, intacta, limpia, color marrón claro
M2	Normal, manchas mínimas como pecas color marrón oscuro

Realizado por: Jativa J., 2024.

**Tabla 3-16:** Grosor de la cáscara de huevo

<b>Muestra</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>
M1	mm	0,36
M2	mm	0,40
M3	mm	0,45

Realizado por: Jativa J., 2024.

### Resultados análisis físicos del óxido de calcio

**Ecuación 3-3:** Formula para el cálculo de la densidad

$$D = \frac{M}{V}$$

Datos:

$$M = 11,662 \text{ g}$$

$$V = 15 \text{ cm}^3$$

$$D = \frac{11,662 \text{ g}}{15 \text{ cm}^3}$$

$$D = 0,78 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

#### **3.2.7** *Diseño del proceso*

##### *3.2.7.1 Operaciones unitarias*

las operaciones unitarias son una secuencia básica de un proceso que implica un cambio físico o químico en la materia prima para obtener un producto deseado. La cáscara de huevo para la obtención de calcio requiere una serie de operaciones unitarias:

**Secado:** Consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido hasta un valor bajo, los sólidos que se secan tienen formas diferentes que pueden verse como: escamas, gránulos, cristales, polvos y contener propiedades diferentes. El secado puede llevarse a cabo mediante diferentes métodos, como el secado al aire, el secado al sol, el secado por convección, el secado por aspersión, el secado por liofilización, entre otros. Cada método tiene sus propias características y aplicaciones específicas (McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriott 1991, p. 821).

**Molienda:** El término reducción de tamaño se aplica a todas las formas en las que las partículas de sólidos se pueden cortar o romper en piezas más pequeñas. El objetivo de la molienda es producir pequeñas partículas a partir de otras más grandes (McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriott 1991, pp. 890, 891).

**Tamizado:** Es un método empleado para la separación de partículas, un tamiz separa en dos fracciones un determinado material del cual uno es retenida llamado como rechazo y la otra parte pasa por las aberturas de un tamaño similar a la abertura (*Principios de Tamizado - CISA Cedaceria Industrial*, p. 2,3).

**Calcinación:** Es un proceso térmico que consiste en calentar una sustancia a temperatura elevada para provocar su degradación térmica o un cambio de estado en su constitución física o química. Este proceso se lleva a cabo en largos hornos cilíndricos y puede tener diferentes objetivos, como eliminar el agua presente en la sustancia, eliminar compuestos orgánicos volátiles o provocar el análisis de minerales o arcillas (Adrián Ruíz Quintero, Andrés Becerra Roa 2016, p. 30).

**Disolución:** Es una mezcla homogénea de dos o más sustancias en la que se disuelve una sustancia sólida en un líquido. En una disolución, el componente que se encuentra en mayor proporción se denomina disolvente, mientras que el componente que se encuentra en menor proporción y se disuelve en el disolvente se llama soluto (Martínez, Iriondo 2013, p. 1,2).

**Filtración:** Es una técnica de retención de partículas sólidas suspendidas en un líquido o gas se basa en hacer pasar la mezcla a través de una barrera porosa, como mallas, fibras, material poroso o un relleno sólido. De esta manera, se logra separar y retener las partículas sólidas presentes en la mezcla (López Sánchez et al. 2005, p. 1).

#### 3.2.7.2 Variables y parámetros

**Temperatura:** Facilita la ejecución del proceso de producción, ya que juega un papel importante en el secado de cáscaras de huevo, la calcinación de la cáscara de huevo que ayuda a la formación del óxido de calcio. Se considera una variable independiente, ya que puede tener un impacto directo en el tiempo necesario para obtener el calcio.

**Tiempo:** Es una variable que ayuda a controlar el rendimiento de producción de calcio ya que es considerada una variable dependiente de la temperatura.

El tiempo estimado de producción del óxido de calcio se lo detalla en la **Tabla 3-17**

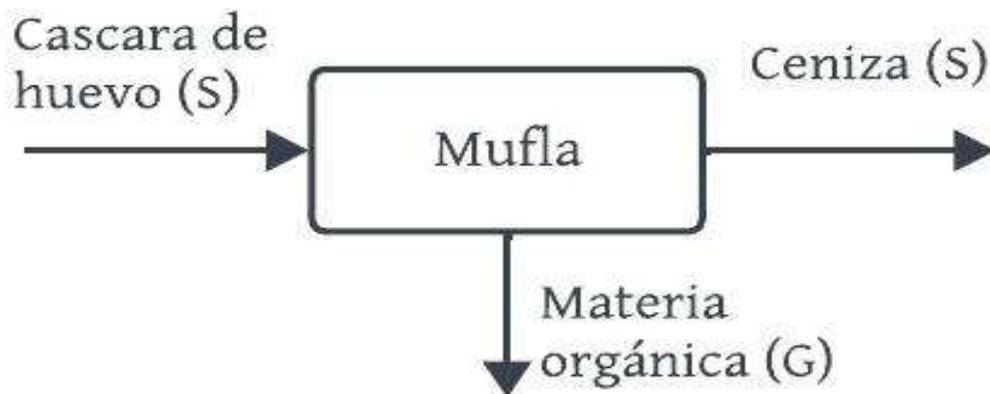
**Tabla 3-17:** Temperatura y tiempo del proceso

<b>Etapas del proceso</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (h)</b>
Secado de la cáscara de huevo	60 °C	4 h
Calcinación de la cáscara de huevo	600 °C	4 h
Solución	50 °C	0,25 h
Evaporación de la solución	100 °C	24 h
Calcinación CaCO <sub>3</sub>	800 °C	2 h
<b>Total proceso</b>		34,25 h

Realizado por: Jativa J., 2024.

### 3.2.7.3 Balance de masa del proceso

#### Balance de masa para la calcinación a 600 °C



**Ilustración 3-20:** Balance de masa en la mufla

$$CHu = Ce + Mo$$

Donde:

**CHu:** Cáscara de huevo

**Ce:** Ceniza de la cáscara de huevo

**Mo:** Materia orgánica

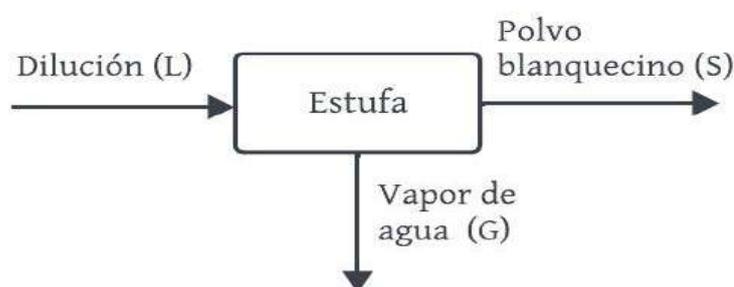
Posterior a la realización de la calcinación de la cáscara de huevo se obtuvieron los siguientes resultados detallados en la Tabla 3-18

**Tabla 3-18:** Resultados de la calcinación de la cáscara de huevo

Masa inicial de cáscara de huevo	Masa de la ceniza	Masa de Materia orgánica
1,04	0,903	0,137
1,063	0,924	0,139
1,072	0,946	0,126

Realizado por: Jativa J., 2024.

Balance de masa de la evaporación:



**Ilustración 3-21:** Balance de masa en la estufa

$$D = PB - Va$$

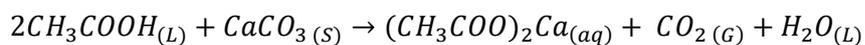
Donde:

**D:** disolución de ceniza con ácido acético 0,8 molar

**PB:** polvo blanquecino

**Va:** vapor de agua

Reacción de la disolución de ácido acético más ceniza



**Tabla 3-19:** Resultados de evaporación

Masa de la dilución (g)	Masa PB (CaCO3) (g)	Vapor de agua (g)
50,903	1,524	49,379
50,924	1,544	49,38
50,946	1,472	49,474

Realizado por: Jativa J., 2024.

El cálculo del porcentaje de carbonato de calcio se lo realiza con la Ecuación 3-1

### 3.2.8 Dimensionamiento de la planta

#### 3.2.8.1 Cotización de equipos utilizados para la obtención de calcio

**Mufla:** Una mufla es un equipo de calentamiento utilizado en la industria ya que cumple con requisitos de control preciso y uniformidad de temperatura. Se utiliza en una variedad de aplicaciones, como es la incineración o el tratamiento térmico de materiales. También se lo conoce como horno de cámara o horno de caja.



**Ilustración 3-22:** Mufla industrial

En la Tabla 3-20 se detallan los parámetros técnicos que debe poseer la mufla para el proceso industrial.

**Tabla 3-20:** Parámetros técnicos de la mufla

Tamaño efectivo:	500 × 450 × 350 mm
Temperatura nominal:	1100°C
Potencia nominal:	30kW
Tensión de trabajo:	380V
Número de zonas de control de temperatura:	1
Calentador:	izquierda/derecha/abajo
Uniformidad de la temperatura del horno:	±15°C
Pérdida del horno vacío:	≤15kW
Conexión del elemento calefactor:	sistema trifásico de tres hilos en estrella
Elemento de calefacción:	alambre de horno eléctrico de alta temperatura
Estructura del horno:	Mullita, capa refractaria de ladrillo con alto contenido de alúmina de primer grado, capa aislante de fibra

Espesor de la capa refractaria:	115mm
Espesor del aislamiento:	230 mm
Forma de estructura inferior:	Ladrillo refractario de primer grado con alto contenido de alúmina.
Temperatura de la carcasa a temperatura máxima:	≤30°C (invierno), ≤50°C (verano)
Tipo de puerta del horno:	Abierto desde la izquierda
Dimensiones:	1480 × 1400 × 1759 mm
Peso del horno:	1300 kilos
Precio	3,500.00

Fuente: (Alibaba.com 2021)

**Secador:** Un secador de bandejas trabaja con aire caliente, bajo condiciones de vacío sobre el secado de sólidos, es un proceso empleado en la industria farmacéutica, química y alimentaria.



**Ilustración 3-23:** Secador de bandejas

En la Tabla 3-21 se especifica los parámetros técnicos que debe poseer el secador de bandejas para el proceso industrial.

**Tabla 3-21:** Características del secador de bandejas

Tipo	Secador de bandeja
Peso	150 Kg
Componentes principales	Cojinete, bomba, engranaje, motor, PLC.
Voltaje	220V-59Hz/60Hz
Fuerza	1kW
Dimensión (largo*ancho*alto)	1180*690*1800 mm

Material	SUS304 acero inoxidable
Capacidad	20-100 Kg/lote
Temperatura de trabajo	20-80°C
Precio	2,900.00

Fuente: (Alibaba.com 2024a).

**Molino:** Un molino de martillo es un equipo que tiene la capacidad de moler, pulverizar y aplastar una amplia variedad de materiales. Utiliza una serie de golpes de martillo para desintegrar y destruir el material. Estos molinos son muy utilizados en diferentes industrias, como la alimentaria, minera, química y cementera, para triturar y moler granos, minerales y otros materiales (*Molino De Martillos - Mezcladoras Y Molinos MAQUINOVA* 2024).



**Ilustración 3-24:** Molino de martillo

En la Tabla 3-22 se mencionan los parámetros técnicos que debe poseer el molino para el proceso industrial.

**Tabla 3-22:** Características del molino

Modelo	XH-230
Voltaje	220V
Fuerza	3kW
Velocidad	2800 rpm
Eficiencia	80-100kg/hora
Peso	70 kg
Tamaño de embalaje	420x420x990mm
Precio	218.00

Fuente: (Alibaba.com 2024b).

### 3.2.8.2 Cotización de reactivos utilizados para la obtención de calcio

**Ácido acético:** Es una sustancia líquida incolora con un olor propio del vinagre, en la

Tabla 3-23 se detalla la cantidad de ácido y precio del mismo.

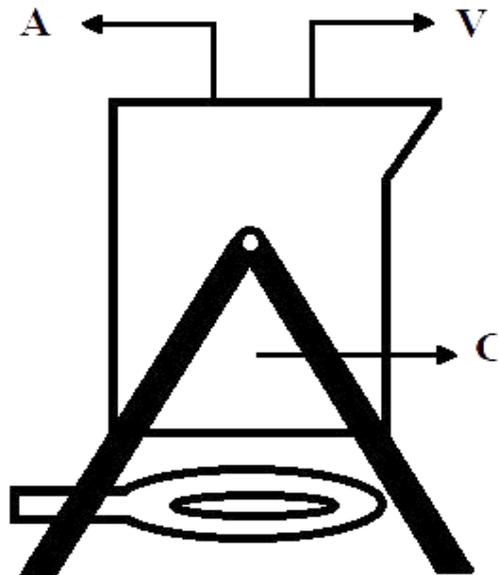
**Tabla 3-23:** Costo ácido acético.

Producto	Cantidad	Unidad	Precio
Ácido acético glacial-vinagre	3,7	L	5,11

Fuente: (mercado libre 2024)

### 3.2.9 *Diseño del equipo*

El equipo se fabrica con acero inoxidable grado 316 ya que puede ser la mejor opción cuando: El entorno incluye una gran cantidad de elementos corrosivos, el material se colocará bajo el agua o se expondrá al agua constantemente y en aplicaciones donde se requiere mayor resistencia y dureza (Jn Aceros 2024).



**Ilustración 3-25:** Diagrama del tanque evaporador

Donde:

A = Alimentación

V= Vapor de agua

C = Condensado

#### 3.2.9.1 *Tanque evaporador*

El tamaño ideal para el tanque evaporador de la solución de ácido acético con ceniza de cáscara de huevo se debe considerar los siguientes aspectos:

- La cantidad de agua requerida para la producción de ácido acético.

- Cantidad de ácido acético.
- Cantidad de ceniza de cáscara de huevo.

En la Tabla 3-24 se proporcionan datos específicos para el diseño del tanque evaporador simple

**Tabla 3-24:** Datos para el diseño del tanque evaporador

Temperatura de evaporación	100 °C
Concentración de ácido acético	0,8 M
Cantidad de agua por cada libra	45 l

Realizado por: Jativa J., 2024.

### 3.2.9.2 Dimensionamiento del tanque evaporador

El tanque de evaporación será de manera vertical y de forma cilíndrica con una altura de 70 cm

#### Volumen total del tanque evaporador:

El evaporador será diseñado para 226 L y es recomendable un 15% de factor de seguridad para evitar derrames.

$$Ve = Vs + 15\%$$

Donde:

Ve = Volumen del evaporador

Vs = Volumen de la solución

$$Ve = 226 L + 33,9 L$$

$$Ve = 259,9 L$$

#### volumen y diámetro del cilindro

$$Ve = \pi * r^2 * hc$$

Donde:

r = radio del cilindro

hc = altura del cilindro

#### *radio del cilindro*

$$r = \sqrt{\frac{Ve}{hc * \pi}}$$

$$V_e = 259,9 \text{ L} * 1000 \text{ Cm}^3$$

$$V_e = 259900 \text{ Cm}^3$$

$$r = \sqrt{\frac{259900 \text{ Cm}^3}{70 \text{ cm} * 3,1416}}$$

$$r = 34,38 \text{ cm}$$

*Diámetro del cilindro*

$$D = 2 r$$

$$D = 2 * (34,38 \text{ cm})$$

$$D = 68,76 \text{ cm}$$

### 3.2.9.3 Resultados del Dimensionamiento del equipo

En la Tabla 3-25 se describe el dimensionamiento del equipo para una capacidad de 5 lb.

**Tabla 3-25:** Dimensiones del equipo

Descripción	Simbología	Valor	Unidad
Volumen del tanque	$V_e$	259,9	L
Diámetro del cilindro	$D$	68,76	cm
Altura del cilindro	$H_c$	70	cm

Realizado por: Jativa J., 2024.

### 3.2.9.4 Costo de fabricación del evaporador

Los costos de fabricación del evaporador simple están determinados por la cantidad y tipo de material que se utiliza como podemos ver en la Tabla 3-26

**Tabla 3-26:** Costo de fabricación del tanque evaporador simple.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Costo
Lamina de acero inoxidable 316	3	\$ 119,75	\$ 359,25
Tubo estructural galvanizado redondo 2 x 1.5 mm	3	\$ 19,31	\$ 57,93
Quemador industrial	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Soldadura	1	\$ 130,00	\$ 130,00
Mano de obra			\$ 150,00
Total			\$ 717,18

Realizado por: Jativa J., 2024.

### 3.2.10 Factibilidad económica

Se detallan los gastos de equipamiento de la empresa en la Tabla 3-27

#### 3.2.10.1 Cotización de equipos y reactivos

**Tabla 3-27:** Precio total de equipos y reactivos

Producto	Precio
Mufla industrial	\$ 3500,00
Molino de martillo	\$ 218,00
Secador de bandejas	\$ 2900,00
Tanque evaporador	\$ 717,18
Ácido acético Glacial	\$ 5,11
Total	\$ 7340,29

Realizado por: Jativa J., 2024.

### 3.3 Análisis costo beneficio

El análisis de costo-beneficio es un proceso que se lleva a cabo para evaluar la relación entre los costos de un proyecto y los beneficios que proporciona. Su objetivo es determinar si una inversión futura es rentable o no para una empresa. En otras palabras, se busca medir si los beneficios que se obtendrán superan o justifican los costos asociados con el proyecto (*Cómo realizar un análisis de costo-beneficio (con ejemplos)*).

### 3.3.1 *Calculo punto de equilibrio*

#### 3.3.1.1 *Costo de producción de óxido de calcio*

En la Tabla 3-28 se realizó un análisis de costo de producción del óxido de calcio

**Tabla 3-28:** Costo de producción para 1lb de óxido de calcio.

<b>Materia prima</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
Cáscara de huevo	1,90	Lb	\$ 0.011	\$ 1,48
Ácido acético	1,97	L	\$ 5,11	\$ 2,72
Envase 453g	1	Unidad	\$ 0,35	\$ 0,35
<b>SUBTOTAL</b>				\$ 4,55

Realizado por: Jativa J., 2024.

#### 3.3.1.2 *Costos fijos*

Los análisis de costos fijos involucran el costo de mano de obra y costo de servicios básicos tal y como se detallan en la Tabla 3-29 y Tabla 3-30

**Tabla 3-29:** Costo mano de obra mensual.

<b>Personal</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Mensual</b>	<b>Costo total</b>
Operarios	1	\$ 460,00	\$ 460,00
Técnico control	1	\$ 600.00	\$ 600,00
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 1060,00

Realizado por: Jativa J., 2024.

**Tabla 3-30:** Costo de servicios básicos

<b>Servicios básicos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
Luz	511.8 kw/h	\$ 0,11	\$ 56,30
Agua	4500 m <sup>3</sup>	\$ 0,32 (cada 60 m <sup>3</sup> )	\$ 24
<b>SUBTOTAL</b>			\$ 80,30

Realizado por: Jativa J., 2024.

#### 3.3.1.3 *Costos variables*

En la Tabla 3-31 y Tabla 3-32 se detallan los costos variables que manejaría la empresa dentro del proceso.

**Tabla 3-31:** Costos variables

Márquetin digital (redes sociales)	\$ 20,00
Insumos de limpieza	\$ 50,00
Insumos de oficina	\$ 10,00
<b>Total</b>	\$ 80,00

Realizado por: Jativa J., 2024.

**Tabla 3-32:** Costo de materia prima

Concepto	Producción diaria	Producción mensual	Costo mensual
Cáscara de huevo	9,49 lb	189,75 lb	148,40
Ácido acético	9,85 L	197,105 L	272,22
Total			420,62

Realizado por: Jativa J., 2024.

### 3.3.2 Análisis VAN y TIR

En la Tabla 3-33 se realizó el costo de insumos de oficina y enseres.

**Tabla 3-33:** Costo de enseres

Enseres	Cantidad	precio	Subtotal
lavabo de acero inoxidable	1	\$ 240,00	\$ 240,00
Archivador	1	\$ 199,00	\$ 199,00
Escritorio	1	\$ 139,00	\$ 139,00
Sillas	4	\$ 50,00	\$ 200,00
<b>Total</b>			\$ 778,00

Realizado por: Jativa J., 2024.

#### 3.3.2.1 Flujo de caja

Se estima que el incremento de óxido de calcio en el mercado crezca de 51,89 millones de toneladas métricas en 2023 a 65, 78 millones de toneladas métricas para 2028, a una tasa de crecimiento anual de 4,86% durante los próximos 5 años (*Tamaño del mercado de óxido de calcio y análisis de acciones - Informe de investigación de la industria - Tendencias de crecimiento 2024*).

**Tabla 3-34:** Producción mensual

Ventas	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Cantidad de ventas	100	104,86	109,96	115,30	120,90

Realizado por: Jativa J., 2024.

**Tabla 3-35: Ingresos anuales**

Ventas	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Precio unitario	\$ 455,00	\$ 477,11	\$ 500,30	\$ 524,62	\$ 550,11
Producción anual	1200	1.258,32	1.319,47	1.383,60	1.450,84
Ingresos	\$ 5.460,00	\$ 5.725,36	\$ 6.003,61	\$ 6.295,38	\$ 6.601,34

Realizado por: Jativa J., 2024.

**Tabla 3-36: Resolución de costos**

Detalle	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<b>COSTO DE PRODUCCIÓN</b>					
Materia prima	\$ 5.047,44	\$ 5.292,75	\$ 5.549,97	\$ 5.819,70	\$ 6.102,54
servicios básicos	\$ 963,60	\$ 1.010,43	\$ 1.059,54	\$ 1.111,03	\$ 1.165,03
mantenimiento	\$ 200,00	\$ 200,00	\$ 200,00	\$ 200,00	\$ 200,00
salta rio del personal	\$ 12.720,00	\$ 13.338,19	\$ 13.986,43	\$ 14.666,17	\$ 15.378,94
subtotal	\$ 18.931,04	\$ 19.841,37	\$ 20.795,94	\$ 21.796,90	\$ 22.846,51
<b>COSTOS ADMINISTRATIVOS</b>					
Insumos	\$ 720,00	\$ 720,00	\$ 720,00	\$ 720,00	\$ 720,00
Permiso de funcionamiento	\$ 160,00	\$ 160,00	\$ 160,00	\$ 160,00	\$ 160,00
Artículos de oficina	\$ 100,00	\$ 104,86	\$ 109,96	\$ 115,30	\$ 120,90
subtotal	\$ 980,00	\$ 984,86	\$ 989,96	\$ 995,30	\$ 1.000,90
<b>COSTO DE MÁRQUETIN</b>					
Publicidad	\$ 240,00	\$ 251,66	\$ 263,89	\$ 276,72	\$ 290,17
Total	\$20.151,04	\$ 21.077,89	\$ 22.049,79	\$ 23.068,92	\$ 24.137,58

Realizado por: Jativa J., 2024.

**Tabla 3-37: Rubros**

Rubros	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas		\$ 23.634,00	\$ 24.782,61	\$ 25.987,05	\$ 27.250,02	\$ 28.574,37
Costo de producción		\$ 18.931,04	\$ 19.841,37	\$ 20.795,94	\$ 21.796,90	\$ 22.846,51
Costos administrativos		\$ 980,00	\$ 984,86	\$ 989,96	\$ 995,30	\$ 1.000,90
Costo de márqetin		\$ 240,00	\$ 251,66	\$ 263,89	\$ 276,72	\$ 290,17
Utilidad		\$ 20.151,04	\$ 21.077,89	\$ 22.049,79	\$ 23.068,92	\$ 24.137,58
Costo de maquinaria	\$ 7.340,29					
Enseres	\$ 778,00					
Flujo de caja	\$ - 8.118,29	\$ 3.482,96	\$ 3.704,72	\$ 3.937,26	\$ 4.181,10	\$ 4.436,79

Realizado por: Jativa J., 2024.

En la Tabla 3-38 se detallan los resultados del análisis VAN, TIR y los años de recuperación de la inversión del proyecto.

**Tabla 3-38: Resultados**

VAN y TIR

VAN	\$ 5.922,05
TIR	37%
PR	2,24

**Realizado por:** Jativa J., 2024.

3.3.2.2 *Análisis del VAN y TIR*

El análisis VAN nos permite determinar la rentabilidad de la inversión de un proyecto o negocio, el resultado al ser positivo y mayor que cero de 5.922,05 dólares con una tasa de 12% por lo cual el proyecto es rentable y crea valor. La tasa interna de retorno TIR nos indica que por cada unidad monetaria invertida se espera obtener un retorno anual por lo cual la inversión es rentable de un 37,24% y el periodo de recuperación de la inversión es de 2,24 años.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

El presente trabajo de integración curricular titulado: DISEÑO DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE CALCIO A PARTIR DE LA CÁSCARA DE HUEVO, se llevó a cabo mediante la revisión de investigaciones en revistas científicas, artículos y tesis, estas investigaciones proporcionaron la base teórica y práctica necesaria para definir el método más adecuado para la obtención de calcio, el cual será implementado por la empresa “CORPORIZ S.A.”.

Mediante revisión bibliografía se logró encontrar información sobre procesos de recuperación de calcio de la cáscara de huevo por el cual nos centramos en comparar dos métodos denominados obtención de calcio por calcinación y obtención de calcio en solución.

*El método por calcinación* denominado así por que somete a altas temperaturas a la cáscara de huevo para que se elimine materia orgánica, la temperatura con el cual se trabaja es de 600°C por 4 horas, para luego hidratar la ceniza con agua destilada, se calcina durante 24 horas a una temperatura de 800°C y se procede a pesar para obtener el rendimiento el cual fue de 50,48% en peso.

*El método en solución* se lo realizó con ácido acético a 0,8 molar y ácido clorhídrico a 4 molar utilizando el mismo procedimiento para las dos soluciones el cual sigue los siguientes parámetros: calcinar la cáscara de huevo triturada a 600°C por 4 horas, diluir la ceniza en la solución, filtrar, secar la solución para extraer el carbonato de calcio y calcinar a 800°C por 2 horas para obtener óxido de calcio, el rendimiento obtenido para el ácido acético es de 66,56% y para el ácido clorhídrico es del 15%.

*La elección del método* para la obtención de calcio se basó netamente en el porcentaje de rendimiento de cada uno de los métodos estudiados determinando el mejor rendimiento siendo el método por solución de ácido acético con un 66,56% en función del peso el más conveniente para la implementación del proceso industrial.

Para la realización de los cálculos ingenieriles, se tomó en cuenta la producción mensual de 100 lb de óxido de calcio produciendo 5 libras diarias, realizando los respectivos balances de masa para conocer el volumen que ocupan los equipos que requiere la empresa para producir. Se ha diseñado un tanque evaporador con un volumen de 259,9 litros de capacidad con un factor de seguridad del 15%, también se necesita adquirir diferentes equipos del mercado como son un molino de martillo con una capacidad de 80-100kg/hora, un secador de bandejas con capacidad de 20-100 kg, una mufla industrial con capacidad de 9,49 libras.

Para determinar la viabilidad del producto se realizó el análisis de la densidad del óxido de calcio compactada según la Norma técnica ecuatoriana INEN 2589:2011 CAL VIVA, CAL HIDRATADA Y CALIZA. MÉTODOS DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS FÍSICO, dándonos una densidad de  $0,78 \text{ g/cm}^3$ . Con el análisis FTIR se determinó la presencia de calcio en los puntos  $3637.09$ ,  $1423.21$  y  $597.825 \text{ cm}^{-1}$ .

Para fijar el costo del producto se lo realizo con un margen de ganancia del 30% teniendo en cuenta los costos fijos de mano de obra y costo de producción por cada libra, generando un valor de venta al público de \$ 19,695 por cada libra, se pretende vender 1200 libras el primer año para generar ingresos de \$ 23.634,00 y al pasar 5 años producir 1450,8 lb generando \$ 28.574,37.

El análisis de VAN con un valor positivo de 5.922,05 y un TIR del 37% nos indica que el proyecto es rentable y genera ganancias ya que el periodo de recuperación de la inversión se da en un plazo de 2 años 2 meses y cuatro días

## CONCLUSIONES

- Se diseñó un proceso industrial para la obtención de calcio a partir de la cáscara de huevo partiendo del análisis de diferentes métodos como es la obtención de calcio por solución con ácido acético o ácido clorhídrico y por calcinación, el cual uno de los métodos arrojó un rendimiento favorable para la implementación del proceso industrial, con un rendimiento del 66.56% obtenido del método obtención de calcio en solución con ácido acético se procedió a diseñar los equipos utilizados generando así un método más detallado y específico para la obtención del óxido de calcio final.
- Se caracterizó la materia prima siguiendo la norma NTE INEN 1973-2011 HUEVOS COMERCIALES Y OVOPRODUCTOS. REQUISITOS. Con el cual se determinó el espesor de la cáscara de huevo dándonos un promedio de 0,403 mm, el grado de calidad que viene dado por las propiedades visuales de la cáscara de huevo siendo las más notables el color marrón oscuro, manchas mínimas. También se realizó pruebas de humedad con un 0,638%, ceniza con 95,734% y fibra con 66,04%.
- Se identificó las variables, parámetros y operaciones necesarias para realizar los cálculos de diseño. Las variables son la cantidad de carbonato de calcio 89,35% y óxido de calcio con un 66.56% que se obtienen a través del proceso previamente planteado, entre los parámetros planteados: la temperatura que va desde los 600°C para la obtención de ceniza, la disolución de la ceniza en ácido acético a 50°C y a 800°C para la obtención de óxido de calcio, el tiempo empleado para la producción total de 34,25 h. y por último las operaciones que se encuentran dentro del proceso industrial, la calcinación en la que el carbonato de calcio se somete a altas temperaturas, la evaporación de la solución que se la realiza en el tanque de evaporado previamente diseñado.
- Se realizó los cálculos ingenieriles para el proceso de obtención de calcio principalmente en el diseño del tanque evaporador simple con una producción diaria de 5 libras, el material utilizado el acero inoxidable 316 que es más resistente a altas temperaturas y a la corrosión con ácidos, el tanque tiene una altura de 70 cm y un diámetro de 68,76 cm. Para la mufla industrial se tuvo en cuenta la temperatura que sea mayor a 800°C y una capacidad de 9,49 libras, por otro lado, el secador de bandejas debe tener una temperatura mayor a 60°C y el molino una eficiencia de 80 kg/h.
- Se validó la factibilidad técnica con la norma NTE INEN 2589-2011 CAL VIVA, CAL HIDRATADA Y CALIZA. METODOS DE ENSAYO PARA EL ANALISIS FISICO. La determinación de la densidad compacta del óxido de calcio de 0,78 g/cm<sup>3</sup> por otra parte se analizaron las muestras mediante espectrofotometría de infrarrojo FTIR donde se comprobó la existencia de calcio. La factibilidad económica se la analizó con el VAN y TIR

presentando un resultado positivo de 5.922,05 en el análisis VAN y el 37,24% en el análisis TIR. Los años de recuperación de la inversión del proyecto es de 2,24 años.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar los análisis de las muestras en un espectro de rayos X para tener con más exactitud los compuestos.
- Se recomienda analizar las posibles funciones del óxido de calcio recuperado de la cáscara de huevo en las diferentes ramas de la industria.
- Realizar un análisis de mercado para una mejor eficiencia del proyecto.

## **GLOSARIO**

**Oxido de calcio:** CaO también conocido como cal quemada, cal viva, cal de guijarro y calcita, es un compuesto químico gris o gris blanco inodoro que se utiliza principalmente en aplicaciones de fabricación. El óxido de calcio se produce a través de la descomposición térmica de materiales que contengan carbonato de calcio (Vital Ecuador 2021).

**Espectrofotometría de infrarrojo:** Es un método de medida de la absorción de radiación en un rango de longitudes de onda que ayuda a la identificación de sustancias con diferencias estructurales.

**Fibra:** las fibras naturales son estructuras largas y delgadas, ayudan a la creación de tejidos. Las fibras pueden ser de origen vegetal, animal o mineral (Pruna et al. 2020).

**Calcinación:** es una operación por la cual se priva a los cuerpos de alguno de sus principios o se los combina con el oxígeno exponiéndolos a la acción simultánea del aire y de un calor fuerte y prolongado (Jiménez, p. 196).

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ADRIÁN RUÍZ QUINTERO, Harold y ANDRES BECERRA ROA, Fabián, 2016.** Evaluación fisicoquímica del método de calcinación como alternativa ambiental de reducción del volumen de lodos de aguas residuales de una industria de curtido de San Benito. [en línea]. 2016. Recuperado a partir de: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria) [accedido 29 enero 2024].
2. **ALIBABA.COM, 2021.** Cámara De Tratamiento Térmico Industrial Tratamiento Térmico Horno De Forja Calor De Tornillo - Comprar Horno De Tratamiento Térmico,Horno De Tratamiento Térmico De Tornillo,Horno De Forja De Tratamiento Térmico Product en Alibaba.com. [en línea]. 2021. Recuperado a partir de: [https://irisequipment.en.alibaba.com/product/62360767410-814119141/Industrial\\_Heat\\_Treatment\\_Chamber\\_Resistance\\_Furnace.html?spm=a2700.shop\\_index.152.6.7e28b487vaSaMk](https://irisequipment.en.alibaba.com/product/62360767410-814119141/Industrial_Heat_Treatment_Chamber_Resistance_Furnace.html?spm=a2700.shop_index.152.6.7e28b487vaSaMk) [accedido 2 marzo 2024].
3. **ALIBABA.COM, 2024a.** Deshidratador De Frutas Y Verduras Profesional De 100 Kg Máquina Deshidratadora De Jengibre - Comprar Máquina Deshidratadora De Jengibre, Deshidratador De Verduras, Deshidratador De Frutas Profesional Producto en Alibaba.com. [en línea]. 2024. Recuperado a partir de: [https://www.alibaba.com/product-detail/Machinery-Drying-100kg-Professional-Fruit-Vegetable\\_60276731903.html?spm=a2700.7735675.0.0.2ce2t9ZZt9ZZyO&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Machinery-Drying-100kg-Professional-Fruit-Vegetable_60276731903.html?spm=a2700.7735675.0.0.2ce2t9ZZt9ZZyO&s=p) [accedido 2 marzo 2024].
4. **ALIBABA.COM, 2024b.** Máquina De Molino De Martillos De Maíz Para Hacer Harina De Maíz - Comprar Producto Fresadora De Arroz,Máquina De Arroz Artificial,Picadora De Carne en Alibaba.com. [en línea]. 2024. Recuperado a partir de: [https://www.alibaba.com/product-detail/Corn-Hammer-Mill-Machine-For-Making\\_60674150821.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_image.14263b02KRUpai](https://www.alibaba.com/product-detail/Corn-Hammer-Mill-Machine-For-Making_60674150821.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.14263b02KRUpai) [accedido 2 marzo 2024].
5. **AL OMARI, M. M.H. et al., 2016.** Calcium Carbonate. *Profiles of Drug Substances, Excipients and Related Methodology*. Vol. 41, pp. 31-132. DOI 10.1016/BS.PODRM.2015.11.003.

6. **AMENGUAL, Victoria et al.** APROVECHAMIENTO DE LA CASCARA DE HUEVO (CO<sub>3</sub>Ca).
7. **BEDOYA-SALAZAR, Apolonia y VALENCIA-GONZÁLEZ, Monica Patricia, 2020.** Usos potenciales de la cáscara de huevo de gallina (*Gallus gallus domesticus*): una revisión sistemática. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*. Universidad de Sucre, 11 septiembre 2020.
8. **CALVO, Sonia, 2019.** Revalorización de la cáscara de huevo para su empleo como catalizador en el tratamiento de aguas residuales 2019.
9. **CATALÁN, Walter Alexis, 2020.** Desarrollo de tortilla de harina de maíz (*Zea mays*) nixtamalizada fortificada con calcio a partir de cáscaras de huevo. Cómo realizar un análisis de costo-beneficio (con ejemplos), [en línea]. Recuperado a partir de: <https://blog.hubspot.es/sales/analisis-cost-beneficio> [accedido 2 marzo 2024].
10. **CONAVE, 2022.** Estadísticas públicas. [en línea]. 2022. Recuperado a partir de: <https://conave.org/informacion-sector-avicola-publico/> [accedido 27 enero 2024].
11. **CRUZ, Lesly y LAGOS, Alexander, 2020.** Análisis del ciclo de vida en la obtención de hidróxido de calcio a partir de cáscara de huevo. [en línea]. 2020. Recuperado a partir de: <https://revistas.umariana.edu.co/index.php/RevistaBiumar/article/view/2324/2556> [accedido 26 enero 2024].
12. **EQUIPO DE REDACCIÓN PARTESDEL.COM, 2017.** Partes del huevo. [en línea]. 2017. Recuperado a partir de: <https://www.partesdel.com/huevo.html> [accedido 27 enero 2024].
13. **GAUR, Vivek K. et al., 2022.** Production of biosurfactants from agro-industrial waste and waste cooking oil in a circular bioeconomy: An overview. *Bioresource Technology*. Vol. 343, p. 126059. DOI 10.1016/j.biortech.2021.126059.
14. **GAUTRON, J. et al., 2021.** Avian eggshell biomineralization: an update on its structure, mineralogy and protein tool kit. *BMC Molecular and Cell Biology* 2021 22:1. Vol. 22, n.º 1, pp. 1-17. DOI 10.1186/S12860-021-00350-0.

15. **GÓMEZ, Lina y GIRALDO, Juan, 2017.** Estudio de Pre Factibilidad para la Producción y Comercialización de Carbonato de Calcio a Partir de la Cascara de Huevo como Suplemento Alimenticio en Aves de Corral Línea Carne para Empresas Productoras de Alimentos Concentrados para Autoconsumo en el Departamento de Cundinamarca. [en línea]. 2017. Recuperado a partir de: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5899> [accedido 27 enero 2024].
16. **HUACHO CHÁVEZ, Fernando Iván et al., 2023.** Recuperación de calcio de los residuos de cocina de los establecimientos de alimentos y bebidas de la ciudad de Riobamba Calcium recovery from kitchen kitchen waste from food and beverage food and beverage establishments beverage establishments in the city of Riobamba. [en línea]. 2023. Recuperado a partir de: <https://orcid.org/0009-0003-8500-4413>
17. **JIMÉNEZ, Manuel.** Tratado de farmacia experimental [sic] - Google Books. [en línea]. Recuperado a partir de: [https://www.google.com.ec/books/edition/Tratado\\_de\\_farmacia\\_esperimental\\_sic/u9GOyeqC7SUC?hl=es-419&gbpv=1&dq=calcinacion&pg=PA196&printsec=frontcover](https://www.google.com.ec/books/edition/Tratado_de_farmacia_esperimental_sic/u9GOyeqC7SUC?hl=es-419&gbpv=1&dq=calcinacion&pg=PA196&printsec=frontcover) [accedido 3 marzo 2024].
18. **JN ACEROS, 2024.** Acero 304 y 316: Resistencia a la corrosión | Jn Aceros. [en línea]. 2024. Recuperado a partir de: <https://jnaceros.com.pe/blog/acero-inoxidable-304-316-resistencia-corrosion/> [accedido 2 marzo 2024].
19. **LEGAN, Lea et al., 2020.** Investigation of proteinaceous paint layers, composed of egg yolk and lead white, exposed to fire-related effects. *Scientific Reports 2020 10:1*. Vol. 10, n.º 1, pp. 1-16. DOI 10.1038/s41598-020-75876-y.
20. **LEYVA-LÓPEZ, Nayely et al., 2020.** Exploitation of Agro-Industrial Waste as Potential Source of Bioactive Compounds for Aquaculture. *Foods 2020, Vol. 9, Page 843*. Vol. 9, n.º 7, p. 843. DOI 10.3390/FOODS9070843.
21. **LÓPEZ SÁNCHEZ, Mariana et al., 2005.** MÉTODOS FÍSICOS DE SEPARACIÓN Y PURIFICACIÓN DE SUSTANCIAS ORGÁNICAS 2005.
22. **MAHDAVI, Shahriar et al., 2021.** Avian Egg: A Multifaceted Biomaterial for Tissue Engineering. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. Vol. 60, n.º 48, pp. 17348-

17364.

DOI 10.1021/ACS.IECR.1C03085/ASSET/IMAGES/MEDIUM/IE1C03085\_0011.GIF.

23. **MARTÍNEZ, Emilio et al., 2016.** El calcio, esencial para la salud. *Nutrición Hospitalaria*. Vol. 33, pp. 26-31. DOI 10.20960/NH.341.
24. **MARTÍNEZ, J y IRIONDO, C, 2013.** TEMA 3. DISOLUCIONES. [en línea]. 2013. Recuperado a partir de: [https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/43171/mod\\_resource/content/1/TEMA\\_3\\_v5.pdf](https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/43171/mod_resource/content/1/TEMA_3_v5.pdf) [accedido 29 enero 2024].
25. **MCCABE, W. L., SMITH, J. C., HARRIOTT, P., 1991.** Operaciones unitarias en ingeniería química. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 1991.
26. **MERCADO LIBRE, 2024.** Ácido Acético Glacial Vinagre - L a \$20000 | Cuotas sin interés. [en línea]. 2024. Recuperado a partir de: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1344976005-acido-acetico-glacial-vinagre-\\_JM#position=2&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=af6788d7-7e5b-42e1-8b62-d371b3bb3046](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-1344976005-acido-acetico-glacial-vinagre-_JM#position=2&search_layout=stack&type=item&tracking_id=af6788d7-7e5b-42e1-8b62-d371b3bb3046) [accedido 2 marzo 2024].
27. **Molino De Martillos - Mezcladoras Y Molinos MAQUINOVA, 2024** [en línea]. Recuperado a partir de: <https://www.mezcladorasymolinos.com.mx/productos/molinos-de-martillos/> [accedido 4 febrero 2024].
28. **PÉREZ, Ana y AGUIRRE, Génesis, 2019.** PROPUESTA DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE CARBONATO DE CALCIO A PARTIR DE RESIDUOS DE CÁSCARAS DE HUEVO. [en línea]. 2019. Recuperado a partir de: [https://www.researchgate.net/publication/332530348\\_PROPUESTA\\_DE\\_UN\\_PROCESO\\_PARA\\_LA\\_OBTENCION\\_DE\\_CARBONATO\\_DE\\_CALCIO\\_A\\_PARTIR\\_DE\\_RESIDUOS\\_DE\\_CASCARAS\\_DE\\_HUEVO](https://www.researchgate.net/publication/332530348_PROPUESTA_DE_UN_PROCESO_PARA_LA_OBTENCION_DE_CARBONATO_DE_CALCIO_A_PARTIR_DE_RESIDUOS_DE_CASCARAS_DE_HUEVO) [accedido 27 enero 2024].
29. **PIÉ, Júlía, 2019.** Factores de la calidad interna del huevo y su incubabilidad. [en línea]. 25 septiembre 2019. Recuperado a partir de: <https://www.veterinariadigital.com/articulos/factores-de-los-que-depende-la-calidad-interna-del-huevo-y-su-incubabilidad/> [accedido 27 enero 2024].

30. **Principios de Tamizado - CISA Cedaceria Industrial**, [en línea]. Recuperado a partir de: <https://www.cisa.net/principios-tamizado/> [accedido 2 marzo 2024].
31. **PRUNA, Luis et al., 2020**. ELABORATION OF THE CABUYA FIBER IN FLAT FABRIC AS REINFORCEMENT MATRIX FOR THE CONSTRUCTION OF A REAR-VIEW MIRROR. *Ingenius*. Vol. 2020, n.º 24, pp. 81-86. DOI 10.17163/INGS.N24.2020.08.
32. **QIU, Ning et al., 2012**. Proteomic analysis of egg white proteins during the early phase of embryonic development. *Journal of Proteomics*. Vol. 75, n.º 6, pp. 1895-1905. DOI 10.1016/J.JPROT.2011.12.037.
33. **QUISPE, Samuél, 2018**. Concreto Con Cáscara de Huevo | PDF | Hormigón | Cemento. [en línea]. 2018. Recuperado a partir de: <https://es.scribd.com/document/444706529/Concreto-con-cascara-de-huevo#> [accedido 27 enero 2024].
34. **RODAS, J, RIBEIRO, A y MONTEIRO, M, 2018a**. PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO A PARTIR DE FUENTES ALTERNATIVAS PARA USO COMO UN PRECURSOR EN LA SÍNTESIS DE HIDROXIAPATITA 2018.
35. **RODAS, J, RIBEIRO, A y MONTEIRO, M, 2018b**. PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ÓXIDO DE CALCIO A PARTIR DE FUENTES ALTERNATIVAS PARA USO COMO UN PRECURSOR EN LA SÍNTESIS DE HIDROXIAPATITA 2018.
36. **SHIMAKURA, Hidekatsu et al., 2016**. IgE reactivity to hen egg white allergens in dogs with cutaneous adverse food reactions. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. Vol. 177, pp. 52-57. DOI 10.1016/J.VETIMM.2016.06.003.
37. **Tamaño del mercado de óxido de calcio y análisis de acciones - Informe de investigación de la industria - Tendencias de crecimiento, 2024** [en línea]. Recuperado a partir de: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/calcium-oxide-market> [accedido 2 marzo 2024].
38. **VACA-TUBÓN, Jenny, 2019**. Aplicación foliar de calcio en el cultivo de fresa (*Fragaria* sp.) obtenido a partir de cáscara de huevo de gallina (*Gallus gallus*). [en línea]. 2019.

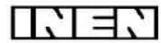
Recuperado a partir de: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29517> [accedido 27 enero 2024].

39. **VARGAS, Lorena, 2015.** EXTRACCIÓN A ESCALA DE LABORATORIO DEL COMPLEJO DE PROTEÍNAS PRESENTES EN LAS MEMBRANAS INTERSTICIALES DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE HUEVO DE GALLINA (*Gallus Domesticus*) MEDIANTE EL PROCESO DE HIDRÓLISIS ALCALINA 2015.
40. **VÁZQUEZ, Cinthia, 2020.** Obtención de carbonato de calcio a partir de materia orgánica - . [en línea]. 2020. Recuperado a partir de: <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-tecnologica-de-xicoteppec-de-juarez/quimica/obtencion-de-carbonato-de-calcio-a-partir-de-materia-organica/22574499> [accedido 27 enero 2024].
41. **VÁZQUEZ MARTÍNEZ, Diana Laura et al., 2021.** Extracción de calcio en solución a partir de cáscara de huevo. *Tópicos de Investigación en Ciencias de la Tierra y Materiales*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 5 octubre 2021.
42. **VITAL ECUADOR, 2021.** Óxido de Calcio: Propiedades y aplicaciones - Vital del Ecuador. [en línea]. 2021. Recuperado a partir de: <https://vitaldeecuador.com/oxido-de-calcio-propiedades-y-aplicaciones/> [accedido 3 marzo 2024].
43. **ZHAO, Yan et al., 2021.** Gelation behavior of egg yolk under physical and chemical induction: A review. *Food Chemistry*. Vol. 355, p. 129569. DOI 10.1016/J.FOODCHEM.2021.129569.



## ANEXOS

### ANEXO A: NTE INEN 1973:2011 HUEVOS COMERCIALES Y OVOPRODUCTOS. REQUISITOS.



## INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 1973:2011**  
**Primera revisión**

---

### **HUEVOS COMERCIALES Y OVOPRODUCTOS. REQUISITOS.**

**Primera Edición**

COMMERCIAL EGGS AND EGG PRODUCTS. REQUIREMENTS.

First Edition

---

DESCRIPTORES: Tecnología de los alimentos, carne y productos cármicos y otros productos animales, aves y huevos, huevos comerciales y ovoproductos, requisitos.

AL 03.05-402  
CDU: 637.4  
CIIU: 1110  
ICS: 67.120.20

**TABLA 2. Huevo fresco de gallina de acuerdo a su grado de calidad.**

	<b>Grado A</b>	<b>Grado B</b>
Cascarón y cutícula	Normal, intacta, limpia.	Normal e intacta, manchas mínimas no propias del producto.
Cámara de aire	Su altura no excederá de los 9 mm, inmóvil	Su altura no excederá de los 15 mm, inmóviles.
Clara	Transparente, limpia, de consistencia gelatinosa, exenta de cuerpos extraños.	Transparente, limpia, de consistencia gelatinosa. Se admiten manchas de sangre y/o carne hasta 3 mm.
Yema	Visible al trasluz, bajo forma de sombra solamente, sin contorno aparente, no separándose sensiblemente de la posición central en caso de rotación del huevo. Exenta de cuerpos extraños.	Visible a trasluz, bajo forma de sombra solamente; pequeña separación en caso de rotación del huevo; Se admiten manchas de sangre y/o carne hasta 3 mm.
Olor y sabor	Exento de olores y sabores extraños.	Exento de olores y sabores extraños.

**4.4 Los ovoproductos se clasifican como:**4.4.1 *Huevo líquido.*4.4.2 *Huevo en polvo* (Desidratados o desecados).**5. DISPOSICIONES GENERALES**

5.1 Los huevos deben recogerse, manipularse y transportarse de modo que pueda asegurarse su llegada al lugar de su destino en condiciones satisfactorias para su comercialización.

5.2 Los huevos no deben contener residuos de plaguicidas y/o sus metabolitos, residuos de medicamentos veterinarios, desinfectantes, en cantidades superiores a las tolerancias máximas admitidas por las regulaciones vigentes; caso de no existir, se adoptarán las recomendaciones del Codex alimentarius.

5.3 Se debe cumplir con las normativas vigentes de higiene y manipulación en todas las instancias de producción, almacenamiento y comercialización.

5.4 Se prohíbe la comercialización de huevos que presenten las siguientes alteraciones:

5.4.1 Signos de putrefacción

5.4.2 Manchas internas de sangre mayores a 3 mm

5.4.3 Embriones en franco desarrollo

5.4.4 Mohos, levaduras, bacterias, parásitos e insectos

5.4.5 Caducados

5.4.6 Cuerpos extraños

*(Continúa)*

5.5 Se permite el agregado como antiaglomerante o antihumectante al huevo en polvo de no más de 1% en peso de dióxido de silicio, y no más de 1,5% en peso de silicato de aluminio y sodio, ó los niveles establecidos en la NTE INEN 2074.

5.6 Los establecimientos que elaboren huevo líquido a utilizar como materia prima deben someterlos a un proceso de lavado previo, con agua potable caliente entre 43°C y 49°C de flujo continuo o adicionando a la misma, antisépticos autorizados atóxicos, en aquellos casos en que el proceso de elaboración no contemple alguna etapa tendiente a reducir la flora bacteriana tal como pasteurización u otros.

5.7 No se permite el uso de aditivos alimentarios que no sean considerados en la NTE INEN 2074.

5.8 Los huevos líquidos deben preservarse a una temperatura de refrigeración de 0°C a 4°C, o de congelación inferior a -12°C, hasta su uso inmediato.

## 6. REQUISITOS

### 6.1 Requisitos específicos.

#### 6.1.1 Requisitos físico químicos

##### 6.1.1.1 Huevos frescos de gallina

- a) Los huevos frescos de gallina para comercialización directa al consumidor, en sus diferentes tamaños, deben cumplir con los requisitos establecidos en la tabla 2.
- b) Las características físicas del huevo comercial de gallina se presenta en la tabla 3.

**TABLA 3. Características físicas del huevo comercial de gallina**

Parámetro	Mínimo	Máximo	Unidades	Método ensayo
Color de la yema	7	12	Unidades de color	Abanico Colorimétrico para yema
Grado de frescura	70	110	Unidades Haugh	Medición de Unidades Haugh
Cámara de aire	---	15	milímetros	Ovoscopía
Espesor de la cascara	0,28	0,37	milímetros	Medición directa
Gravedad específica	1,074	1,140	-----	Solución salina

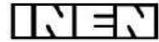
##### 6.1.1.2 Huevo en polvo

- a) No deben contener más de un 5% de agua si se usa antiaglutinante; de no usarlo se aceptará hasta un 8% de agua.
- b) El contenido de proteínas no debe ser menor de 45% y el de grasa 42%.
- c) No deben contener colorantes artificiales.

6.1.2 *Requisitos microbiológicos.* Los huevos frescos y ovoproductos deben cumplir con los requisitos microbiológicos establecidos en las tablas 4 y 5.

(Continúa)

**ANEXO B: NTE INEN 2589:2011 CAL VIVA, CAL HIDRATADA Y CALIZA. MÉTODOS DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS FÍSICO.**



**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN**

Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 2589:2011**

---

**CAL VIVA, CAL HIDRATADA Y CALIZA. MÉTODOS DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS FÍSICO.**

**Primera Edición**

STANDARD TEST METHODS FOR PHYSICAL TESTING OF QUICKLIME, HYDRATED LIME, AND LIMESTONE.

First Edition

---

**DESCRIPTORES:** Materiales de construcción y edificación, materiales y productos minerales y cerámicos, cal viva, cal hidratada, caliza, ensayo.

CO 02.01-311  
CDU: 666.924/925  
CIU: 3692  
ICS: 91.100.15

## ÍNDICE

	Página
<b>1. OBJETO</b> .....	1
<b>2. DEFINICIONES</b> .....	1
<b>3. DISPOSICIONES GENERALES</b> .....	1
<b>4. MÉTODOS DE ENSAYO</b> .....	1
<b>4.1 Métodos de ensayo para determinar las propiedades de plasticidad</b> .....	1
4.1.1 Determinación de la consistencia normal de la pasta de cal.....	1
4.1.2 Determinación de la plasticidad de la pasta de cal.....	3
4.1.3 Determinación de la retención de agua de la cal hidratada.....	6
4.1.4 Determinación del contenido de aire incorporado.....	9
<b>4.2 Ensayo de resistencia a la acción de los sulfatos</b> .....	11
4.2.1 Determinación de la expansión en autoclave de la cal hidratada.....	11
4.2.2 Determinación del contenido de erupciones y picaduras en la cal hidratada.....	13
<b>4.3 Ensayos de aplicación</b> .....	13
4.3.1 Determinación de la velocidad de apagado de la cal viva.....	13
4.3.2 Brillo seco de la caliza pulverizada.....	16
4.3.3 Determinación de la moulurabilidad de la caliza por el método de molino de bolas de laboratorio.....	18
4.3.4 Determinación de la velocidad de precipitación de la cal hidratada.....	20
<b>4.4 Análisis del tamaño de la partícula</b> .....	20
4.4.1 Análisis del residuo y tamizado.....	20
4.4.2 Determinación de la finura de la cal viva pulverizada y de la cal hidratada por el método de permeabilidad al aire.....	21
4.4.3 Determinación del tamaño de la partícula de caliza pulverizada.....	22
4.4.4 Determinación de la granulometría por vía seca, por el método de tamizado con inyección de aire.....	28
4.4.5 Análisis por tamizado húmedo de materiales agrícolas elaborados con cal.....	29
<b>4.5 Determinación de la densidad</b> .....	34
4.5.1 Determinación de la densidad suelta aparente de cal hidratada, cal viva pulverizada y caliza.....	34
4.5.2 Determinación de la densidad compactada aparente de cal hidratada, cal viva pulverizada y caliza.....	35
4.5.3 Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) de productos de cal hidratada.....	36

**4.3.3.8 Cálculos.** Calcular el índice de molidurabilidad (IM) de la siguiente manera:

$$IM = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100 \quad (4)$$

**4.3.3.9 Precisión y desviación.** La precisión y desviación de este método de ensayo no han sido determinadas hasta la fecha.

#### 4.3.4 Determinación de la velocidad de precipitación de la cal hidratada

**4.3.4.1 Alcance.** Este método de ensayo provee una medida de la velocidad de sedimentación de una lechada de cal hidratada, forma en la cual este material es frecuentemente utilizado. En algunas aplicaciones, se busca una sedimentación lenta, en otras ocasiones es preferible una rápida sedimentación.

**4.3.4.2 Procedimiento.** Colocar 10,0 g de cal hidratada en una probeta graduada de 100 cm<sup>3</sup> con tapón esmerilado (diámetro interno aproximado 24 mm). Humedecerla con 50 cm<sup>3</sup> de agua destilada libre de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a 23 °C ± 1,7 °C y mezclar cuidadosamente, invirtiendo y regresando el cilindro a la posición original lenta y alternadamente durante 2 minutos. Dejar que la probeta y el contenido se estabilicen a 23 °C ± 1,7 °C por 30 minutos y luego diluirlo hasta la marca de 100 cm<sup>3</sup> con agua destilada libre de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a 23 °C ± 1,7 °C. Mezclar el contenido otra vez cuidadosamente y dejar el contenido en reposo total a 23 °C ± 1,7 °C por 24 horas.

**4.3.4.3 Informe.** Informar la altura de sedimentación en cm<sup>3</sup> después de 15 min, 30 min, 45 min, 1h, 2h, 4h y 24 h, tomando la lectura en el fondo del menisco (ver nota 16).

**4.3.4.4 Precisión y desviación.** Debido al limitado uso de este método de ensayo no hay datos de precisión disponibles. Entonces, se recomienda a los usuarios de este método, que desarrollen la precisión en sus laboratorios.

#### 4.4 Análisis del tamaño de la partícula

##### 4.4.1 Análisis del residuo y tamizado

**4.4.1.1 Alcance.** Este método de ensayo determina el residuo obtenido de la hidratación de cal viva. Este residuo, en este caso, es mayoritariamente material sin reaccionar, tales como caliza o dolomita no calcinada, cal viva muy quemada, impurezas gruesas o una combinación de éstas.

##### 4.4.1.2 Equipos:

- a) Los tamices utilizados deben cumplir con los requisitos de la NTE INEN 154. Preferiblemente los tamices deben tener una profundidad de 10 cm.
- b) Si se requiere realizar calibraciones a los tamices, seguir las indicaciones descritas en la norma ASTM C 430.
- c) *Boquilla de pulverización.* Que cumpla con los requisitos de la norma ASTM C 430.
- d) *Manómetro de presión.* Debe tener un diámetro mínimo de 75 mm y debe ser graduado con incrementos de 6,9 kPa y debe tener una capacidad máxima de 207 kPa. La exactitud a 69 kPa debe ser ± 1,7 kPa.
- e) Instalar un manómetro de presión a la descarga del agua y una manguera de caucho a la salida del manómetro de presión. En el otro extremo de la manguera instalar la boquilla de pulverización (ver el literal c del numeral 4.4.1.2).

NOTA 16. Se pueden producir ligeras variaciones en los resultados de este ensayo, en una muestra llevada a cabo en diferentes laboratorios y por diferentes laboratoristas. El ensayo no es absoluto, pero está diseñado para distinguir entre hidratos de sedimentación lenta y rápida.

(Continúa)

**4.4.1.3 Residuo de la cal viva.** Seleccionar una muestra representativa de cal viva de 2,5 kg. Triturar la cal seleccionada de manera que pase completamente por el tamiz de malla cuadrada de 25,0 mm. Ensayar la cal pulverizada tal como se recibió. Colocar la muestra en una caja de madera o en una de material con similar baja conductividad térmica y luego, un operador experimentado debe hidratar la cal con suficiente agua entre 21 °C a 27 °C para producir la máxima cantidad de masilla de cal, evitando cuidadosamente "quemaduras" y "salpicaduras" de cal. Dejar en reposo por una hora y luego lavar con una corriente de agua con presión moderada, a través del tamiz de 850 µm (No. 20). No forzar ningún material a pasar a través de la malla. Continuar con el lavado hasta que el residuo retenido en la malla del tamiz aparezca formado completamente de partículas gruesas, pero en ningún caso continuar lavando por más de 30 minutos. Secar el residuo hasta masa constante a una temperatura entre 100 °C y 110 °C y calcular el porcentaje de residuo basado en la masa original de la muestra.

**4.4.1.4 Análisis por tamizado de la cal hidratada:**

- a) Seleccionar una muestra de 100 g de cal hidratada tal como se recibió y colocarla sobre un tamiz de 600 µm (No. 30) que esté montado sobre un tamiz de 75 µm (No. 200). Lavar la muestra sobre los tamices con una corriente de agua de la boquilla de pulverización instalada en la manguera de caucho (ver el literal e del numeral 4.4.1.2) después de haber ajustado la presión de agua a 69 kPa  $\pm$  1,7 kPa. Lavar cuidadosamente la muestra de modo que atraviese los tamices sin permitir que se produzcan salpicaduras de material a los lados del tamiz. Después de que la muestra ha sido lavada totalmente en el tamiz superior, separar los dos tamices y continuar lavándola en el tamiz de 75 µm (No. 200) hasta que el agua que atraviesa el tamiz sea clara, esto es, que no aparezcan partículas en el agua de enjuague recogida en una bandeja de precipitación, pero en ningún caso continuar lavando por más de 30 minutos. No dejar acumular el agua sobre el tamiz 75 µm (No. 200) porque la malla se puede obstruir y no se podrá completar esta operación en 30 minutos.
- b) Calcular el porcentaje de residuo retenido en cada tamiz, tomando como base la masa inicial de material. Para obtener la masa corregida del material retenido en el tamiz de 75 µm (No. 200), se debe añadir la masa retenida en el tamiz de 600 µm (No. 30) a la masa del material retenido en el tamiz de 75 µm (No. 200).

**4.4.1.5 Análisis por tamizado de la caliza y de la cal viva seca:**

- a) Seleccionar los tamices deseados y acoplarlos colocando el de mayor tamaño de malla en la parte superior. Pesar una muestra de 100 g del material a ser ensayado y colocarla sobre el tamiz superior. Realizar la operación de tamizado por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz acompañado de agitación para mantener la muestra en movimiento continuo sobre la malla del tamiz. Continuar tamizando hasta que la cantidad de material que pase durante 1 minuto cualquier tamiz, no sea mayor al 1% del residuo. Si se emplea el tamizado mecánico, el equipo debe ser capaz de impartir el tipo de agitación descrito en el tamizado manual. Mantener la agitación durante 15 minutos.
- b) Pesar el residuo retenido en cada tamiz con una aproximación de 0,1 g. Informar los resultados del análisis por tamizado de la siguiente manera: (1) porcentaje total pasante de cada tamiz, (2) porcentaje total retenido en cada tamiz y (3) porcentaje retenido entre tamices consecutivos, dependiendo de lo establecido en las especificaciones para el uso del material ensayado.

**4.4.1.6 Precisión y desviación.** Debido al limitado uso de este método de ensayo no hay datos de precisión disponibles. Entonces, se recomienda a los usuarios de este método, que desarrollen la precisión en sus laboratorios. No se hace ninguna declaración acerca de la desviación de estos métodos de ensayo.

**4.4.2 Determinación de la finura de la cal viva pulverizada y de la cal hidratada por el método de permeabilidad al aire**

(Continúa)

**4.4.2.1 Alcance:**

- a) Este método de ensayo cubre la determinación de la finura de la cal viva pulverizada y de cal hidratada usando el aparato de permeabilidad al aire de Blaine descrito en la NTE INEN 196. La finura en términos de área superficial debe estar expresada como área total superficial en centímetros cuadrados por gramo o en metros cuadrados por kilogramo.
- b) Generalmente, este método de ensayo proporciona valores de finura relativos más no valores absolutos. Para la descripción completa y procedimientos de uso del aparato, referirse a la NTE INEN 196.

**4.4.2.2 Precisión y desviación.** A pesar que la precisión para el método de ensayo de finura de cemento portland con el aparato de permeabilidad al aire, ha sido informada en la NTE INEN 196, la precisión de este método de ensayo para la cal viva pulverizada y para la cal hidratada, no ha sido aún determinada. Cuando se haya obtenido suficiente información y sea analizada, una declaración de desviación será proporcionada. Mientras tanto se recomienda a los usuarios de esta norma desarrollar sus propios valores.

**4.4.3 Determinación del tamaño de la partícula de caliza pulverizada**

**4.4.3.1 Alcance.** El tamaño de partícula de la caliza pulverizada, para estos métodos de ensayo, se considera como la distribución porcentual de los diámetros esféricos equivalentes de las partículas individuales expresadas en micrómetros, utilizando el principio de sedimentación y la ley de Stokes para la determinación del tamaño de las partículas. Su uso está previsto para calizas pulverizadas con un residuo retenido en el tamiz de  $45\ \mu\text{m}$  (No. 325) no mayor de 0,5%.

**4.4.3.2 Equipos:**

- a) *Hidrómetro para suelos.* ASTM 152H.
- b) *Probeta para sedimentación.* Que cumpla los requisitos de ASTM, con capacidad de  $1\ 000\ \text{cm}^3$
- c) *Tapón de caucho.* Tamaño No. 12
- d) *Termómetro.* De  $0\ ^\circ\text{C}$  a  $105\ ^\circ\text{C}$
- e) *Cronómetro.*
- f) *Reloj normal.*
- g) *Mezcladora.*
- h) *Baño de agua.*
- i) *Balanza.*
- j) *Vidrio reloj.*
- k) *Papel para gráficos.* De 3 ciclos x 70 divisiones
- l) *Tamiz de  $45\ \mu\text{m}$  (No. 325).* Con malla de acero inoxidable, bastidor de bronce con diámetro de aproximadamente 20 cm.
- m) *Tamiz de  $25\ \mu\text{m}$  (No. 500).* Con malla de acero inoxidable, bastidor de bronce con diámetro de aproximadamente 10 cm y con alto de aproximadamente 12 cm.

**4.4.3.3 Reactivos:**

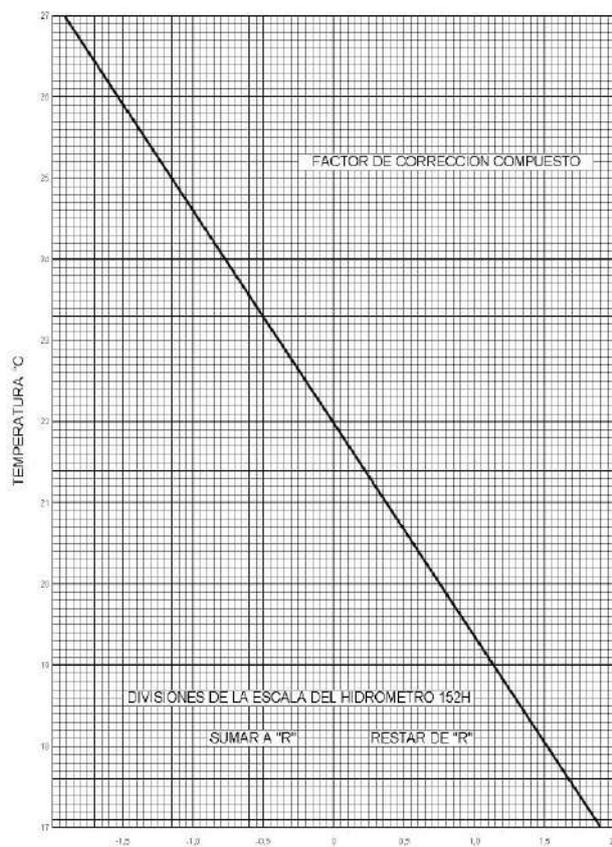
- a) *Agente dispersante de partículas.*  $30\ \text{cm}^3$  de solución al 25%, diluirla con agua destilada hasta  $400\ \text{cm}^3$ .

(Continúa)

#### 4.4.3.4 Procedimiento:

- a) Determinar la corrección del menisco introduciendo el hidrómetro en la probeta de sedimentación llena con agua destilada hasta la marca superior. Registrar las lecturas del hidrómetro considerando la parte superior e inferior del menisco. La diferencia entre las dos lecturas es la corrección del menisco. Por ejemplo, en la figura 7, la corrección para el hidrómetro utilizado es 1,2. Esta lectura es añadida a cada  $R$  para obtener  $R_r$ .
- b) Calibrar el hidrómetro añadiendo 30 cm<sup>3</sup> de solución dispersante a la probeta de sedimentación luego completar con agua destilada a 27 °C hasta la marca. Mezclar prolijamente y tomar la lectura del hidrómetro (leer en la parte superior del menisco). Repetir luego de que la probeta se ha enfriado hasta 17 °C y ajustar el menisco de modo que este se encuentre en la marca. Asumir una relación lineal y dibujar una línea correspondiente al factor de corrección compuesto. Este factor es la diferencia entre la lectura y el valor cero. Estos valores de corrección están mostrados en la tabla 7 y deben ser determinados para cada hidrómetro. Cuatro factores intervienen en el factor de corrección: (1) *Temperatura*: los hidrómetros y las probetas son calibrados a 20 °C y los cambios de temperatura producen inexactitud en las lecturas del hidrómetro, (2) *Gravedad específica*: la adición de dispersante cambia la gravedad específica de la solución, (3) *Correcciones de menisco*, los hidrómetros están graduados de modo que la lectura se realiza en el fondo del menisco, pero las soluciones opacas de carbonato de calcio deben ser leídas en la parte superior del menisco y (4) *Hidrómetros*, a pesar de la supuesta similitud en volumen de los hidrómetros (ASTM 152H), se ha encontrado una diferencia de hasta 1,0 división de la escala entre dos hidrómetros similares. El factor de corrección encasilla a los cuatro puntos dentro de una línea. No es necesario repetir esta calibración si no se ha cambiado a un hidrómetro diferente.

FIGURA 7. Factor de corrección compuesto para el hidrómetro



(Continúa)

TABLA 7. Factor de corrección compuesto para el hidrómetro

Temperatura, en °C	Factor de corrección
17	+1,90
18	+1,52
19	+1,14
20	+0,76
21	+0,39
22	0,00
23	-0,38
24	-0,76
25	-1,14
26	-1,52
27	-1,90

- c) Pesar 40 g de muestra.
- d) Añadir aproximadamente 300 cm<sup>3</sup> de agua destilada al mezclador, 30 cm<sup>3</sup> de solución dispersante de partículas y a continuación 40 g de la muestra a evaluar. Tapar y mezclar por exactamente 2 minutos a alta velocidad.
- e) Transferir la lechada medida a la probeta de sedimentación de 1 000 cm<sup>3</sup>. Completar hasta aproximadamente 3,2 mm sobre la marca (ya que el fondo del menisco no es visible) y este debe aproximarse a los 1 000 cm<sup>3</sup> de la calibración de la probeta. La temperatura de la probeta puede ser ajustada a 20 °C, haciendo correr agua fría en la parte externa de la probeta y agitando con el termómetro hasta alcanzar esta temperatura. Con el tapón de caucho tapar la probeta. Mezclar bien invirtiendo la probeta por 15 o más veces. Retirar el tapón y colocar la probeta en un baño de agua con una temperatura que previamente ha sido ajustada lo más cercana posible a 20 °C. Iniciar el funcionamiento del cronómetro y anotar la hora del reloj. Introducir cuidadosamente el hidrómetro, exactamente a los 4 minutos 30 segundos después del inicio, hasta el punto donde aproximadamente se va a tener la lectura. Tomar la lectura del hidrómetro exactamente a los 5 minutos. Registrar la lectura y la temperatura (ver nota 17). Retirar el hidrómetro y lavar la pasta impregnada. Tapar la probeta con la luna de reloj.
- f) Tomar adicionalmente las lecturas a los 15, 30 y 60; 120 o 180 minutos; 300 o 360 minutos y 1 200 o 1 440 minutos después del inicio.
- g) Tomar una muestra de 25 g y realizar el ensayo de tamizado húmedo sobre un tamiz No. 500. La abertura del tamiz No. 500 es aproximadamente 25 µm. A partir de este resultado calcular el porcentaje de material más fino que 25 µm. No se debe descartar el material retenido en el tamiz No. 500, utilizarlo para determinar el retenido en el tamiz de 45 µm (No. 325) para obtener el porcentaje más fino que 44 µm. La abertura del tamiz de 45 µm es 44 µm.

#### 4.4.3.5 Cálculos:

- a) Arreglar los datos en una sola hoja.
- b) Registrar la fecha y lecturas del reloj, en el momento en que se tomaron las lecturas.
- c) Las lecturas se las toma comúnmente a los 5, 15, 30, 60, 180, 360 y 1 440 minutos. El punto de 25 µm es obtenido del resultado de tamizar por el tamiz No. 500 y el de 44 µm el de tamizar por el tamiz No. 325.
- d) Registrar la temperatura T y cada lectura del hidrómetro R.
- e) Obtener R<sub>i</sub>, añadiendo la corrección del menisco a cada valor R.

NOTA 17. La temperatura debe ser tomada dentro de la probeta y no en el baño de agua.

(Continúa)

- f) Obtener  $R_c$ , lectura corregida del hidrómetro, de la figura 7. Este valor puede ser diferente para cada hidrómetro y debe ser determinado individualmente.
- g) Obtener L de la tabla 8, utilizando los valores de  $R_r$ .

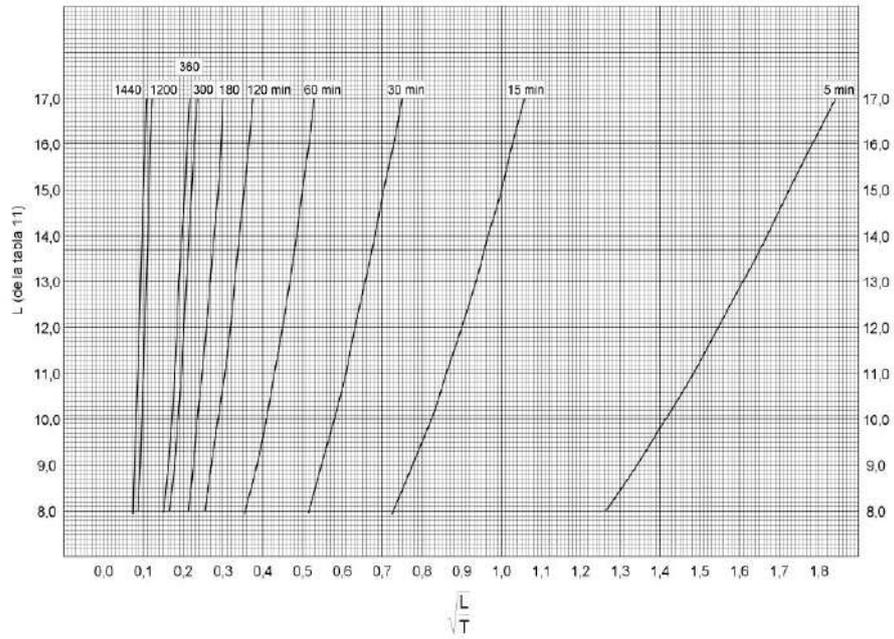
**TABLA 8. Profundidad efectiva, L, para el hidrómetro 152H**

$R_r$	L, cm	$R_r$	L, cm
0	16,3	31	11,2
1	16,1	32	11,1
2	16,0	33	10,9
3	15,8	34	10,7
4	15,6	35	10,6
5	15,5	36	10,4
6	15,3	37	10,2
7	15,2	38	10,1
8	15,0	39	9,9
9	14,8	40	9,7
10	14,7	41	9,6
11	14,5	42	9,4
12	14,3	43	9,2
13	14,2	44	9,1
14	14,0	45	8,9
15	13,8	46	8,8
16	13,7	47	8,6
17	13,5	48	8,4
18	13,3	49	8,3
19	13,2	50	8,1
20	13,0	51	7,9
21	12,9	52	7,8
22	12,7	53	7,6
23	12,5	54	7,4
24	12,4	55	7,3
25	12,2	56	7,1
26	12,0	57	7,0
27	11,9	58	6,8
28	11,7	59	6,6
29	11,5	60	6,5
30	11,4		

- h) A partir de la figura 8 y los valores para L y T (tiempo) se encuentra  $\sqrt{\frac{L}{T}}$ . Para valores de tiempo que no están en la figura 8, calcular  $\sqrt{\frac{L}{T}}$  a partir de valores conocidos de L y T (en minutos).

(Continúa)

**FIGURA 8. Valores para  $\sqrt{\frac{L}{T}}$  relacionados con L, para valores dados de T (tiempo)**



i) Utilizando la tabla 9, encontrar D a 20 °C en términos de  $\sqrt{\frac{L}{T}}$ .

**TABLA 9. Relación entre  $\sqrt{\frac{L}{T}}$  y D, a 20 °C**

$\sqrt{\frac{L}{T}}$	D, $\mu\text{m}$	$\sqrt{\frac{L}{T}}$	D, $\mu\text{m}$
0,05	0,7	1,05	14,0
0,10	1,4	1,10	14,7
0,15	2,0	1,15	15,4
0,20	2,7	1,20	16,0
0,25	3,4	1,25	16,7
0,30	4,0	1,30	17,4
0,35	4,7	1,35	18,0
0,40	5,4	1,40	18,7
0,45	6,0	1,45	19,4
0,50	6,7	1,50	20,1
0,55	7,4	1,55	20,8
0,60	8,0	1,60	21,4
0,65	8,7	1,65	22,1
0,70	9,4	1,70	22,8
0,75	10,0	1,75	23,4
0,80	10,7	1,80	24,1
0,85	11,4	1,85	24,8
0,90	12,0		
0,95	12,7		
1,00	13,4		

(Continúa)

j) Utilizar la tabla 10 para corregir D en función de la temperatura y encontrar  $\Delta D$  en términos de  $\sqrt{\frac{L}{T}}$ .

Multiplicar por  $\Delta T$  ( $\Delta T$  es la diferencia de temperatura entre 20 °C y la temperatura en el momento del ensayo). Si la temperatura es mayor a 20 °C, esto dará un valor para ser restado del valor de D encontrado en el literal i del numeral 4.4.3.5. Si la temperatura es menor a 20 °C esta corrección debe ser sumada a D.

**TABLA 10. Relación entre  $\Delta D$  y  $\sqrt{\frac{L}{T}}$**

$\sqrt{\frac{L}{T}}$	$\Delta D$	$\sqrt{\frac{L}{T}}$	$\Delta D$
2,0	0,32	1,0	0,16
1,9	0,31	0,9	0,15
1,8	0,29	0,8	0,13
1,7	0,27	0,7	0,11
1,6	0,26	0,6	0,10
1,5	0,24	0,5	0,08
1,4	0,23	0,4	0,07
1,3	0,21	0,3	0,05
1,2	0,19	0,2	0,03
1,1	0,18	0,1	0,02

k) Utilizando la tabla 11 y el valor de  $R_c$ , encontrar el valor de P.

**TABLA 11. Valores para la relación entre P y  $R_c$ . Utilizando  $a = 0,988$  y  $W = 40$**

Cálculo de  $R_c$ , con aproximación de 0,1. Para la lectura de 24,7; tomar la lectura de 24,5, que es 60,0, y sumar  $2 \times 0,4$  ó 60,8%

$R_c$	P	$R_c$	P	$R_c$	P	$R_c$	P
0,0	0,0	11,5	28,5	23,0	57,0	34,5	85,0
0,5	1,5	12,0	30,0	23,5	58,0	35,0	86,5
1,0	2,5	12,5	31,0	24,0	59,0	35,5	87,5
1,5	3,5	13,0	32,0	24,5	60,0	36,0	89,0
2,0	5,0	13,5	33,5	25,0	62,0	36,5	90,0
2,5	6,0	14,0	35,0	25,5	63,0	37,0	91,5
3,0	7,5	14,5	36,0	26,0	64,0	37,5	92,5
3,5	8,5	15,0	37,5	26,5	65,0	38,0	94,0
4,0	10,0	15,5	38,5	27,0	66,5	38,5	95,0
4,5	11,0	16,0	39,5	27,5	67,5	39,0	96,5
5,0	12,5	16,5	40,5	28,0	69,0	39,5	97,5
5,5	13,5	17,0	42,0	28,5	70,0	40,0	99,0
6,0	15,0	17,5	43,0	29,0	71,5	40,5	100,0
6,5	16,0	18,0	44,5	29,5	72,5		
7,0	17,5	18,5	45,5	30,0	74,0		
7,5	18,5	19,0	47,0	30,5	75,0		
8,0	20,0	19,5	48,0	31,0	76,5		
8,5	21,0	20,0	49,5	31,5	77,5		
9,0	22,5	20,5	50,5	32,0	79,0		
9,5	23,5	21,0	52,0	32,5	80,0		
10,0	25,0	21,5	53,0	33,0	81,5		
10,5	26,0	22,0	54,5	33,5	82,5		
11,0	27,5	22,5	56,5	34,0	84,0		

l) Graficar los valores de  $D_c$  versus valores de P.

(Continúa)

**4.4.3.6 Precisión y desviación.** La precisión y desviación de este método de ensayo no ha sido determinada.

**4.4.4 Determinación de la granulometría por vía seca, por el método de tamizado con inyección de aire**

**4.4.4.1 Alcance:**

- a) Este método de ensayo usa una boquilla perforada rotativa para suministrar una corriente de aire dirigida a la parte inferior del tamiz de ensayo, para prevenir que la malla se bloquee. El material aireado es luego succionado a través del tamiz por una fuente de vacío.
- b) Las ventajas del tamizado por vía seca con inyección de aire son principalmente dos. El material que está siendo ensayado es menos propenso a taponar la malla, debido a la presencia de un flujo de aire contracorriente en la parte inferior de la malla. También el tamizado seco evita el error introducido por la interacción del material de ensayo con el medio líquido solvente.
- c) Este método de ensayo es aplicable para tamizar material entre tamaños nominales de 300  $\mu\text{m}$  (tamiz No. 50) hasta 20  $\mu\text{m}$  (tamiz No. 635) (ver nota 18)

**4.4.4.1 Equipos**

- a) *Dispositivo para crear vacío.* Con capacidad de crear un vacío en la parte inferior del tamiz causando que la boquilla perforada rotatoria suministre una corriente de aire perpendicular al fondo del tamiz. El objetivo es suspender todo el material sobre el tamiz mediante una corriente de aire en forma rotativa (ver nota 19)
- b) *Balanza.* Adecuada para pesar con aproximación de 0,01 g (ver nota 20).
- c) *Brocha.* De cerdas suaves.
- d) *Tapa de tamiz.* Una cubierta de plástico transparente duro, utilizado para crear el vacío en el tamiz.
- e) *Tamices para ensayo.* Los tamices deben ser contruidos utilizando un alambre tejido, de bronce o de acero inoxidable, montado sobre un bastidor sólido. No se recomienda tamices con malla electroformada debido al incremento del taponamiento y problemas en la limpieza, que los hace poco prácticos para usarlos en la mayoría de condiciones. Los tamices deben tener un diámetro aproximado de 20 cm y deben cumplir los requisitos de la NTE INEN 154. Se debe utilizar un collar flexible para asegurar un ajuste hermético entre el tamiz y el dispositivo para crear vacío.

NOTA 18. Dependiendo del material que está siendo tamizado, el taponamiento de las mallas puede ocurrir a diferentes tamaños. La práctica ha demostrado que el límite inferior para algunos hidratos es 45  $\mu\text{m}$  (tamiz No. 325). Otros hidratos y cal viva pulverizada pueden ser tamizados hasta 32  $\mu\text{m}$  (tamiz No 450). La caliza puede ser tamizada hasta 20  $\mu\text{m}$  (tamiz No. 635).

NOTA 19. El aparato descrito, disponible comercialmente, es vendido por the Alpine American Corporation of Natick, Massachusetts. Aunque la descripción del aparato corresponde a este equipo, disponible en el mercado, no se restringe el uso de otros equipos equivalentes, que pueden estar disponibles o pueden ser contruidos, siempre que cumpla los principios generales descritos en el alcance de este método de ensayo.

NOTA 20. La selección de la balanza tomando en cuenta la precisión, depende del tamaño de la muestra elegida y de los residuos retenidos y debe ser compatible con la precisión requerida. Por lo tanto, sería conveniente una balanza con una precisión de 0,01 g.

(Continúa)

#### 4.4.4.3 Procedimiento.

- a) Después de colocar el tamiz en la posición adecuada, pesar (con aproximación de 0,01 g) una muestra del material de ensayo y colocarla en el tamiz (ver notas 21 y 22).
- b) Colocar la tapa sobre el tamiz, configurar el tiempo a 6 minutos e iniciar el vacío (mantener el vacío de acuerdo a la recomendación del fabricante). Se puede remover cualquier material pegado a la tapa o al borde del tamiz mediante un ligero golpe con un mazo o un dispositivo similar (ver nota 23). Si se forman grumos, se los puede romper aparte con una brocha de cerdas suaves.
- c) Después del tamizado, limpiar el tamiz con una brocha de cerdas finas, cuidando de no dañar la malla y pesar el residuo con una aproximación de 0,01 g.

4.4.4.4 Cálculos. Calcular el porcentaje pasante de la siguiente manera:

$$\text{Porcentaje pasante} = \frac{S - R}{S} \times 100 \quad (5)$$

Donde:

S = Masa de la muestra, g, y  
R = Masa del residuo del tamizado, g

4.4.4.5 Precisión y desviación. No existen todavía suficientes datos analizados que permitan la preparación de una declaración sobre precisión y desviación para este método de ensayo.

#### 4.4.5 Análisis por tamizado húmedo de materiales agrícolas elaborados con cal

##### 4.4.5.1 Alcance:

- a) Este método de ensayo cubre la determinación de la graduación por lavado, de un material agrícola elaborado con cal. El material más fino que 75  $\mu\text{m}$  (tamiz No. 200) debe ser eliminado del árido por vía húmeda, antes del tamizado en seco de la fracción gruesa.
- b) Los resultados de este procedimiento se pueden utilizar para determinar el cumplimiento con una distribución de tamaño de partículas, en relación con las especificaciones aplicables para los materiales agrícolas elaborados con cal.
- c) Este método no puede ser utilizado para el análisis granulométrico de cal viva o materiales que contengan cal viva, debido a la reacción exotérmica con el agua.

##### 4.4.5.2 Significado y uso:

- a) El material más fino que 75  $\mu\text{m}$  (tamiz No. 200) puede ser separado completamente de las partículas más grandes de manera más eficiente, mediante tamizado húmedo antes que con tamizado seco. En la operación normal de tamizado seco en el árido fino, la fracción más fina puede adherirse a las fracciones más gruesas. Además, debido a cargas electrostáticas, el material fino puede adherirse a los tamices más gruesos. Al eliminar las fracciones más finas mediante el lavado, se evitan estos problemas. Por lo tanto, cuando se desea una determinación precisa de un material agrícola elaborado con cal, se debe utilizar este método de ensayo.

NOTA 21. La precisión del análisis por tamizado de productos con distribución de partículas de tamaño fino tales como cal hidratada tipo S, puede ser mejorada mediante la adición de polvo de grafito (tamaño nominal 20  $\mu\text{m}$  (tamiz No. 625)) a la muestra. Por cada 20 g de la muestra, se debe añadir 0,5 g de grafito.

NOTA 22. La cantidad de muestra y duración de tamizado dependen del tipo de material y de la graduación y por lo tanto deben ser adaptadas a las condiciones individuales. En general, cuanto mayor sea el tamaño de la muestra, es más representativa del material ensayado y los errores del ensayo son menos significativos, por lo tanto, los resultados son más exactos. Las masas de las muestras pueden variar desde 20 g para material más fino que 40  $\mu\text{m}$  hasta 50 g para los materiales de mayor tamaño y mayor peso.

NOTA 23. En la tapa del tamiz se pueden desarrollar frecuentemente cargas eléctricas estáticas (si es de plástico) causando que se mantenga una película posada del material que está siendo tamizado. Si el golpe no afloja el material, se puede utilizar una lámina con cara estática, disponible comercialmente, para limpiar la superficie cubierta antes de iniciar el ensayo.

(Continúa)

- b) Los resultados de este método de ensayo se incluyen en el cálculo de la graduación y la cantidad total de material más fino que  $75 \mu\text{m}$  mediante lavado, además de la obtenida por tamizado seco con la misma muestra, se informa con los resultados. Por lo general, la cantidad adicional de material más fino que  $75 \mu\text{m}$  obtenida en el proceso posterior de tamizado seco es pequeña. Si es grande, se debe comprobar la eficiencia de la operación de lavado; también puede ser un indicio de la degradación del material (ver nota 24).

#### 4.4.5.3 Equipos y materiales:

- a) *Balanza.* Que sea legible y con una precisión de 0,1 g o 0,1% de la carga de ensayo, el que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso.
- b) *Tamices.* Deben ser montados sobre un bastidor sólido, que sea de altura completa o extendido y construido de manera que se evite la pérdida de material durante el tamizado. Los tamices deben ser de igual diámetro y forma, para permitir ensamblarlos. Deben cumplir con los requisitos de la NTE INEN 154.
- c) *Bandeja de tamiz.* Una bandeja del mismo diámetro que los tamices.
- d) *Contenedor.* Una bandeja o recipiente de tamaño suficiente para contener la muestra cubierta con agua y para permitir la agitación vigorosa sin pérdida de cualquier parte de la muestra o del agua.
- e) *Estufa.* De tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de  $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 4.4.5.4 Muestreo:

- a) Puesto que el muestreo es tan importante como el ensayo, es fundamental que las muestras obtenidas sean representativas de los materiales que están siendo investigados. Por lo tanto, el muestreo debe llevarse a cabo de la forma más prolija posible. Se debe obtener una muestra grande, combinando incrementos de muestras.
- b) Utilizar los procedimientos descritos en las NTE INEN 251 o NTE INEN 695.
- c) Para reducir la muestra grande a la cantidad necesaria para el ensayo, se debe utilizar los cuarteadores mecánicos o el proceso de cuarteo. En ningún momento, un lote aleatorio puede tomarse como muestra grande para el ensayo.

#### 4.4.5.5 Procedimiento:

- a) Secar la muestra de ensayo hasta obtener masa constante, a una temperatura de  $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Determinar la masa con una aproximación de 0,1% de la masa de la muestra. La cantidad de muestra requerida para este ensayo debe estar entre 200 g y 400 g. Se debe obtener la muestra de ensayo como el resultado final de la reducción. No se permite la reducción a una masa exacta predeterminada.
- b) Después del secado y de la determinación de su masa, colocar la muestra en el recipiente y agregar suficiente agua para cubrirla. Agitar la muestra con el vigor suficiente para provocar la completa separación de todas las partículas más finas que  $75 \mu\text{m}$  (tamiz No. 200) adheridas a las partículas gruesas y para llevar el material fino a suspensión. Inmediatamente verter el agua de lavado que contiene los sólidos suspendidos y disueltos sobre la torre de tamices dispuestos con el tamiz más grueso en la parte superior (ver nota 25). Evitar, tanto como sea posible, la decantación de las partículas más gruesas de la muestra.

NOTA 24. No se excluye el uso de un aparato mecánico para realizar la operación de lavado, siempre que los resultados sean consistentes con los obtenidos por las operaciones manuales. El uso de algunos equipos mecánicos de lavado pueden provocar la degradación de algunas muestras.

NOTA 25. Se recomienda colocar un tamiz con malla de 1,18 mm (No. 16) o con un tamaño similar, sobre el tamiz No. 200, para protegerlo de la muestra.

(Continúa)

- c) Añadir una segunda carga de agua a la muestra en el recipiente, agitar y decantar como se indicó anteriormente. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado esté clara (ver nota 26).
- d) Regresar todo el material retenido en la serie de tamices ensamblados, con un enjuague de la muestra lavada. Secar el material lavado hasta obtener masa constante, a una temperatura de  $110 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  y determinar la masa con una aproximación de 0,1 g. Calcular la cantidad de material que pasa por el tamiz de  $75 \text{ }\mu\text{m}$  mediante lavado, de acuerdo con el literal a del numeral 4.4.5.6.
- e) Seleccionar los tamices de un tamaño adecuado o requerido por la especificación y los tamices necesarios para regular la cantidad de material entre las distintas mallas. Ensamblar los tamices en orden de abertura decreciente respecto al tamaño de la abertura, de arriba hacia abajo, sobre una bandeja de fondo. Asegurarse de colocar el tamiz de  $75 \text{ }\mu\text{m}$ , justo arriba de la bandeja. Colocar la muestra seca sobre el tamiz superior. Agitar la serie de tamices con fuerza o mediante el uso de un dispositivo mecánico, por un período suficiente para asegurar que la muestra ha sido adecuadamente tamizada (ver nota 27).
- f) La cantidad límite de material sobre un tamiz de 20 cm de diámetro, luego de la agitación, es aproximadamente 200 g, para que durante el ensayo todas las partículas tengan acceso al centro de la malla (ver nota 28). Si la cantidad retenida en un tamiz es superior a 200 g, se debe repetir el análisis granulométrico. Colocar un tamiz intermedio entre el tamiz sobrecargado y el colocado arriba en la serie.
- g) Registrar la masa del material de cada incremento de tamaño y de la bandeja de fondo, pesando en una balanza con una aproximación de 0,1 g (ver nota 29). Sumar las masas retenidas en todos los incrementos de tamaño y en la bandeja de tamiz del ensayo de tamizado seco. Si esta cantidad difiere de la masa seca de la muestra después del lavado en más de 0,3%, los resultados no deben ser utilizados para propósitos de aceptación.

#### 4.4.5.6 Cálculos.

- a) Calcular la cantidad del material que pasa el tamiz de  $75 \text{ }\mu\text{m}$ , mediante lavado, de la siguiente manera:

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100 \quad (6)$$

Donde:

- A = porcentaje de material más fino que  $75 \text{ }\mu\text{m}$ , mediante lavado,  
 B = masa seca original de la muestra, g, y  
 C = masa seca de la muestra después del lavado, g.

- b) Calcular la masa del material que pasa cada tamiz individual, de la siguiente manera:

- b.1) Si se ha lavado, añadir la masa del material más fino que  $75 \text{ }\mu\text{m}$ , mediante lavado (B - C, en el literal a del numeral 4.4.5.6) a la masa del material más fino que  $75 \text{ }\mu\text{m}$ , obtenido en el tamizado en seco.

NOTA 26. Si se utiliza un equipo mecánico de lavado, la carga de agua, agitación y decantación pueden ser una operación continua.

NOTA 27. Para considerar que el tamizado es adecuado, no debe pasar más del 1% del residuo en cualquier tamiz individual durante 1 minuto de tamizado continuo. Para una explicación más detallada, consultar la NTE INEN 696.

NOTA 28. Se puede utilizar un tamiz con diámetro de 30 cm, pero la cantidad de material retenido sobre el tamiz se limita a 6 kg/m<sup>2</sup>.

NOTA 29. Se puede utilizar una brocha de cerdas suaves para ayudar a remover el material de los tamices, pero en ningún momento se puede forzar el material a pasar a través de un tamiz.

(Continúa)

b.2) Calcular el porcentaje retenido en cada tamiz y en la bandeja, de la siguiente manera:

$$A = \frac{B}{C} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

- A = porcentaje de material retenido en cada tamiz,  
 B = masa seca de la muestra retenida en cada tamiz, g, y  
 C = masa seca original de la muestra, g.

b.3) Calcular el porcentaje retenido acumulado para cada tamiz, sumando el porcentaje retenido en ese tamiz y todos los tamices de mayor abertura.

b.4) Para cada tamiz, restar el porcentaje retenido acumulado de 100 para obtener el porcentaje pasante.

#### 4.4.5.7 Precisión y desviación:

a) La precisión de este método de ensayo se basa en un estudio multilaboratorio del comité C 110 – 01 del ASTM, realizado en el 2005. Cada uno de los doce laboratorios ensayaron cinco materiales diferentes. Cada "resultado de ensayo" fue una determinación individual del porcentaje de material pasante en cada tamiz particular. Los laboratorios participantes obtuvieron tres replicas de resultados para cada combinación de material y tamiz. Ver tablas 12 a 16 (ver nota 30).

**TABLA 12. Tamizado**

Tamaño de tamiz	Promedio $\bar{X}$	Desviación estándar de la repetibilidad $S_r$	Desviación estándar de la reproducibilidad $S_R$	Límite de la repetibilidad $r$	Límite de la reproducibilidad $R$
75 $\mu\text{m}$ (No. 200)	19,60	0,44	2,26	1,23	6,33
150 $\mu\text{m}$ (No. 100)	26,66	0,52	2,05	1,46	5,74
250 $\mu\text{m}$ (No. 60)	32,67	0,26	1,68	0,73	4,70
500 $\mu\text{m}$ (No. 35)	44,41	0,37	1,28	1,04	3,58
1,18 mm (No. 16)	58,60	0,60	1,09	1,68	3,05
2,36 mm (No. 8)	78,62	0,71	1,22	1,99	3,42
4,75 mm (No. 4)	97,99	0,38	0,47	1,06	1,32
9,5 mm ( $\frac{3}{8}$ "	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**TABLA 13. Extrafino**

Tamaño de tamiz	Promedio $\bar{X}$	Desviación estándar de la repetibilidad $S_r$	Desviación estándar de la reproducibilidad $S_R$	Límite de la repetibilidad $r$	Límite de la reproducibilidad $R$
75 $\mu\text{m}$ (No. 200)	99,94	0,12	0,13	0,34	0,36
150 $\mu\text{m}$ (No. 100)	99,97	0,07	0,08	0,20	0,22
250 $\mu\text{m}$ (No. 60)	99,99	0,06	0,05	0,17	0,14
500 $\mu\text{m}$ (No. 35)	99,99	0,04	0,04	0,11	0,11
1,18 mm (No. 16)	99,99	0,03	0,03	0,08	0,08
2,36 mm (No. 8)	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,75 mm (No. 4)	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,5 mm ( $\frac{3}{8}$ "	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

NOTA 30. Los datos de soporte se encuentran archivados en las oficinas centrales de ASTM.

(Continúa)

TABLA 14. Molido

Tamaño de tamiz	Promedio $\bar{X}$	Desviación estándar de la repetibilidad $S_r$	Desviación estándar de la reproducibilidad $S_R$	Límite de la repetibilidad $r$	Límite de la reproducibilidad $R$
75 $\mu\text{m}$ (No. 200)	73,75	4,39	4,56	12,29	12,77
150 $\mu\text{m}$ (No. 100)	92,67	4,69	4,67	13,13	13,08
250 $\mu\text{m}$ (No. 60)	98,19	0,76	0,83	2,13	2,32
500 $\mu\text{m}$ (No. 35)	99,33	0,13	0,19	0,36	0,53
1,18 mm (No. 16)	99,72	0,10	0,15	0,28	0,42
2,36 mm (No. 8)	99,91	0,09	0,09	0,25	0,25
4,75 mm (No. 4)	99,99	0,02	0,02	0,06	0,06
9,5 mm ( $\frac{3}{8}$ "	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

TABLA 15. Granulado

Tamaño de tamiz	Promedio $\bar{X}$	Desviación estándar de la repetibilidad $S_r$	Desviación estándar de la reproducibilidad $S_R$	Límite de la repetibilidad $r$	Límite de la reproducibilidad $R$
75 $\mu\text{m}$ (No. 200)	30,16	1,16	2,27	3,25	6,36
150 $\mu\text{m}$ (No. 100)	37,00	1,04	1,72	2,91	4,82
250 $\mu\text{m}$ (No. 60)	42,24	0,84	1,22	2,35	3,42
500 $\mu\text{m}$ (No. 35)	53,86	0,70	0,99	1,96	2,77
1,18 mm (No. 16)	67,00	0,70	1,05	1,96	2,94
2,36 mm (No. 8)	86,48	0,75	1,79	2,10	5,01
4,75 mm (No. 4)	98,67	0,66	0,63	1,85	1,76
9,5 mm ( $\frac{3}{8}$ "	99,91	0,30	0,29	0,84	0,81

TABLA 16. Pulverizado

Tamaño de tamiz	Promedio $\bar{X}$	Desviación estándar de la repetibilidad $S_r$	Desviación estándar de la reproducibilidad $S_R$	Límite de la repetibilidad $r$	Límite de la reproducibilidad $R$
75 $\mu\text{m}$ (No. 200)	87,97	0,88	1,23	2,46	3,44
150 $\mu\text{m}$ (No. 100)	97,96	0,42	2,98	1,18	8,34
250 $\mu\text{m}$ (No. 60)	99,77	0,19	0,27	0,53	0,76
500 $\mu\text{m}$ (No. 35)	99,98	0,05	0,07	0,14	0,20
1,18 mm (No. 16)	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,36 mm (No. 8)	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,75 mm (No. 4)	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,5 mm ( $\frac{3}{8}$ "	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00

a.1) *Repetibilidad.* Los resultados de dos ensayos obtenidos en un solo laboratorio, no deben ser considerados como equivalentes si difieren en más del valor "r" de ese material; "r" es el intervalo que representa la diferencia crítica entre dos resultados de ensayos realizados en el mismo material, por el mismo operador, utilizando el mismo equipo, en el mismo día y en el mismo laboratorio.

a.2) *Reproducibilidad.* Los resultados de dos ensayos no deben ser considerados como equivalentes si difieren en más del valor "R" de ese material; "R" es el intervalo que representa la diferencia entre dos resultados de ensayos en el mismo material, obtenidos por diferentes operadores, utilizando diferentes equipos, en diferentes laboratorios.

a.3) Cualquier criterio, de acuerdo con estas dos declaraciones, tienen una probabilidad aproximada del 95% de ser correcta.

(Continúa)

**b) Desviación:**

- c) En ningún momento del estudio hubo material de referencia adecuado aceptado para determinar la desviación para este método de ensayo, por lo tanto no se realiza ninguna declaración de desviación.
- d) Las declaraciones de precisión y desviación fueron determinadas por medio de un análisis estadístico de 1 440 resultados de ensayo, de un total de doce laboratorios, que analizaron cinco materiales.

**4.5 Determinación de la densidad****4.5.1 Determinación de la densidad suelta aparente de cal hidratada, cal viva pulverizada y caliza**

**4.5.1.1 Alcance.** Este método de ensayo determina la densidad suelta o no compactada, de cal hidratada, cal viva pulverizada y caliza. Proporciona una medida aproximada del volumen máximo ocupado por una masa determinada de cal hidratada, cal viva pulverizada y caliza.

**4.5.1.2 Equipos:**

- a) *Tamiz para harina.* Un tamiz para harina de 114 mm a 127 mm de tipo casero, operado manualmente o con manivela. Debe ser capaz de mantener al menos 300 g de cal hidratada o 500 g de roca caliza o cal viva. Las aberturas de la malla de alambre deben estar entre 0,8 mm y 1,5 mm.
- b) *Recipiente de medida para determinar la densidad.* Un recipiente cilíndrico de 400 cm<sup>3</sup>, como el que se describe en la sección de equipos de la NTE INEN 195.
- c) *Balanza.* Apropia para pesar por lo menos 800 g, con una aproximación de 0,1 g.
- d) *Cronómetro.*
- e) *Regleta.*

**4.5.1.3 Procedimiento:**

- a) Pesar el recipiente de medida vacío con una aproximación de 0,1 g y colocarlo en una mesa sólida, con un plato insertado debajo del recipiente para recoger el exceso de muestra que se derrame del recipiente. Llenar el tamiz para harina con una cantidad mayor de material que la necesaria para llenar el recipiente de medida. Arrancar el cronómetro y el aparato de agitado para facilitar el flujo del polvo dentro del recipiente. Sobrellenar el recipiente hasta que se forme un cono de material excedente.
- b) Después de 3 minutos, retirar con cuidado el exceso de polvo pasando el borde de una hoja de espátula paralelamente y en contacto con la parte superior del recipiente. Mover la espátula suavemente y mantener el nivel en todo momento para evitar aplastar o tirar la muestra fuera del recipiente.
- c) Después de que el recipiente está nivelado golpearlo ligeramente con el borde de la espátula para consolidar el polvo. Limpiar el exterior del recipiente con una tela que no deje pelusas o papel toalla. Evitar regar la muestra mientras se está transfiriendo el recipiente a la balanza para pesarla.
- d) Pesar el recipiente y la muestra con una aproximación de 0,1 g y determinar el peso de la muestra por diferencia.
- e) La densidad suelta del material se calcula y reporta en gramos por centímetro cúbico.

**4.5.1.4 Cálculos.** Calcular la densidad suelta de la siguiente manera:

$$D = \frac{M}{V} \quad (8)$$

*(Continúa)*

Donde:

D = densidad suelta,  
M = Masa de la muestra, g, y  
V = Volumen del recipiente, cm<sup>3</sup>.

#### 4.5.1.5 Precisión y desviación:

- a) *Precisión para un solo operador.* Se ha encontrado que la desviación estándar para un solo operador es de 0,0064 g/cm<sup>3</sup> (ver nota 31). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados apropiadamente por el mismo operador en el mismo material no deben diferir en más de 0,18 g/cm<sup>3</sup>.
- b) *Precisión multilaboratorio.* Se ha encontrado que la desviación estándar multilaboratorio es de 0,020 g/cm<sup>3</sup> (ver nota 31). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados apropiadamente por dos laboratorios diferentes en el mismo material no deben diferir en más de 0,058 g/cm<sup>3</sup>.
- c) Las declaraciones de precisión anteriores se basan en un programa de ensayos multilaboratorio para la determinación de la densidad suelta aparente de cal hidratada. No se realiza ninguna declaración de la precisión de este método respecto de otros materiales. Debido a la falta de una norma industrial reconocida, no se ha determinado la desviación de este método de ensayo.

#### 4.5.2 Determinación de la densidad compactada aparente de cal hidratada, cal viva pulverizada y caliza

4.5.2.1 *Alcance.* Este método de ensayo determina la densidad compactada o consolidada de cal hidratada, cal viva pulverizada y caliza. Está orientado para determinar el volumen mínimo ocupado por una masa dada de estos materiales.

#### 4.5.2.2 Equipos:

- a) *Probeta graduada.* De 100 cm<sup>3</sup> de capacidad.
- b) *Balanza.* Con una precisión de 0,1 g.

#### 4.5.2.3 Procedimiento:

- a) Pesar 25 g de muestra de material en polvo, con una aproximación de 0,1 g y transferirlo a la probeta graduada.
- b) Dejar sedimentar el polvo, golpeando suavemente la probeta sobre una superficie con amortiguamiento, para que la compactación se realice sin esponjamiento.
- c) Registrar el volumen de la cal después de cada 100 golpes y continuar golpeando hasta que el cambio de volumen compactado sea inferior a 0,5 cm<sup>3</sup>/100 golpes.
- d) Calcular la densidad en gramos por centímetro cúbico.

#### 4.5.2.4 Cálculos.

Calcular la densidad compactada, de la siguiente manera:

$$D = \frac{M}{V} \quad (9)$$

Donde:

D = densidad compactada,  
M = Masa de la muestra, g, y  
V = Volumen final de la muestra, cm<sup>3</sup>.

NOTA 31. Estos números representan los límites (1s) y (d2s) respectivamente, descritos en la norma ASTM C 670.

(Continúa)



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**Fecha de entrega:** 14/05/2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> John Jairo Jativa Mafla
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Química
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Químico
 Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza <b>Directora del Trabajo de Integración Curricular</b>
 Ing. Cesar Arturo Puentes Guijarro <b>Asesor del Trabajo de Integración Curricular</b>