

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.- ANTECEDENTES

Los suplementos alimentarios, son productos que se añaden a un régimen de alimentación que se ingesta por la boca, y por lo general, contiene uno o varios ingredientes alimentarios (vitaminas, minerales, hierbas, aminoácidos y enzimas). También se los denomina suplemento nutricional. Es decir, que los suplementos alimentarios; son aquellos productos elaborados o preparados especialmente para suplementar la dieta con fines saludables y contribuir a mantener o proteger estados fisiológicos característicos tales como adolescencia, embarazo, lactancia, climaterio y vejez (Quiminet, 2006).

Su composición podrá corresponder a un nutriente, mezcla de nutrientes y otros componentes presentes naturalmente en los alimentos, incluyendo compuestos tales como vitaminas, minerales, aminoácidos, lípidos, fibra dietética o sus fracciones (Quiminet, 2006).

Se podrán expender en diferentes formas, tales como polvos, líquidos, granulados, grageas, comprimidos, tabletas o cápsulas (Quiminet, 2006).

El calcio, es un macromineral muy importante para nuestro organismo; al igual que con otras sustancias, la ingestión de calcio debe mantenerse en equilibrio con las pérdidas netas del mismo a lo largo del tiempo. Si los niveles de calcio en nuestro cuerpo son inferiores a los valores normales puede producirse en nuestro organismo disfunciones de tipo fisiológico e incluso enfermedades graves como la osteoporosis. Por eso, es importante consumir suficiente calcio todos los días para poder mantener los niveles adecuados de dicho mineral en la sangre y en los huesos (Alba, 2008).

Se puede afirmar que la mayoría de las personas no obtiene una cantidad suficiente de calcio a través de su alimentación, por lo cual es conveniente recurrir al consumo de suplementos de calcio para asegurar la ingestión diaria adecuada (Alba, 2008).

El consumo de calcio recomendado para adultos, es de 1500 a 2000 miligramos diarios, según la edad, el sexo y determinadas circunstancias personales (por ejemplo, una mujer embarazada, que amamanta o que sigue una dieta podría requerir más calcio en su alimentación). Una porción de un producto lácteo aporta aproximadamente 300 miligramos de calcio, de modo que quienes no consumen el calcio suficiente a través de las fuentes alimenticias podrían necesitar suplementos de calcio para alcanzar la cantidad diaria recomendada (Alba, 2008).

El calcio no solamente sirve para formar y reforzar los huesos, también es usado por nuestro organismo para absorber el hierro, asimismo puede aliviar el síndrome premenstrual, aliviar a los pacientes de osteoporosis, libera energía en los alimentos, regula el corazón (las contracciones y la relajación), evita calambres en los músculos óseos, etc. Por estas y otras razones se puede constatar la importancia del calcio en la dieta del ser humano, la cáscara de huevo es desechada, siendo esta una gran fuente de calcio (Alba, 2008).

Este mineral es un elemento indispensable para el funcionamiento de todo el organismo. El nivel de calcio en la sangre depende en parte de la ingestión dietética la que es aproximadamente de (0,5 a 1) g/día; depende también del grado de absorción intestinal y de la eliminación renal. El factor principal en el mantenimiento de las concentraciones sanguíneas es el depósito óseo de calcio. Alrededor del 99% del calcio corporal se encuentra en el hueso y de este el 1% se intercambia libremente con el líquido extracelular (Alba, 2008).

La ingestión oral adecuada de calcio, es necesaria durante toda la vida para mantener la masa ósea pico y reducir el riesgo de osteoporosis; y osteomalacia subsecuentes. Los suplementos de calcio, se recomiendan para pacientes con alto riesgo de

osteoporosis y en aquellos con osteoporosis ya establecida. Otros beneficios posibles son la disminución del riesgo de cáncer mamario y de cáncer de colon mediante el empleo de suplementos de calcio. El suplemento de calcio, se puede administrar como citrato de calcio (Quiminet, 2006).

Según, (Quiminet, 2006), existen varios tipos de suplementos de calcio de venta libre, pero se propone al citrato de calcio a partir de cáscara de huevo como suplemento de calcio para consumo humano, tomando en cuenta las siguientes ventajas:

- Se trata de un suplemento económico.
- Origen natural (carbonato de calcio).
- Fácil ingestión.
- Seguro.

El citrato de calcio, se obtendrá adicionando ácido cítrico al carbonato cálcico, ya que en esta forma este suplemento es más absorbible por el organismo que el carbonato cálcico y además será apto para su consumo en forma directa o adicionada a otros alimentos (Quiminet, 2006)

El calcio nunca se encuentra solo en la naturaleza dado que forma compuestos, conocidos como sales de calcio. Por ejemplo, el calcio se combina con el carbón y el oxígeno, otros dos elementos, para formar el carbonato de calcio, que constituye el principal y mayoritario componente de la cáscara de huevo (Quiminet, 2006).

El huevo tiene denominación genérica, se entienden exclusivamente los de gallináceos. Los huevos de otras aves se designan indicando la especie de que proceden. Se caracterizan por ser uno de los alimentos con mayor valor nutritivo. Sería un alimento completo si no fuera porque no tiene gran cantidad de glúcidos (Quiminet, 2006).

1.2.- PRODUCCIÓN DE HUEVO DE CONSUMO

En la tabla 1-1, se muestra las cifras de producción de huevo de los dos departamentos productores más importantes del país como ser Cochabamba y Santa Cruz; para los años 1993-2009.

Tabla 1-1
Evolución de la producción de huevo de consumo en Bolivia

Año (1993–2009)	Producción expresada en miles de unidades			
	Cochabamba	Santa Cruz	Otros	Totales
1993	118820	356958	23789	499567
1994	155120	359603	25736	540459
1995	190100	408958	30000	629058
1996	198700	394024	30000	622724
1997	196100	443636	31000	670736
1998	205570	552033	31500	789103
1999	214650	572855	32880	820385
2000	206550	559881	34030	800461
2001	211940	572404	34850	819194
2002	214520	585200	35690	835410
2003	220960	554986	36760	812706
2004	228870	585757	37560	852187
2005	297820	592969	43660	934449
2006	327690	681120	45406	1054216
2007	362010	722396	54970	1139376
2008	364039	815174	92727	1217940
2009	399398	888146	166375	1453919

Fuente: ADA Santa Cruz y ADA Cochabamba, 2010

Como se puede observar en la tabla 1-1, la producción de huevo de consumo en el país tiende a incrementarse en función de los datos obtenidos desde el año 1993 hasta el 2009. Esta situación, nos da la certeza de que el porcentaje de cáscara correspondería un 10% del peso total del huevo, que se estaría desechando; como fuente potencial de suplemento cálcico y puede constituirse en un proyecto de investigación de mucho impacto para la región y del país.

1.3.- JUSTIFICACIÓN

- El calcio como micro elemento (mineral) es llamado así, debido a su elevado peso molecular y siendo el principal componente de nuestra estructura ósea (huesos). Por lo cual, su consumo en la dieta diaria; ya sea a través de los alimentos y/o derivados (cáscara de huevo), es indispensable para mantener nuestro organismo sano y fuerte para evitar deterioros a posterior en la masa esquelética.
- La diferencia que existe entre este producto y otros existentes en el mercado local, es que en este trabajo se pretende el aprovechamiento de recursos desechados del consumo alimentario, como son los cascarones de huevo. Los cuales podrían constituirse en un importante recurso orgánico de ser aprovechado para contribuir a la desnutrición, como suplemento cálcico en madres y niños.
- Con este tipo de proceso, se busca ofertar un producto natural y de calidad. Con la finalidad de obtener un suplemento mineral (calcio); exento de contaminantes químicos en su procesamiento, de manera que pueda ser consumido por las personas sin tener contraindicación médica para evitar la deficiencia de calcio en el organismo y combatir la desnutrición en la región.
- Actualmente, la cáscara de huevo no se utiliza con ningún fin, es solo porción de descarte del huevo como tal. Tomando en cuenta que se trata de una gran fuente natural de carbonato de calcio, se la utilizará como materia prima para la elaboración de citrato de calcio.
- Con este tipo de producto, se puede fortalecer la oferta en el mercado local de productos nutricionales, que permitan de alguna manera buscar reducir la

dependencia del país y de la región del consumo de productos importados, que no contribuyen al desarrollo productivo; ni menos al mejoramiento económico de los habitantes.

1.4.- OBJETIVOS

Los objetivos propuestos para el presente trabajo experimental son:

1.4.1.- OBJETIVO GENERAL

Obtener citrato de calcio a partir de la cáscara de huevo variedad de consumo, mediante la reacción química de neutralización ácido base; con la finalidad de elaborar un suplemento cálcico natural para contribuir a la nutrición humana.

1.4.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características físicas de la materia prima con la finalidad de establecer porción comestible y no comestible.
- Determinar las características microbiológicas de la materia prima para establecer su carga microbiana.
- Determinar el contenido de humedad de los cascarones, después del tratamiento térmico para establecer la humedad inicial.
- Determinar la variación del contenido de humedad en el secado de los cascarones de huevo, en función del tiempo.
- Determinar las características fisicoquímicas de la harina de cascarones, con la finalidad de conocer su composición.
- Realizar el diseño factorial en la etapa de dosificación para establecer la influencia de los factores.
- Determinar la variación del contenido de humedad en el secado del suplemento de calcio, en función del tiempo.

- Realizar la evaluación sensorial del producto, para establecer sus características organolépticas.
- Determinar las características fisicoquímicas del producto, con la finalidad de establecer su composición.
- Determinar las características microbiológicas del suplemento de calcio, para establecer su inocuidad.
- Realizar el balance de materia y energía en el proceso de obtención de suplemento de calcio, con la finalidad de cuantificar las entradas y salidas.

1.5.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA GENERAL

¿Cuál será la reacción química de neutralización ácido-base a ser utilizada, para obtener citrato de calcio a partir de cáscara de huevo variedad de consumo; con la finalidad de elaborar un suplemento cálcico natural para contribuir en la nutrición humana?

1.5.1.- PLANTEAMIENTO DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuáles serán las de las características físicas de la materia prima con la finalidad de establecer porción comestible y no comestible?
- ¿Cuáles serán las características microbiológicas de la materia prima para establecer su carga microbiana?
- ¿Cuál será el contenido de humedad de los cascarones, después del tratamiento térmico?
- ¿Cuál será la variación del contenido de humedad en el secado de los cascarones de huevo, en función del tiempo?
- ¿Cuáles serán las características fisicoquímicas de la harina de cascarones, con la finalidad de conocer su composición?
- ¿Cuál será la influencia de los factores de la etapa de dosificación en el diseño factorial?

- ¿Cual será la variación del contenido de humedad en el secado del suplemento de calcio, en función del tiempo?
- ¿Que atributos sensoriales deberán evaluarse para establecer las características organolépticas del producto?
- ¿Cuales serán las características fisicoquímicas del suplemento de calcio con la finalidad de establecer su composición.
- ¿Cuales serán las características microbiológicas del producto para establecer su inocuidad?
- Realizar en el proceso de obtención de suplemento de calcio, con la finalidad de cuantificar las entradas y salidas.
- ¿Cómo se cuantificará las corrientes de entrada y salida en el balance de materia y energía del proceso de obtención de suplemento de calcio?

1.6.- PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS GENERAL

Mediante la mezcla de harina (CaCO_3) de cáscara de huevo (10-20g), solución ácida (1-3% de ácido cítrico) a temperatura (21-70°C), se producirá la reacción química de neutralización ácido-base; para la formación del citrato de calcio (suplemento) natural para contribuir en la nutrición humana.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- HISTORIA DE LA GALLINA Y EL HUEVO

No parece haber duda sobre el origen de la especie del '*Gallus domesticus*' (que es el nombre científico de la gallina y el gallo), así como se desarrolló su expansión y domesticación por el resto del mundo; todos los estudiosos (genetistas, agrónomos, arqueólogos, etc.) coinciden en situar su primer hábitat en una zona comprendida entre el Sudeste asiático, la India oriental y las estribaciones de la cordillera del Himalaya, lugar donde, por cierto, aún hoy puede encontrarse en estado salvaje. Salvo algún tipo de gallina exótica, como puede ser la de Guinea o el urogallo, todas las que conocemos y utilizamos para nuestra alimentación proceden de la misma especie (Azcoytia, 2009)

Según (Azcoytia, 2009), sobre los huevos hace una interesante descripción donde dice que todos ellos tienen en medio de la yema una especie de gotita de sangre, que se consideraba que era el corazón del nuevo pollo porque, según opinión general, ese órgano es el primero en formarse en cualquier ser vivo.

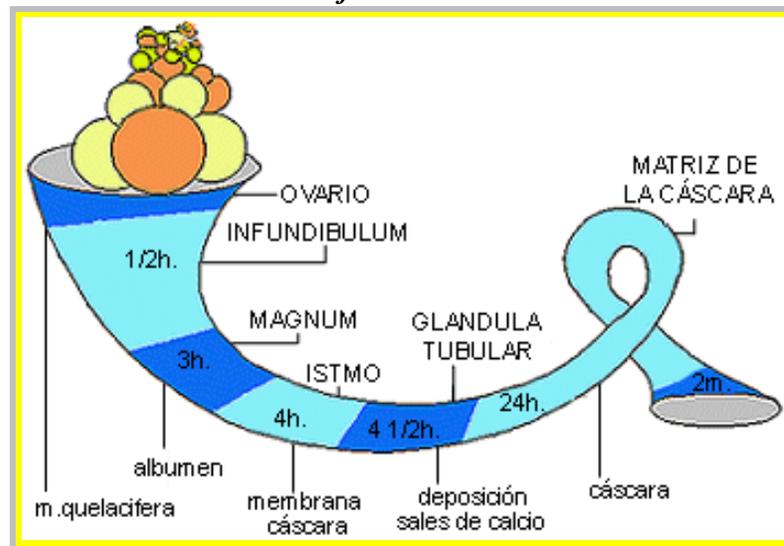
2.2.- ORIGEN DEL HUEVO

Para Samuel Butler decía que la gallina no es más que la forma que tiene el huevo de producir otro huevo. Lo cierto, es que hubo huevos (de otras especies) mucho antes que gallinas (McGee, 2007). El huevo está hecho, como la leche y las semillas, para ser comida, pues contienen los nutrientes que alimentarán a la nueva criatura en su primer desarrollo. Los peces ponían huevos hace mil millones de años, y cuando los reptiles salieron del agua hace 300 millones de años empezaron a poner unos huevos con una piel protectora que los protegía de la pérdida de humedad. Cien millones de años después los pájaros mejoraron el diseño, pues los huevos de ave tienen una capa dura e impermeable (McGee, 2007).

2.3.- PROCESO ESQUEMÁTICO DE LA FORMACIÓN DEL HUEVO

El proceso de formación del huevo, partes anatómicas, tiempo de permanencia en las mismas y formación de los distintos componentes. El proceso de formación del huevo, aún dentro de su complejidad, sigue los pasos que, esquemáticamente, se representan en la figura 2-1. De modo que en un período de 24 horas, el óvulo, que es la yema, va a prepararse y protegerse para su salida al exterior (DIPRODAL, 2010).

Figura 2-1
Proceso de formación del huevo



Fuente: DIPRODAL, 2010

La gallina pone huevos independientemente de que éstos sean fecundados por un gallo. En las estirpes modernas de gallinas, seleccionadas genéticamente para conseguir una alta producción de huevos, cada 25 horas, el óvulo, que es la yema, se desprende del ovario y en su caminar al exterior a través del oviducto va rodeándose de envolturas (clara y cáscara) especialmente diseñadas para su protección (DIPRODAL, 2010).

2.3.1.- PROCESO DE FORMACIÓN DEL HUEVO EN LA GALLINA

El proceso de formación (figura 2-2), es complejo y comprende desde la ovulación hasta la puesta del huevo. Para que el huevo cumpla los requisitos de calidad, los numerosos componentes que lo integran deben ser sintetizados correctamente y deben disponerse en la secuencia, cantidad y orientación adecuada. El éxito de este proceso de formación del huevo se basa en que las gallinas sean alimentadas con nutrientes de alta calidad y mantenidas en situación de confort ambiental y óptimo estado sanitario. En la figura de la página siguiente aparecen las distintas partes del aparato reproductor femenino del ave, indicando su implicación en la formación de la yema, el albumen o clara y la cáscara, y el tiempo necesario para el proceso (IEH, 2011).

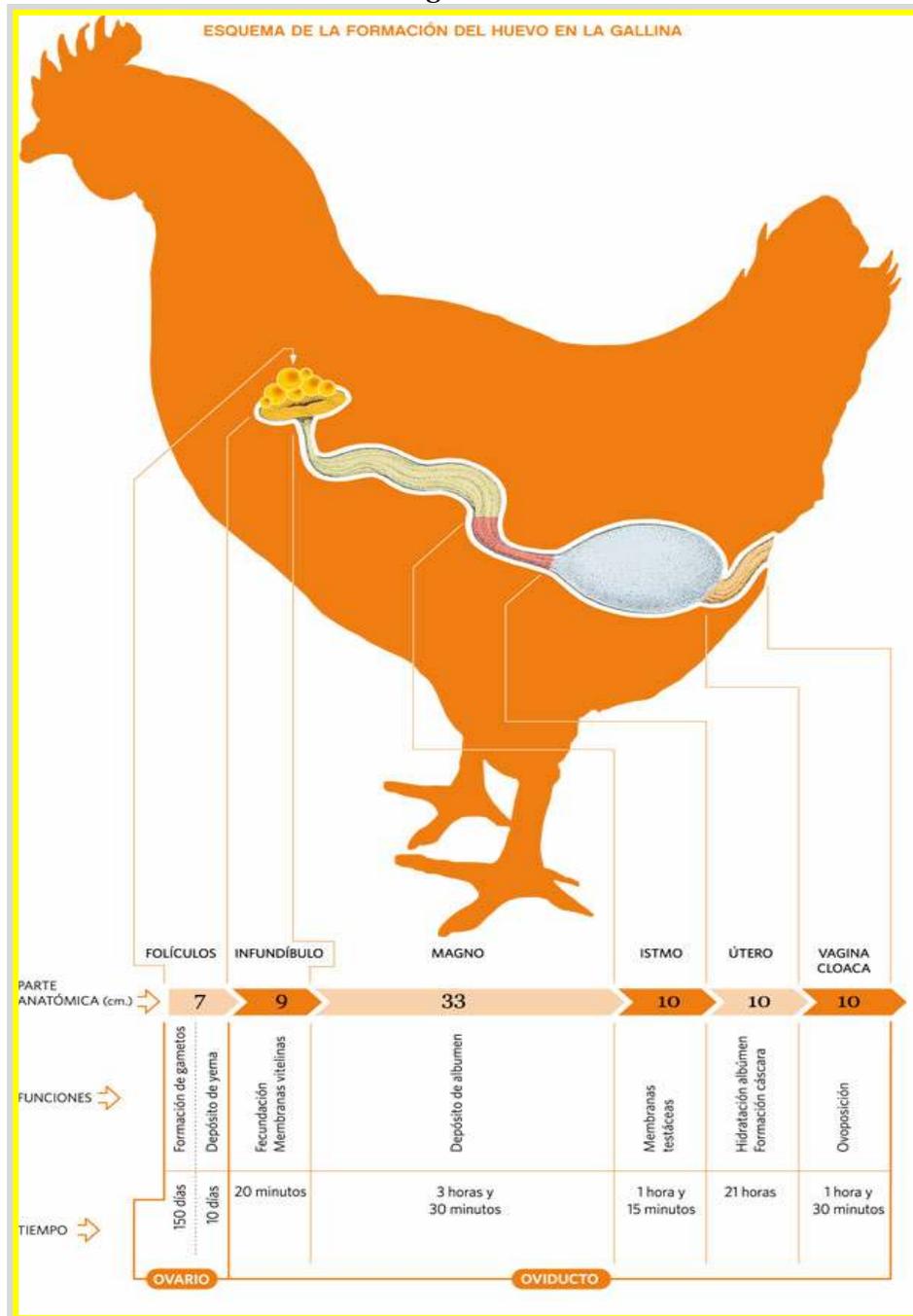
El huevo es esencial en el proceso de reproducción. La gallina selecta inicia la puesta de huevos hacia las 20 semanas de vida, tras un período de crecimiento y desarrollo adecuados que le permiten alcanzar la madurez sexual. El aparato reproductor de la hembra está formado por ovario y oviducto, resultando funcionales únicamente los izquierdos (IEH, 2011).

El ovario de la gallina contiene más de 4000 óvulos microscópicos. De ellos, solo un reducido número llegará a desarrollarse y constituir una yema. La yema se desarrolla a partir de un óvulo rodeado por una membrana folicular muy básularizada. La ovulación, es el momento en el que la yema de mayor tamaño se libera del ovario, mediante la ruptura de la membrana folicular, y es depositada en el infundíbulo, primera estructura del oviducto (IEH, 2011).

Una vez formado el huevo se producirá la expulsión a través de la cloaca o vagina. El huevo sale con fuerza gracias a las contracciones de la musculatura lisa que rodea a la mucosa. En algunas gallinas, 1 hora antes de la ovoposición, el huevo gira 180°C y sale primero la parte roma (IEH, 2011).

La puesta de huevos suele producirse entre las 7 y las 11 de la mañana. La ovulación puede iniciarse de 15 a 30 minutos después de que haya sido puesto el huevo anterior.

Figura 2-2

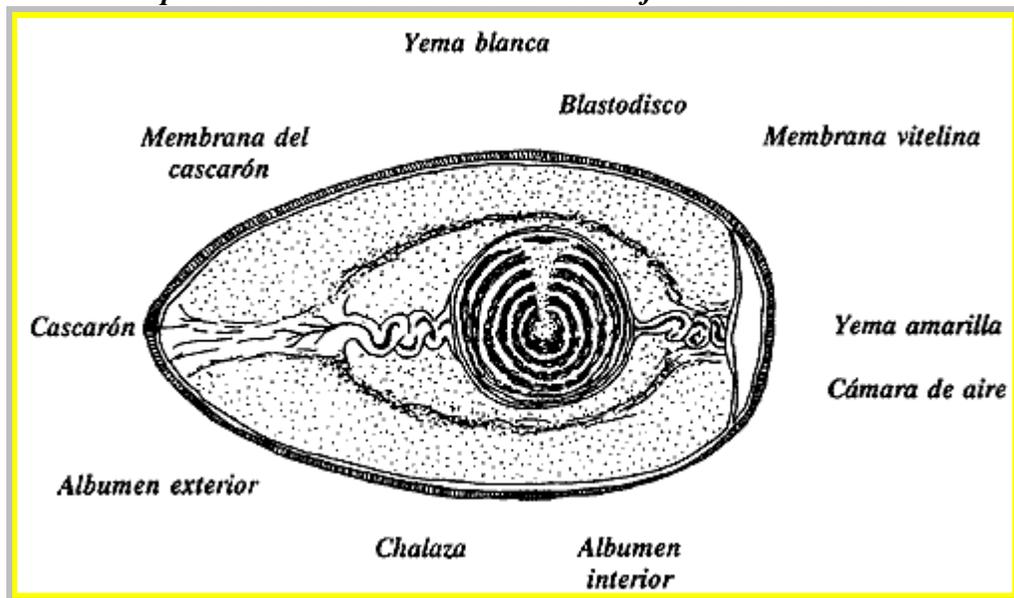


Fuente: IEH, 2011

2.4.- ESTRUCTURA DEL HUEVO

Antes de describir la estructura básica del huevo, debemos advertir que la anatomía del mismo nos permite reconocer anomalías e instigar terapéuticas apropiadas o adoptar las medidas preventivas para resolver problemas de muerte embrionaria y desórdenes reproductivos femeninos (Scribd, 2011). La estructura de todos los huevos es siempre la misma. Sólo difieren en el contenido dentro de ellos, podemos decir que se compone de las siguientes partes principales (figura 2-3): la cáscara y sus distintas membranas, cámara de aire, la albúmina, la yema y el disco germinal.

Figura 2-3
Esquema de un huevo mostrando sus diferentes estructuras



Fuente: Encarta, 2005

2.4.1.- LA CÁSCARA

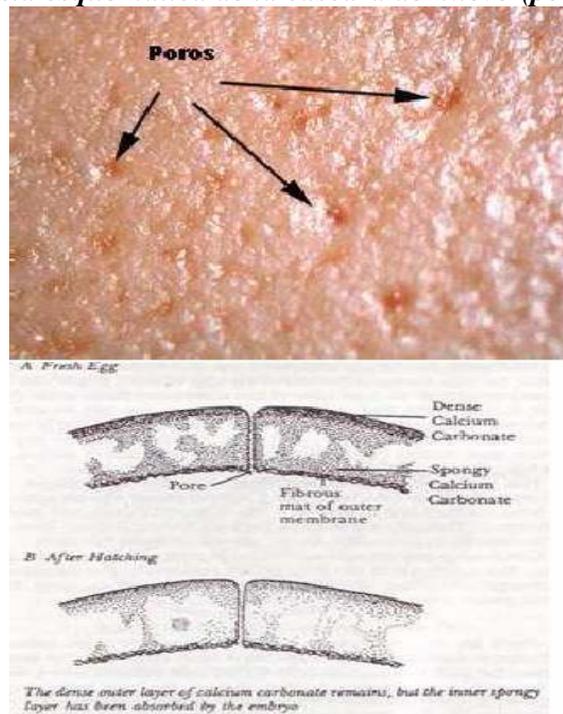
Una vez formado el huevo, tiene éste una forma irregular ovoide porque un extremo, es más ancho y más plano que el otro y su máximo diámetro se encuentre más cercano al extremo más ancho. Por tanto, si rodamos un huevo sobre una superficie plana, rodará describiendo un círculo. El grueso

de la cáscara, el tamaño, la forma y la pigmentación varía según la especie e incluso dentro de la misma especie pueden existir algunas diferencias, sobre todo en morfología y en tamaño (Scribd, 2011).

La cáscara del huevo, además de darle a éste una protección física, protege al embrión frente a microorganismos y controla la transpiración. Regula, pues, la evaporación y es la fuente de carbonato cálcico para la formación de los huesos del polluelo (Scribd, 2011).

La parte exterior es una capa delgada de material muy denso, mientras que la interior es una capa ligeramente más gruesa dispuesta como una esponja. Muchos agujeros o poros (figura 2-4) minúsculos perforan el grueso entero de la cáscara. Hay muchos más poros por milímetro cuadrado en el extremo más ancho del huevo que en la parte contraria. La función de estos poros es permitir el intercambio de gases respiratorios de dióxido de carbono y de oxígeno y controlar el índice de vaporación del agua (Scribd, 2011).

Figura 2-4
Vista esquemática de la cáscara de huevo (poros)



Las bacterias infecciosas pueden entrar a través de estos poros aunque la estructura mantiene a la mayoría de ellas fuera. El número mayor de bacterias puede entrar si la cáscara está mojada y sucia, y son normalmente suficientes para vencer los mecanismos de defensa de las membranas y albúmina. La porosidad de la cáscara varía bastante de un ave a otra. Así, los patos que depositan sus huevos en vegetación sobre el agua o en tierra pantanosa tienden a tener cáscaras muy porosas, mientras que aquellas aves que hacen sus nidos en cavidades rocosas u otros lugares secos, las tienen muy impermeables para impedir la excesiva evaporación del agua (Scribd, 2011). Está compuesta por el 97% extracto seco y principalmente por dos componentes de naturaleza orgánica: carbonato cálcico (95% aproximado) y proteínas (3-4) %.

2.4.2.- MEMBRANAS DE LA CÁSCARA Y CÁMARA DE AIRE

En la figura 2-5, se muestra las cámaras presente en la cáscara de huevo de gallina.

Figura 2-5
Membranas de la cáscara y cámara de aire del huevo



Hay dos membranas alrededor del huevo: la exterior que está firmemente a la cáscara (de hecho la cáscara se deposita en ella) y la interior que se sujeta a la porción densa de la albúmina (Scribd, 2011).

Cuando los volúmenes de la cáscara se encogen con la evaporación y la utilización del embrión, las dos membranas se separan en el extremo más ancho del huevo para formar la cámara de aire. Este espacio de aire es vital para el desarrollo del embrión: permite la evaporación dentro de una estructura rígida, es útil al polluelo para su movilidad y sirve para respirar cuando rompe la membrana interior antes de eclosionar (Scribd, 2011).

2.4.3.- ALBÚMINA

Podríamos definir la albúmina como la tienda que suministra al embrión todo lo necesario para su formación y crecimiento, al mismo tiempo que le proporciona un medio líquido durante todo este proceso. Tiene un 10% de proteína, el resto es agua; y se deposita alrededor de la yema en la parte superior del oviducto. Contiene vitaminas y minerales, mientras que la yema contiene la grasa soluble (Scribd, 2011). Dado que la albúmina no es una masa uniforme, podemos distinguir varias capas que la componen:

Capa media: Es viscosa y tiene una apariencia de gel blanquecino y es menos densa que la yema. Está adherida a la yema del huevo a través de las ligaduras suspensorias (Scribd, 2011).

Capas interna y externa: Estas capas claras son más finas que la capa media (Scribd, 2011).

La albúmina no es de consistencia uniforme. Una parte de ella es espesa; otra es delgada y acuosa. La albúmina espesa, además de ser utilizada como comida, tiene una función como ligadura suspensoria y amortiguador para la yema. La parte de la yema que está en contacto con el disco germinal es más ligera que el resto de la misma. Por esta razón siempre tiende a flotar en la cima. Las ligaduras suspensorias son las responsables de que la yema vaya girando y así el disco germinal esté siempre en contacto con nutrientes frescos que son esenciales para el embrión. De ahí la importancia del volteo durante la incubación (Scribd, 2011).

2.4.4.- LA YEMA

La yema también se forma en el ovario junto con la célula del germen femenino. Consiste en una bolsa esférica rodeada de la membrana vitelina. Su color puede ser más o menos amarillo dependiendo de la especie y de la dieta. Es una inmensa tienda de reservas de comida. Esta reserva de comida está compuesta de 50 % de agua, 30%grasa y 20% proteína. La reserva de comida no se usa durante la incubación pero es arrastrada a la cavidad abdominal del polluelo sólo antes de salir del cascarón y es necesaria como alimento durante los primeros días de su vida (Scribd, 2011).

Aquellos huevos de especies como faisanes, patos y gansos que tienen una yema relativamente grande comparada con el resto del huevo, los polluelos nacen desarrollados, activos y móviles. En cambio, aquellos huevos cuya yema es relativamente pequeña nacerán desnudos y desvalidos (Scribd, 2011).

2.4.5.- EL DISCO GERMINAL

En la figura 2-6, se muestra el disco germinal del huevo de gallina.

Figura 2-6
Vista esquemática del disco germinal



Es una mancha blanca pequeña, redonda, opaca, situada en la superficie de la yema del huevo. Está formado por la unión de una sola célula producida en el ovario de la hembra y otra célula de esperma producida por el macho. La célula hembra contiene la mitad del número total de cromosomas (información genética) y la célula masculina la otra mitad (Scribd, 2011).

2.5.- VARIEDADES DE HUEVOS

Según (La vida en casa, 2011), las variedades de huevos, se pueden clasificar en:

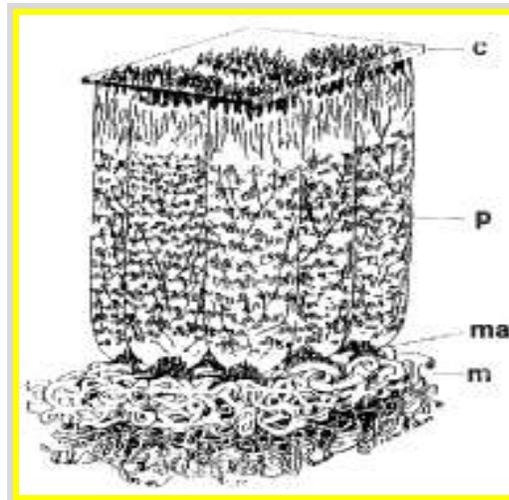
- **Huevo de pato:** más grande que el de gallina, de sabor más intenso y ligeramente oleoso. No se recomienda hervirlo, puesto que el tiempo necesario para hacerlo sería muy prolongado para eliminar las bacterias nocivas. Es muy apropiado para repostería.
- **Huevo de emú:** aproximadamente mide de diez a doce veces el tamaño de un huevo de gallina, con un contenido nutritivo similar. Proporciona excelentes tortillas.

- **Huevo de avestruz:** mayor que el anterior y con una cáscara muy gruesa. Tiene las mismas aplicaciones que el huevo de gallina.
- **Huevo de gallina:** el color de los huevos, blancos o rubios, sólo son indicativos de la clase de gallina que los puso, pero desde el punto de vista nutritivo son idénticos.
- **Huevo de codorniz:** mide aproximadamente una tercera parte del huevo de gallina. Suelen cocerse unos tres minutos y servirlos duros en ensaladas, gelatinas, macerados en vinagre o, fritos, en canapés.

2.6.- LA CÁSCARA DE HUEVO COMO “FUENTE DE CALCIO”

Estructuralmente la cáscara del huevo de aves está constituida por cuatro capas (figura 2-7), a saber: a) membrana de la cáscara, b) capa mamilar, c) capa en empalizada y d) cutícula. El remanente orgánico después de la desmineralización de la capa en empalizada constituye la matriz de la cáscara. Estos componentes, se depositan sucesivamente a manera de una línea de ensamblaje a medida que el huevo avanza a lo largo del oviducto (Fernández y Arias, 2000).

Figura 2-7
Esquema de la estructura de la cáscara del huevo



Fuente: Fernández y Arias, 2000

Donde: **m:** membranas de la cáscara; **ma:** mamillas; **p:** capa en empalizada; **c:** cutícula

2.6.1.- COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CÁSCARA DE HUEVO

La cáscara del huevo es una biocerámica compuesta de una fase orgánica y otra inorgánica. Químicamente está compuesta de 1,6% de agua, 95,1 % de minerales, de los cuales 93,6% corresponden a carbonato de calcio en forma de calcita, 0,8% de carbonato de magnesio y 0,73% de fosfato tricálcico, y finalmente 3,3% de materia orgánica. En ella ocurre nucleación heterogénea primaria y secundaria a partir de las mamilas (Arias et al., 1991 d). Estructuralmente la cáscara de huevo de aves está constituida por cuatro capas, a saber: a) membrana de la cáscara, b) capa mamilar, c) capa en empalizada y d) cutícula (figura 2-7). El remanente orgánico después de la desmineralización de la capa en empalizada constituye la matriz de la cáscara. Estos componentes se depositan sucesivamente a manera de una línea de ensamblaje a medida que el huevo avanza a lo largo del oviducto (Fernández y Arias, 2000).

2.6.2.- MICROFLORA INICIAL DEL HUEVO

El huevo recién puesto no suele estar contaminado, si bien algunos microorganismos pueden ganar acceso al mismo a través del oviducto este hecho es más corriente en los patos que en las gallinas. Los microorganismos más corrientemente presentes son los micrococos difteroides y los menos frecuentes son las salmonellas como la *S. pullorum*, *S. gallinarum*, *S. tipimurium*, *S. enteritidis* y *thompson*. Los microorganismos normalmente causantes de su alteración raras veces penetran por esta vía (Quiminet, 2006).

Los microorganismos presentes en el exterior del huevo proceden principalmente del tracto intestinal de las aves, el ponedero, el polvo, los alimentos, las cajas de embalaje y almacenamiento, las personas y otros seres vivos (Quiminet, 2006).

Si se pretende utilizar la cáscara para producir algún producto derivado, esta debe someterse a algún tratamiento que garantice su inocuidad, como por ejemplo la esterilización a alta temperatura, siendo esta una forma eficaz de eliminar microorganismos patógenos u otras contaminaciones microbiana (Quiminet, 2006).

2.7.- EL CARBONATO DE CALCIO EN LOS ALIMENTOS

Los minerales son sustancias sólidas presentes en la naturaleza, por lo tanto lo que conocemos como roca es simplemente un agregado de distintas clases de minerales (Alba, 2008).

En los seres humanos, los minerales desempeñan un importante papel en el buen funcionamiento tanto físico como mental del organismo. Las necesidades diarias de minerales son muy pequeñas, sin embargo, su deficiencia puede ser el principio de un sin fin de enfermedades (Alba, 2008).

El calcio, es el mineral más abundante en el organismo, dado que es un componente fundamental de los huesos. Es el cuarto componente del cuerpo, después del agua, las proteínas y las grasas. Se concentra casi en un 90% en huesos y en dientes (Alba, 2008).

En la naturaleza, las formaciones de rocas calizas están constituidas por carbonato de calcio; uno de los minerales más corrientes y difundidos en la superficie terrestre. El carbonato es un compuesto químico que contiene los elementos carbono (C) y oxígeno (O) en forma del grupo CO_3 , con un átomo de carbono y tres átomos de oxígeno; de los carbonatos, el más importante en abundancia y uso es el CaCO_3 , carbonato de calcio (Alba, 2008).

Aparece en enormes y extensas masas de rocas sedimentarias y metamórficas; por lo tanto, constituye una importante riqueza minera y tiene numerosas aplicaciones en la

industria. Comercialmente el carbonato de calcio (CaCO_3) se presenta en dos formas (Alba, 2008).

- ◆ Carbonato de calcio precipitado
- ◆ Carbonato de calcio micronizado

Químicamente, se trata del mismo producto, pero difieren en la tecnología aplicada al proceso de obtención y en las características del producto final (Alba, 2008).

El carbonato de calcio tiene mercados muy favorables, sin embargo el proceso de fabricación del carbonato precipitado necesita para su obtención plantas y equipos con tecnología de punta; por lo que su inversión es mayor que las requeridas por el carbonato de calcio micronizado (Alba, 2008).

2.7.1.- USOS DEL CARBONATO DE CALCIO EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

El carbonato de calcio, es una sal inorgánica e insoluble, con un alto contenido de calcio (40%) y se lo utiliza en los alimentos como un aditivo, porque se lo agrega intencionalmente con el objeto de provocar un cambio tecnológico. Un mismo aditivo puede cumplir varias funciones y el carbonato de calcio (Quiminet, 2006); puede emplearse como:

- **El carbonato de calcio como neutralizante:** para corregir el exceso de acidez natural o del proceso, su uso tiene como fin mejorar el color y sabor. En la industria lechera, interviene en varios procesos. Cuando la crema es separada de la leche, frecuentemente se añade carbonato de calcio para neutralizar o reducir la acidez, antes de la pasteurización, este mejora la eficacia del batido en la producción de mantequilla. También, se lo agrega en la alimentación de los novillos a corral (feedlot), para reducir la acidez y cubrir las deficiencias de calcio.

- **El carbonato de calcio como endurecedor:** imparte firmeza o mejora la textura. Antes del enlatado o la congelación de frutas o verduras tales como tomates, frutillas, papas congeladas, etc., se endurecen mediante la adición de una o más sales cálcicas; debido a que mantienen la estabilidad e integridad de los tejidos vegetales.
- **Como antiaglutinante/antihumectante:** en varios productos vegetales deshidratados (sal, cebolla, ajo) y en muchos ingredientes y mezclas que se encuentran molidos.
- También, se lo puede usar como **colorante** de superficie, como es el caso de la fabricación de chicles.
- En la industria panificadora, se lo aplica en la preparación de polvo para hornear. En la elaboración del pan, mejora la fermentación e incrementa el volumen. En harinas débiles, las sales cálcicas forman enlaces cruzados con las proteínas del gluten y aumentan la rigidez de la masa.

En la actualidad existe la posibilidad de consumir alimentos comunes fortificados con calcio, como un valor agregado al producto; tal es el caso de las bebidas como el agua mineral (carbonato de calcio 300 mg/l), leche de soja (donde una porción de 250 ml, posee 1200 mg/l de carbonato de calcio), y otros como yogures, cereales, quesos, etc., esto nos indica que existe una creciente demanda de sales cálcicas, para su uso como fortificador de productos alimenticios (Quiminet, 2006).

Otras aplicaciones industriales: Posee innumerables aplicaciones, es utilizado en la industria del caucho y plásticos, en la fabricación de jabones y detergentes, en industrias de pinturas, En términos generales, se utiliza como carga para papel (en sustitución del caolín) y plásticos (mejora la velocidad de extrusión y las propiedades mecánicas del plástico), en la industria química básica, en la de pinturas y adhesivos, en la del vidrio, cerámica, para cosmética y en la industria farmacéutica. En las industrias agropecuarias, se utiliza para alimentación animal y para el refinado de azúcar (Quiminet, 2006).

El carbonato cálcico compite ventajosamente con otros minerales utilizados para cargas, por su precio mucho más bajo que la sílice micronizada, el talco, el caolín, la mica y la wollastonita. Constantemente, se le abren nuevos campos de aplicación (Quiminet, 2006).

2.8.- ÁCIDO CÍTRICO

Se encuentra en el zumo del limón y en general en todos los frutos de género Citrus. Este se puede obtener en la industria a partir del zumo de limón, del cual primeramente se clarifica con albúmina y se neutraliza con carbonato de calcio, formándose el citrato de calcio. Su uso se emplea para la fabricación de limonadas, para fomentos calmantes, para gargarismos, para la fabricación de citratos, como por ejemplo citrato férrico amoniacal, el citrato de magnesio, citrato de calcio (Quiminet, 2006).

El ácido cítrico, es un sólido translucido o blanco. Se ofrece en forma granular; es inodoro, sabor ácido fuerte, fluorescente al aire seco; Cristaliza a partir de soluciones acuosas concentradas calientes en forma de grandes prismas rómbicos, con una molécula de agua, la cual pierde cuando se calienta a 100°C, fundiéndose al mismo tiempo (Quiminet, 2006).

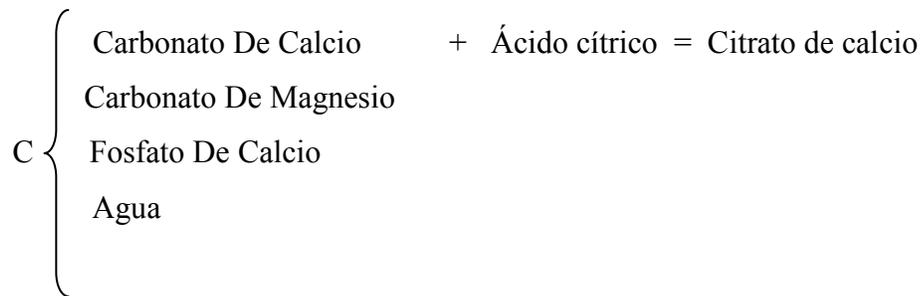
El ácido cítrico tiene un fuerte sabor ácido no desagradable. Este ácido también, se puede obtener por un proceso de fermentación. El ácido cítrico, se obtenía originalmente por extracción física del ácido del zumo de limón. Hoy en día la producción comercial de ácido cítrico, se realiza sobre todo por procesos de fermentación que utilizan dextrosa o melaza de caña de azúcar como materia prima y *Aspergillus niger* como organismo de fermentación (Quiminet, 2006).

La fermentación puede llevarse a cabo en tanques profundos (fermentación sumergida, que es el método más común) o en tanques no profundos (fermentación de

superficie). La fermentación produce ácido cítrico líquido que luego se purifica, concentra y cristaliza (Quiminet, 2006).

2.9.- SUPLEMENTO DE CÁLCIO (CITRATO CÁLCICO)

Como sabemos la cáscara de huevo está formada por un porcentaje mayor al 90% de carbonato de calcio, pero también contiene otros componentes como el carbonato de magnesio, fosfato de calcio y un bajo contenido de humedad, estos tres últimos componentes aunque se encuentran en menor proporción que el carbonato de calcio, también colaboran durante la reacción de obtención de citrato cálcico (Quiminet, 2006).



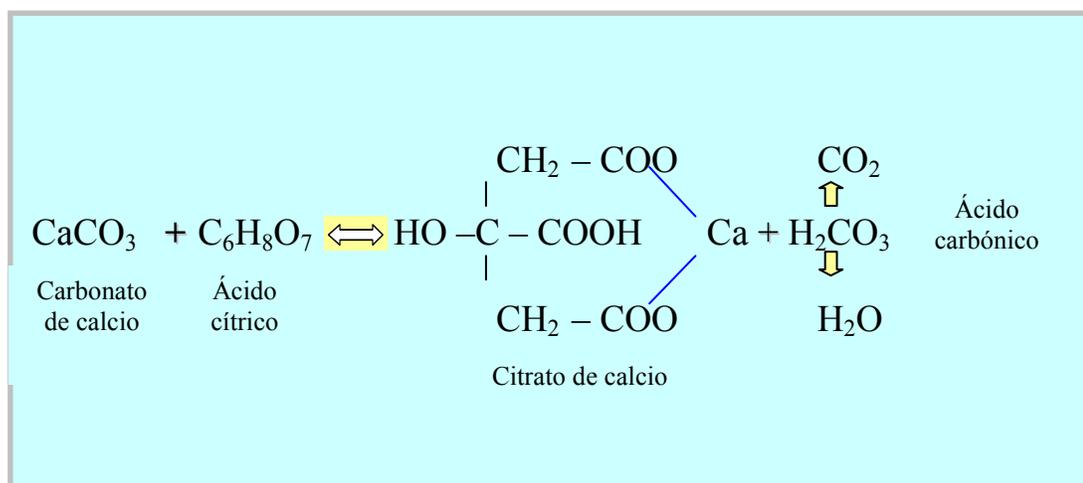
Donde C = Cáscara de huevo

El calcio lo obtenemos como citrato de calcio debido a que el CaCO_3 (carbonato de calcio) como viene en el cascarón de huevo, si se realiza su ingestión en forma directa, a la larga, puede formar cálculos renales según las últimas investigaciones biomédicas. Por otra parte como citrato de calcio, además de calcio, estaríamos administrando ácido cítrico (vitamina C); lo cual hace que sea más asimilable por el organismo y a la vez se facilita la eliminación de residuos (Quiminet, 2006).

2.9.1.- REACCIÓN QUÍMICA DE LA FORMACIÓN DEL CITRATO DE CALCIO

La reacción química de la formación del citrato de calcio, se lleva a cabo cuando el ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) es mezclado con el carbonato de calcio ($CaCO_3$), ambos reaccionan y se realiza la neutralización ácido-base dando como resultado el citrato cálcico ($C_6H_6CaO_7$); como se muestra en la reacción química 2-1 (neutralización ácido-base).

*Reacción química 2-1
Neutralización ácido-base de la obtención de citrato de calcio*



La reacción 2-1, nos muestra el proceso de neutralización ácido-base que se lleva a cabo para la obtención del citrato de calcio a nivel teórico.

En la tabla 2-1 se muestran los pesos atómicos de los compuestos químicos presentes en la reacción 2-1; los cuales fueron extraídos de la tabla periódica (García, 2011) de los elementos químicos.

Tabla 2-1
Pesos atómicos de los compuestos de la reacción 2-1

Compuesto	Fórmula	Peso Atómico
Carbonato de calcio	CaCO ₃	100
Ácido cítrico	C ₆ H ₈ O ₇	192
Citrato de calcio	CaH ₆ C ₆ O ₇	230
Ácido carbónico	H ₂ CO ₃	62

Fuente: García, 2011

Según la definición de Lewis, una base es una sustancia que puede suministrar un par de electrones para formar un enlace covalente. De este modo un ácido, es un aceptor de pares de electrones (Morrison y Boyd, 1990).

Tomando en cuenta esta definición, podemos observar que la reacción química 2-1 el carbonato de calcio forma enlaces covalentes con el ácido cítrico, al suministrarle los electrones del calcio; y el ácido cítrico al aceptarlos, se neutraliza transformándose en la nueva base citrato de calcio; mientras que los hidrógenos desprendidos del ácido cítrico formaron el nuevo ácido que es el ácido carbónico el cual se disocia en agua y dióxido de carbono.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1.- INTRODUCCIÓN

El trabajo experimental de la obtención de “Citrato de Calcio”, se realizó en los predios de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, ubicada en la ciudad de Tarija (Bolivia). Donde el proceso de tratamiento térmico y secado de cascarones de huevo y citrato de calcio, se llevó a cabo en el Laboratorio de Secado, dependiente del Departamento de Biotecnología y Ciencias de los Alimentos de la Facultad de Ciencias y Tecnología.

El proceso de molienda y tamizado de cascarones, se llevó a cabo en el CEANID (Centro de Análisis Investigación y Desarrollo) y la operación de envasado, se realizó en el Laboratorio Taller de Alimentos ambos dependientes de la Facultad de Ciencias y Tecnología.

3.2.- DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

Para la realización del presente trabajo de investigación, se utilizaron los siguientes equipos que se describen a continuación:

3.2.1.- SECADOR DE BANDEJAS

Se utilizó un secador de Bandejas (figura 3-1) para efectuar el secado de los cascarones de huevo y del citrato de calcio. Este equipo, se encuentra en el Laboratorio de Secado, dependiente de la Carrera de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ciencias y Tecnología.

Este equipo de secado consta de una Cámara de secado la cual consiste en una cabina de secado con puerta de cierre hermético con capacidad para cinco bandejas, las cuales se cargan y descargan de forma manual. Las bandejas del secador están construidas con bastidores de madera de 66cm de cada lado y malla milimétrica de

propileno de 2mm de abertura, sobre la cual se dispone la materia que se pretende secar. Sus especificaciones técnicas de detallan a continuación:

Modelo: 1231 SZ-1

Marca: ESZTERGON

Tensión: 220 V.

Potencia: 2200 W.

Industria: UNGARA

Capacidad: 6 Bandejas de 66 cm * 66 cm.

Tamaño: Altura: 116 cm. Ancho: 67 cm.

Profundidad: 70 cm.

Figura 3-1
Secador de bandejas



3.2.2.- GENERADOR DE AIRE

Se utilizó el generador de aire conectado por la parte inferior derecha al equipo de secado (figura 3-2), este generador de aire es eléctrico con flujo de aire regulable; se utilizó para remover el aire húmedo en la cabina de secado e introducir aire frío al secador, este equipo se encuentra en el Laboratorio de Secado de la Carrera de Ingeniería de Alimentos. Sus especificaciones técnicas son:

Marca: INTERMED
Tensión: 220 V
Frecuencia: 50-60Hz.
Corriente de absorción: 0,45 A
Velocidad de aire 12 m/s máxima
Abertura de salida: 75 mm
Dimensiones: 160 mm * 430 mm
Peso 4300 Kg.

Figura 3-2
Generador de aire



3.2.3.- ANEMÓMETRO

Este equipo (figura 3-3), que consta de aspas aladas que permiten medir la velocidad de la corriente de aire frío a la entrada del secador, con un margen de velocidad de 0,12 a 6,00 m/s. La lectura de velocidad de aire, se coloca el anemómetro junto al orificio de entrada de aire de ventilación de la parte interior inferior derecha del secador. El equipo pertenece al Laboratorio de Física de la Facultad de Ciencias y Tecnología. Sus especificaciones técnicas, se detallan a continuación:

Marca: GEORG ROSENMULLER
Tipo: 6 a
Escala: 0,12 – 6,00 m/s

Figura 3-3
Anemómetro



3.2.4.- PSICRÓMETRO

El psicrómetro consta de dos termómetros de bulbo de mercurio, uno de ellos está cubierto por una muselina empapada en agua, para medir la temperatura de bulbo húmedo y otro termómetro para medir la temperatura de bulbo seco, con una precisión máxima de 1% de humedad relativa y temperatura del aire en el margen de -30 hasta 45°C con separaciones de $0,2^{\circ}\text{C}$. El psicrómetro, se encuentra en el Laboratorio de Secado dependiente de la Carrera de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ciencias y Tecnología. Sus especificaciones técnicas son:

Marca: KRAKOW

Tipo: TZ-9 N° 30178

Escala del Termómetro Bulbo Seco: -34°C a 50°C

Escala Termómetro Bulbo Húmedo: -36°C a 50°C

*Figura 3-4
Psicrómetro*



3.2.5.- BALANZA ANALÍTICA DIGITAL

Se utilizó la balanza analítica (figura 3-5), para realizar los controles de peso en el proceso de secado; así como el peso de materias primas y reactivos químicos. Para realizar la parte experimental del trabajo de investigación, con la finalidad de tomar datos de variación de pesos y pérdidas del producto seco y materia prima. Este equipo, se encuentra en el Taller los Alimentos de la Facultad de Ciencias y Tecnología. Sus especificaciones técnicas son:

Marca: METLER TOLEDO
Precisión: 0,01 g
Modelo: PB 1502
Capacidad Máxima: 1510 g
Capacidad de error: 0,10 g
Industria: SWITZERLAND

Figura 3-5
Balanza analítica digital



3.2.6.- SELLADORA ELÉCTRICA

En la figura 3-6, se muestra la selladora eléctrica manual que se utilizó para sellar las bolsas de polipropileno con muestras materia prima (cascarones) y producto (citrate de calcio). La misma pertenece al Laboratorio Taller de Alimentos de la Carrera de Ingeniería de Alimentos. Sus especificaciones técnicas son:

Marca: ELECTRÓNICA / H 2001
Termonizador: (0–10) °C
Industria: Boliviana
Potencia: 250 W

Figura 3-6
Selladora eléctrica



3.2.7.- MOLINO DE CEREALES

Se utilizó este equipo (figura 3-7), para realizar la molienda de la materia prima (cascarones de huevo); el mismo se encuentra en el CEANID (Centro de Análisis

Investigación y Desarrollo) de la Facultad de Ciencias y Tecnología. Sus especificaciones son las siguientes:

Marca: PERTEN Instruments

S/N: 030176

Tipo: 120

Voltaje: 220-240 V

Frecuencia: 50 Hz

Potencia: 750 W

RPM: 2700

Industria: Finlandesa

Figura 3-7
Molino de cereales



3.2.8.- COCINA

Se utilizó una cocina a gas licuado (GLP), marca DAKO (Amazona) de dos hornallas para realizar el tratamiento térmico inicial de las muestras de cascarones de huevo, la misma se encuentra en el Laboratorio Taller de Alimentos de la Carrera de Ingeniería de Alimentos.

Figura 3-8
Cocina



3.3.- MATERIAL DE LABORATORIO

Los materiales de laboratorio que se utilizaron en el proceso de obtención de citrato de calcio a partir de cáscara de huevo, se detallan en la tabla 3-1.

Tabla 3-1
Materiales de laboratorio

Materiales	Cantidad	Capacidad	Tipo de material
Termómetro	2	Escala (0 - 100)° C	Vidrio (bulbo de Hg)
Tamices	2	Malla #50 y #80	Inoxidable
Cronómetro	1	Pequeño	Plástico
Fuentes	2	Medianas	Inoxidable
Colador	2	Grande y mediano	Inoxidable
Olla	1	Mediana	Inoxidable
Jarra graduada	2	1 litro	Plástico
Platos	2	Medianos	Vidrio
Cuchara	2	Mediana	Inoxidable
Cepillo	2	Mediano y pequeño	Plástico
Cucharilla	1	Pequeña	Inoxidable
Espátula	1	Mediana	Inoxidable
Vaso precipitado	8	500/250 ml	Vidrio
Vidrio reloj	5	100mm	Vidrio
Envases	15	Pequeña	Bolsa de polipropileno

Fuente: Elaboración propia

3.4.- ADITIVOS E INSUMOS

Para realizar el siguiente trabajo de investigación (obtención de citrato de calcio), se utilizaron los siguientes reactivos:

- Agua destilada
- Ácido cítrico sólido

3.5.- DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE CITRATO DE CALCIO

En los siguientes diagramas de flujo, se puede observar las etapas del proceso de “**Obtención de Citrato de Calcio**”. En la figura 3-9a, se muestra el proceso de obtención de harina de cascarones de huevo y la figura 3-9b, se muestra el proceso de dosificación y mezcla para la obtención de citrato de calcio.

Figura 3-9a
Diagrama de proceso de obtención de harina de cáscara de huevo

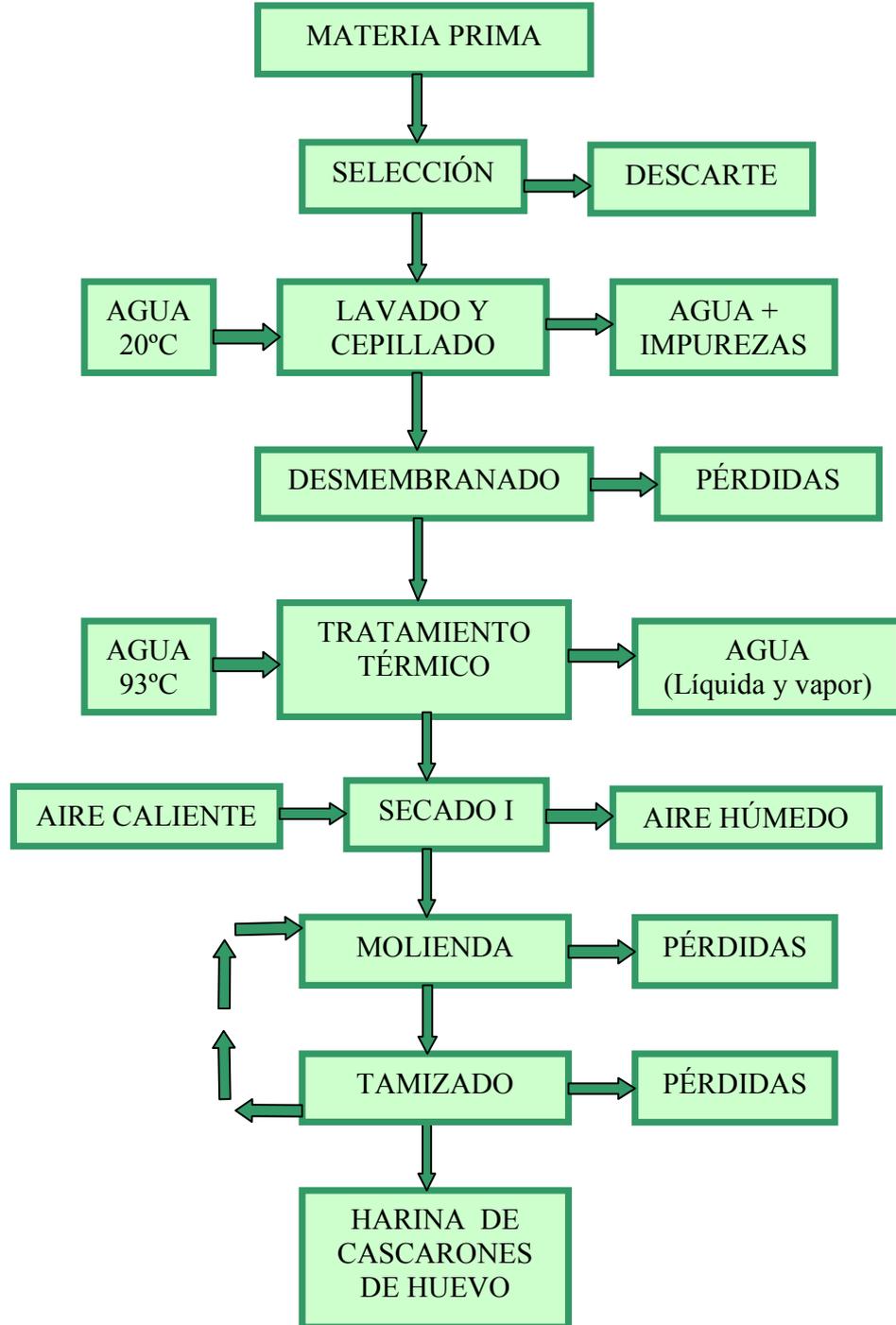
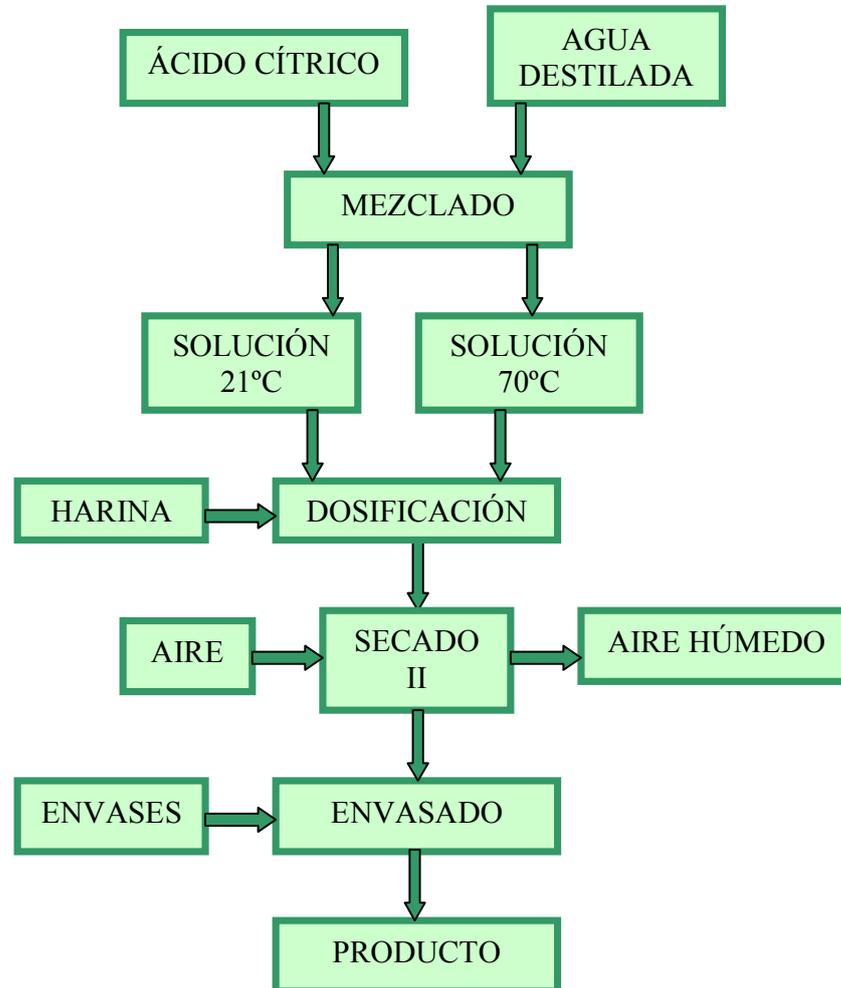


Figura 3-9b
Diagrama de proceso de obtención de citrato de calcio



3.5.1.- MATERIA PRIMA

La materia prima utilizada en el presente trabajo de investigación fueron los cascarones de huevo proveniente de huevos de consumo de origen local. Como se trata de un producto de descarte, no es posible encontrarlo en los mercados de nuestra ciudad, por esta razón la materia prima fue adquirida directamente de las panaderías y/o pastelerías más importantes de nuestro departamento. En la figura 3-10 se observa los cascarones de huevo.

Figura 3-10
Cascarones de huevo de consumo



3.5.2.- SELECCIÓN

El proceso de la selección de la materia prima, se realizó en forma manual, observando y descartando cascarones con visibles adherencias de impurezas.

3.5.3.- LAVADO Y CEPILLADO

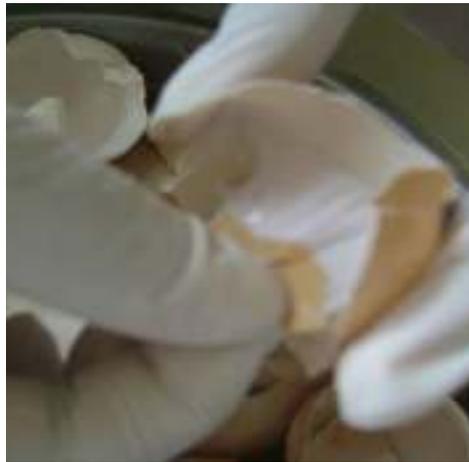
El proceso de lavado, se hizo manualmente colocando cascarones de huevo; previamente seleccionados, debajo del grifo de agua potable y dejando caer el chorro de agua de forma continua sobre ellos con la finalidad de eliminar sustancias indeseables como ser tierra, polvo, etc.

Con la finalidad de acondicionar de forma óptima la materia prima, se realizó una segunda etapa, con la ayuda de un cepillo de plástico pequeño y bajo el chorro de agua potable, donde se realizó el cepillado de los cascarones de forma minuciosa en todas las caras superior de los cascarones, con el fin de eliminar restos de sangre y heces de gallina de las partes porosas.

3.5.4.- DESMEMBRANADO

Se procedió a quitar la membrana que cubre la parte interna del cascarón, ya que la misma tiene un bajo nivel de digestibilidad y al no retirarla, solo causaría deficiencias en la calidad del producto que se pretende obtener. Este proceso, se realizó de forma manual como se observa en la figura 3-11.

*Figura 3-11
Desmembrado de cascarones*



3.5.5.- TRATAMIENTO TÉRMICO

Este procedimiento, se realizó sometiendo los cascarones limpios de huevo acondicionados en agua a temperatura de ebullición (93°C) en una olla mediana de acero inoxidable y por un tiempo entre (2 y 5) minutos. Este proceso, se realizó en forma rigurosa para garantizar la eliminación total de la posible contaminación microbiana presente en las muestras (figura 3-12). Posteriormente, se retiran las muestras del agua caliente y se las enfría inmediatamente con agua potable a temperatura ambiente.

Figura 3-12
Tratamiento térmico



3.5.6.- SECADO I

El secado I, se realizó en el secador de bandejas (figura 3-13); donde primero, se procedió al encendido del equipo sin carga alguna y se espera durante una hora aproximadamente hasta que logre alcanzar la temperatura deseada. Posteriormente, se coloca el generador de aire en el equipo y se procede a cargar las bandejas preparadas con los cascarones de huevo húmedos y se realiza los controles periódicos de peso y temperatura (bulbo seco y bulbo húmedo).

El proceso de secado I de la materia prima, se realiza con el objetivo de optimizar resultados en la molienda; y termina cuando las muestras mantienen peso constante de pasada a pesada; es decir. Aproximadamente del 8% de humedad.

Figura 3-13
Secado de materia prima



3.5.7.- MOLIENDA

Una vez obtenida la materia prima seca, se procedió a realizar una reducción de tamaño de forma manual para facilitar el proceso de molienda. Inmediatamente, se llevó a cabo la molienda en el molino de cereales del CEANID, donde se registraron los controles de peso y tiempo de molienda, hasta obtener un tamaño de partículas que atravesase el tamiz malla #80.

3.5.8.- TAMIZADO

Posteriormente a la molienda, se procedió al tamizado de la harina de cascarones de huevo, esto con la ayuda de tamices de apertura de malla en la serie de Tyler #50 y #80. Utilizándose ambos tamices para facilitar la operación; ya que la preparación del citrato de calcio, se llevó a cabo solo con las partículas que lograron atravesar el tamiz de de malla #80 y el resto se hizo recircular nuevamente por el molino, hasta obtener un tamaño de 0,25 mm de partícula.

Una vez finalizadas las operaciones de molienda y tamizado, se procedió a envasar el polvo o harina obtenida, en bolsas de polipropileno para mantener su inocuidad y evitar la absorción de la humedad del medio ambiente.

3.5.9.- DOSIFICACIÓN

En esta etapa, se pesa la cantidad determinada de harina de cascarones, en vasos de precipitado de 250ml de capacidad; seguidamente se añade la solución de ácido cítrico y se procede al mezclado. Donde se controla el tiempo de reacción; es decir, se registra el tiempo desde el inicio hasta el final de la efervescencia producida en la mezcla, la cual corresponde a la formación del citrato cálcico.

La dosificación de la solución ácida, se realiza variando las concentraciones de ácido cítrico y a diferentes temperaturas de solución, así como también se varía la cantidad de harina de cascarones de huevo.

3.5.9.1.- PREPARACIÓN DE SOLUCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO

Se preparó esta solución en dos diferentes concentraciones (1 y 3%) tomando como referencia la acidez del jugo de limón (aproximadamente pH =2); la solución fue preparada con ácido cítrico (sólido) y agua destilada, luego la mezcla se dividió en dos partes, donde una de las cuales fue calentada hasta 70°C y la otra parte de la solución, se mantuvo a temperatura ambiente 21°C.

3.5.10.- SECADO II

Al igual que en el secado I de los cascarones de huevo, el secado II del citrato de calcio, se realizó en el secador de bandejas; donde primeramente, se procedió al encendido del equipo sin carga alguna y se esperó durante una hora aproximadamente hasta alcanzar la temperatura deseada de 70°C.

Posteriormente, se colocó el generador de aire en la parte lateral e inferior de la cámara de secado con la finalidad de introducir aire frío; regulándose la velocidad promedio de circulación a 2,89m/s. Se realizó, también el control de temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo del aire.

Se dispuso las muestras de suplemento de calcio húmedo, en recipientes de vidrio pirex (figura 3-14) y colocadas de forma ordenada sobre las bandejas del secador. Se controló periódicamente la variación de peso en las muestras de citrato de calcio cada 10 minutos; utilizando una balanza analítica, hasta peso constante.

Figura 3-14
Secado de citrato de calcio



3.5.11.- ENVASADO

Terminado el proceso de secado, se realiza el envasado (figura 3-15), donde el producto es enfriado en las mismas bandejas a temperatura ambiente; para luego ser envasado en bolsas de polipropileno de 60 micrones de espesor y sellados utilizando una selladora eléctrica.

Figura 3-15
Envasado del citrato de calcio



3.6.- METODOLOGÍA DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS

La metodología utilizada para la obtención de los resultados experimentales en el presente trabajo, se detallan a continuación:

3.6.1.- PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MATERIA PRIMA

En la tabla 3-2, se muestra las propiedades físicas que tiene la materia prima “cascarones de huevo”.

Tabla 3-2
Propiedades físicas de la materia prima

Parámetros	Unidades
Peso de cascarones	g
Porción comestible	%
Porción no comestible	%

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.-ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTO

En la tabla 3-3, se muestran los métodos y normas que se utilizaron para la determinación de las propiedades fisicoquímicas de la materia prima (cascarones de huevo de consumo). Los análisis, se realizaron en el Centro de Análisis Investigación

y Desarrollo (CEANID); dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla 3-3
Técnicas para determinar las propiedades fisicoquímicas de materia prima

Parámetros	Norma	Método	Unidad
Calcio total *	-	Fotométrico	%
Humedad	NB 028-88	Gravimétrico	%

Fuente: CEANID, 2010; * Laboratorio de servicios de UMSS

En la tabla 3-4, se puede observar las técnicas y parámetros utilizados para determinar las propiedades fisicoquímicas del producto (citrato de calcio).

Tabla 3-4
Técnicas para determinar las propiedades fisicoquímicas del producto

Parámetros	Norma	Método	Unidad
Calcio total*	-	Fotométrico	%
Humedad	NB 028-88	Gravimétrico	%
Fibra	CEANID	Gravimétrico	%
Grasa	NB 103 – 75	-	%
Acidez (ácido cítrico)	NB 454 – 81	Volumétrico	%

Fuente: CEANID, 2011; * Laboratorio de servicios de UMSS

3.6.3.-ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTO

En la tabla 3-5, se muestra las técnicas y parámetros que se utilizaron para determinar el análisis microbiológico de la materia prima y del producto. Los análisis, se realizaron en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID); dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

Tabla 3-5
Técnicas para determinar los análisis microbiológicos de materia prima y producto

Parámetro	Norma	Métodos	Unidad
Coliformes totales	NB 32005	Tubos múltiples	NMP/g
Salmonellas	NB 32007	-	p/a/25g

Fuente: CEANID, 2010

3.7.- EVALUACION SENSORIAL

El análisis sensorial, es una disciplina científica que se utiliza para medir, analizar e interpretar las características que tienen los alimentos que son percibidas a través de los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído (Ureña-D'Arrigo, 1999). Los test de evaluación sensorial, se agrupan en dos categorías: métodos de respuesta objetiva y métodos de respuesta subjetiva (Antezana, 2001).

3.7.1.- EVALUACION SENSORIAL DEL PRODUCTO TERMINADO

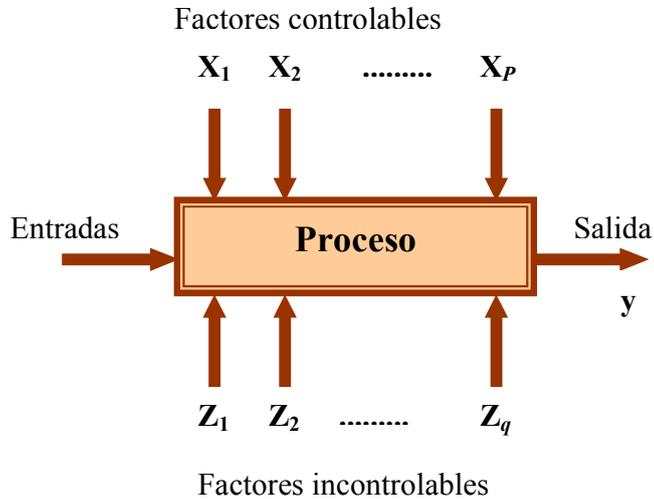
Para realizar la evaluación sensorial del producto terminado, se presentaron a diez jueces no entrenados ocho muestras del suplemento de calcio a partir de cáscara de huevo (citrato de calcio), para evaluar los atributos organolépticos de aroma, sabor, textura y presentación mediante el test de aceptabilidad (Anexo C), en escala hedónica.

3.8.- DISEÑO EXPERIMENTAL

Un experimento diseñado, es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida (Montgomery, 1991).

El proceso o sistema bajo estudio puede representarse por medio del modelo de la figura 3-16. Suele ser posible visualizar el proceso como una combinación de maquinas, métodos, personas y otros recursos que transforman alguna entrada (a menudo un material) en una salida que tiene una o más respuestas observables. Algunas de las variables del proceso X_1, X_2, \dots, X_p son controlables; mientras que otras Z_1, Z_2, \dots, Z_q son incontrolables (Montgomery, 1991).

Figura 3-16
Modelo general de un proceso o sistema



3.8.1.- DISEÑO FACTORIAL

Por diseño factorial, se entiende aquel en el que se investigan todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores en cada ensayo completo o réplica del experimento. Por ejemplo, si existen a niveles del factor A y b niveles del factor B, entonces cada réplica del experimento contiene todas las ab combinaciones de los tratamientos. A menudo, se dice que los factores están *cruzados* cuando estos se arreglan en un diseño factorial (Montgomery, 1991).

El efecto de un factor, se define como el cambio en la respuesta producida por un cambio en el nivel del factor. Con frecuencia, éste se conoce como *efecto principal* porque se refiere a los factores de interés de primordial del experimento (Montgomery, 1991).

El diseño factorial 2^k , es ampliamente utilizado en trabajos de investigación y los niveles o tratamientos de este tipo de diseño factorial pueden ser cuantitativo o cualitativo.

$$2^k$$

[Ecuación 3-1]

Donde:

2 = Número de niveles o tratamientos

k = Número de factores o variables

3.8.1.1.- DISEÑO FACTORIAL APLICADO EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL CITRATO DE CALCIO

En la tabla 3-6, se muestran los niveles de variación de las variables del proceso de obtención de citrato de calcio a partir de cascarones de huevo de consumo.

Tabla 3-6

Niveles de variación de las variables de la obtención de citrato de calcio

Variab les	Nivel inferior	Nivel superior
Temperatura T(°C) de solución de ácido cítrico	21 (-)	70 (+)
Concentración C (%) de solución de ácido cítrico	1 (-)	3 (+)
Cantidad M (g) de harina de cascarones de huevo	10 (-)	20 (+)

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 3-6, se presentan las tres variables y dos niveles de variación para un diseño experimental de 2^3 .

Siendo posibles ocho combinaciones en el plano cartesiano:

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ repeticiones/prueba}$$

En la tabla 3-7 se muestra la disposición matricial de las variables, para el diseño factorial 2^3 que fue planteado para el proceso de obtención de suplemento de calcio; la cual está compuesta por dos repeticiones de las variables, cantidad de harina de cascarones, concentración de solución ácida y temperatura de solución ácida donde el volumen de la misma se mantiene constante. Donde la variable respuesta del diseño, es el tiempo de reacción.

Tabla 3-7

Disposición matricial de variables para la obtención de suplemento de calcio

Muestras	M (g)	C (%)	T (°C)	Repetición I	Repetición II	Y_i
1	M ₁	C ₁	T ₁	M ₁₁ C ₁₁ T ₁₁	M ₁₂ C ₁₂ T ₁₂	Y ₁
2			T ₂	M ₁₁ C ₁₁ T ₂₁	M ₁₂ C ₁₂ T ₂₂	Y ₂
3		C ₂	T ₁	M ₁₁ C ₂₁ T ₁₁	M ₁₂ C ₂₂ T ₁₂	Y ₃
4			T ₂	M ₁₁ C ₂₁ T ₂₁	M ₁₂ C ₂₂ T ₂₂	Y ₄
5	M ₂	C ₁	T ₁	M ₂₁ C ₁₁ T ₁₁	M ₂₂ C ₁₂ T ₁₂	Y ₅
6			T ₂	M ₂₁ C ₂₁ T ₂₁	M ₂₂ C ₂₂ T ₂₂	Y ₆
7		C ₂	T ₁	M ₂₁ C ₁₁ T ₁₁	M ₂₂ C ₁₂ T ₁₂	Y ₇
8			T ₂	M ₂₁ C ₂₁ T ₂₁	M ₂₂ C ₂₂ T ₂₂	Y ₈

Fuente: Elaboración propia

Donde: Y_i (tiempo de reacción)

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.- CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA

Las características de la materia prima, se realizaron tomando en cuenta las propiedades físicas y microbiológicas de los cascarones de huevo, variedad huevo de consumo.

4.1.1.- CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MATERIA PRIMA

Para establecer las características físicas de la materia prima en la parte experimental del trabajo, se tomaron al azar quince unidades de una muestra de 30 huevos, variedad de consumo, se pesó el cascaron de cada huevo de las quince unidades de huevos enteros elegidos al azar.

El promedio de los resultados es la suma de todos los valores observados dividido por el número de observaciones. Se tomó en cuenta la expresión matemática (4-1), citada por (Murillo, 1990).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad \text{[Ecuación 4-1]}$$

Donde:

\bar{X} = Valor promedio de los resultados

X_1, X_n = Son los valores observados de las muestras

n = Número de observaciones (Muestras)

En la tabla 4-1, se muestran las características físicas de los cascarones de huevo, variedad huevo de consumo, obtenidas en la caracterización de la materia prima.

Tabla 4-1
Características físicas de cascarones de huevo de consumo

Muestras	Peso 1 (g)	Peso 2 (g)	Peso 3 (g)	PNC (%)	PC (%)
1	7,21	1,38	5,83	19,14	80,85
2	7,74	1,56	6,18	20,15	79,85
3	6,89	1,49	5,40	21,62	78,38
4	7,30	1,51	5,79	20,68	79,32
5	8,57	1,86	6,71	21,70	78,30
6	8,01	1,73	6,28	21,59	78,41
7	7,13	1,32	5,81	18,51	81,49
8	8,46	1,59	6,87	18,79	81,21
9	7,19	1,36	5,83	18,91	81,09
10	7,37	1,48	5,89	20,08	79,92
11	7,53	1,05	6,48	13,94	86,06
12	7,09	1,51	5,58	21,29	78,71
13	8,57	1,88	6,69	21,93	78,07
14	7,55	1,15	6,40	15,23	84,77
15	8,32	1,76	6,56	21,15	78,85
\bar{x}	7,66	1,51	6,15	19,70	80,29

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- Peso 1 = Peso de cascarón completo (g)
- Peso 2 = Peso de la membrana del cascarón (g)
- Peso 3 = Peso de cascarón sin membrana (g)
- PNC = Porción No Comestible del cascarón (%)
- PC = Porción Comestible del cascarón (%)

En la tabla 4-2, se pueden observar rangos mínimos y máximos de las propiedades físicas de los cascarones de huevo; como también los resultados promedios que arrojó la tabla 4-1.

Tabla 4-2
Rangos y promedios de las características físicas de los cascarones de huevo

Características físicas	Rangos		Promedio
	Mínimo	Máximo	
Peso 1 (g)	6,89	8,57	7,66
Peso 2 (g)	1,05	1,88	1,51
Peso 3 (g)	5,40	6,87	6,15
PNC (%)	13,94	21,93	19,70
PC (%)	78,07	86,06	80,29

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4-2, se muestra los resultados promedios de las propiedades físicas de los cascarones de huevo de consumo: peso de cascarón (completo) 7,66g; peso de membrana del cascarón 1,51g; peso de cascarón (sin membrana) 6,15g; porción no comestible 19,7% y porción comestible de 80,29%.

4.1.2.- CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DE LA MATERIA PRIMA

En la tabla 4-3, se muestran los resultados obtenidos (Anexo A) de los análisis microbiológicos de la materia prima (cascarones de huevo de consumo); extraídos del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID); dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

Tabla 4-3
Características microbiológicas de la materia prima (cascarones de huevo)

Parámetros	Valores	Unidad
	M ₃	
Coliformes totales	2,4 x 10 ⁷	NMP/g
Salmonellas	Ausencia	p/a/25g

Fuente: CEANID, 2010

La muestra analizada no fue tratada térmicamente, es decir los cascarones de huevo no fueron sometidos a temperatura de ebullición y los resultados que se muestran en la tabla 4-3, donde M₃ es el código de la muestra sin tratamiento; la carga microbiana

inicial de la materia prima es de $2,4 \times 10^7$ NMP/g de coliformes totales; y ausencia de salmonellas.

4.2.- CARACTERÍSTICAS DEL PROCESAMIENTO DE LOS CASCARONES PARA OBTENCIÓN DE HARINA

La caracterización del proceso de obtención de harina a partir de cascarones de huevo, variedad huevo de consumo; se llevó a cabo tomando en cuenta los aspectos que se detallan a continuación.

4.2.1.- DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS CASCARONES

Para determinar el tiempo más adecuado de tratamiento térmico de los cascarones de huevo, se tomó en cuenta; los resultados de los análisis microbiológicos que se muestran en la tabla 4-4 (Anexo A), realizados a las muestras de cascarones (M_1 y M_2), las cuales se pre-trataron térmicamente a condiciones diferentes. Los resultados fueron extraídos del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID); dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

Considerando las muestras pre-tratadas con las siguientes condiciones:

M_1 = Muestra 1 (tratada térmicamente a 93°C por 2min)

M_2 = Muestra 2 (tratada térmicamente a 93°C por 5min)

Tabla 4-4
Características microbiológicas de cascarones tratados térmicamente

Parámetros	Valores		Unidad
	M_1 (2min a 93°C)	M_2 (5min a 93°C)	
Coliformes totales	$1,6 \times 10^7$	$4,6 \times 10^4$	NMP/g
Salmonellas	Ausencia	Ausencia	p/a/25g

Fuente: CEANID, 2010

En la tabla 4-4 se observa que las muestras analizadas contienen $1,6 \times 10^7$ y $4,6 \times 10^4$ NMP/g de coliformes totales respectivamente y no existe presencia de salmonellas en ninguna de las dos muestras. Según los resultados, se puede diferenciar que la muestra 1 (tratada térmicamente 2min) contiene mayor contenido de coliformes totales que la muestra 2 (tratada térmicamente 5min). Tomando en cuenta estos resultados, se determinó que el tiempo más adecuado de tratamiento térmico para los cascarones de huevo por un tiempo de 5min.

4.2.2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS CASCARONES

En la tabla 4-5, se muestran los resultados obtenidos (Anexo A) de los análisis del contenido de humedad; realizados a los cascarones de huevo de variedad huevo de consumo, a los cuales previamente fueron sometidos a distintos tiempos de tratamiento térmico (tabla 4-5). Los análisis, se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID); dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

Tabla 4-5
Contenido de humedad de los cascarones tratados térmicamente

Componentes	Condición	Temperatura (°C)	Valores	Unidad
M ₂ Humedad	Sumergida en agua a ebullición (2 min)	93°C	8,16	%
M ₃ Humedad	Sumergida en agua a ebullición (5 min)	93°C	10,9	%

Fuente: CEANID, 2010

Donde: M₂ = Muestra 2 M₃ = Muestra 3

Como se puede observar en la tabla 4-5, las muestras de cascarones de huevo analizadas presentan un contenido de humedad del 8,16%(tratada térmicamente durante 2 minutos) y 10,9% (tratada térmicamente durante 5 minutos). Tomando en cuenta los resultados que arrojaron del análisis del contenido de humedad de los cascarones; aunque parezca contradictorio, se determinó someter a secado a la

muestra 3; la cual presenta mayor contenido de humedad que la muestra 2, se tomó esta decisión, debido a razones de tipo microbiológico; ya que la muestra 3 contiene 10,9% de humedad, presenta una carga microbiana mucho más baja (tabla 4-4) que la muestra 2. Esto significa que el contenido de humedad de los cascarones, después del tratamiento térmico es de 10,9%, como la mejor opción para el proceso de secado.

4.2.3.- PROCESO DE SECADO DE LOS CASCARONES

A nivel experimental el secado de los cascarones, se llevó a cabo manteniendo constantes las condiciones: temperatura de secado de 70°C y velocidad promedio de aire de 2,89 m/s (Anexo B). La masa inicial de las muestras a ser deshidratadas, fue de 40g de cascarones pre-tratados por cada una de las cuatro bandejas de 18cm de diámetro.

4.2.3.1.-VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS CASCARONES DE HUEVO DE CONSUMO

Con la expresión matemática (ecuación 4-2) citada por (Contreras, 2005), se realizó el cálculo del contenido de humedad en base seca [X (kg/kg)] de los resultados experimentales obtenidos durante el proceso de secado de los cascarones de huevo (tabla 4-6; tabla 4-7; tabla 48; y tabla 4-9).

$$X = \frac{m_i - m_{ss}}{m_{ss}} \quad \text{[Ecuación 4-2]}$$

Donde:

X = Contenido de humedad en base seca (kg agua/kg sólido seco)

m_i = Masa de muestra de cascarones (kg)

m_{ss} = Masa de sólido seco de cascarones (kg)

Para realizar los cálculos del contenido de humedad en base seca, se consideró el contenido de humedad de la materia prima de 10,9% (tabla 4-5). Donde el porcentaje de sólido seco, se puede estimar a través de la ecuación 4-3.

$$\%Sólido\ seco = 100\% - 10,9\%$$

[Ecuación 4-3]

$$\%Sólido\ seco = 89,1\%$$

A nivel experimental, se procedió al proceso de secado de los cascarones en cuatro bandejas pequeñas (cuyo diámetro fue de 18cm de lado); compuestas por 40g de cascarones húmedos de huevo de consumo, para ser secados en secador a condiciones de T= 70°C, ventilación de 2,89 m/s constantes para todo el proceso.

En la tabla 4-6, se muestran los resultados promedio de la variación de la pérdida de agua, contenido de humedad en base seca de los cascarones de huevo, variedad de consumo de la muestra 1.

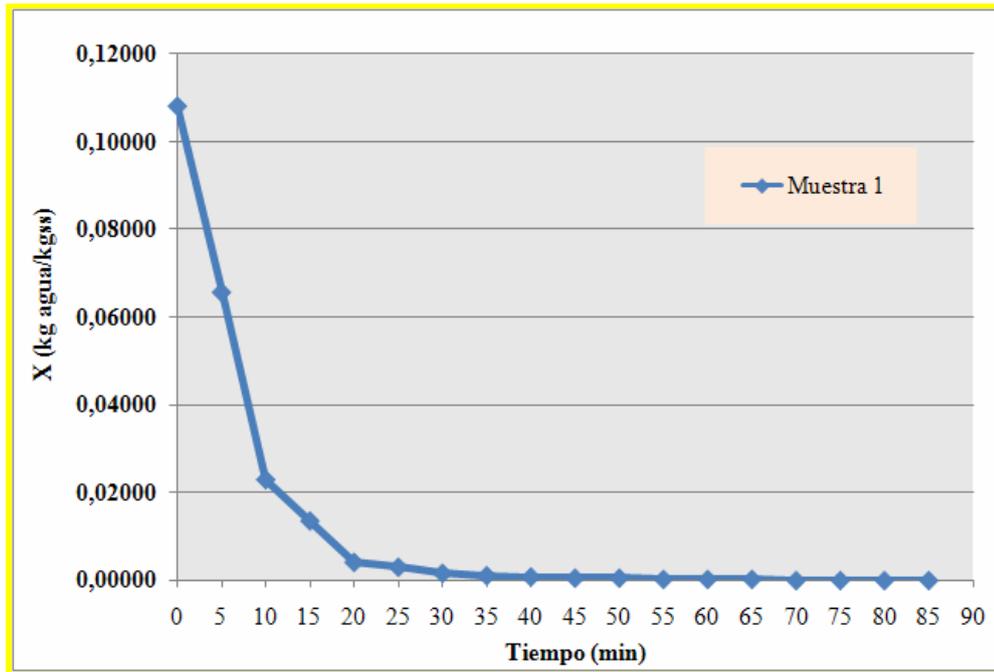
Tabla 4-6
Variación del contenido de humedad de la muestra 1

Corridas	Tiempo (min)	Masa (g)	Tiempo (horas)	Masa (kg)	X (kg/kg)	Dx/dt
1	0	40,00	0	0,04000	0,1080332	0,5087911
2	5	38,47	0,0833	0,03847	0,0656509	0,5121164
3	10	36,93	0,1666	0,03693	0,0229916	0,112928
4	15	36,59	0,2500	0,03659	0,0135734	0,1130648
5	20	36,25	0,3333	0,03625	0,0041551	0,0133025
6	25	36,21	0,4166	0,03621	0,003047	0,0166067
7	30	36,16	0,5000	0,03616	0,001662	0,0066506
8	35	36,14	0,5833	0,03614	0,001108	0,0033253
9	40	36,13	0,6666	0,03613	0,000831	0,0033213
10	45	36,12	0,7500	0,03612	0,000554	0,0000000
11	50	36,12	0,8333	0,03612	0,000554	0,0033213
12	55	36,11	0,9166	0,03611	0,000277	0,0000000
13	60	36,11	1,0000	0,03611	0,000277	0,0000000
14	65	36,11	1,0833	0,03611	0,000277	0,0033253
15	70	36,10	1,1666	0,03610	0,000000	0,0000000
16	75	36,10	1,2500	0,03610	0,000000	0,0000000
17	80	36,10	1,3333	0,03610	0,000000	0,0000000
18	85	36,10	1,4166	0,03610	0,000000	0,0000000

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-1, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función al tiempo de secado; de los cascarones de huevo (muestra 1) cuyos datos graficados fueron extraídos de la tabla 4-6.

Figura 4-1
Curva de variación del contenido de humedad de la muestra 1



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-1, se observa la curva de variación de contenido de humedad en base seca de la muestra 1; hasta los 10min el contenido de humedad es de $X = (0,0229916 \text{ kg agua/kg sólido seco})$ y finaliza lentamente la pérdida del contenido de humedad $X = (0,03611 \text{ kg agua/kg sólido seco})$, para un total de tiempo de secado entre (60-65) minutos; donde los valores se mantienen constante en cada pesada.

En la tabla 4-7, se muestran los resultados promedio de la variación de la pérdida de agua, contenido de humedad en base seca de los cascarones de huevo, variedad de consumo de la muestra 2.

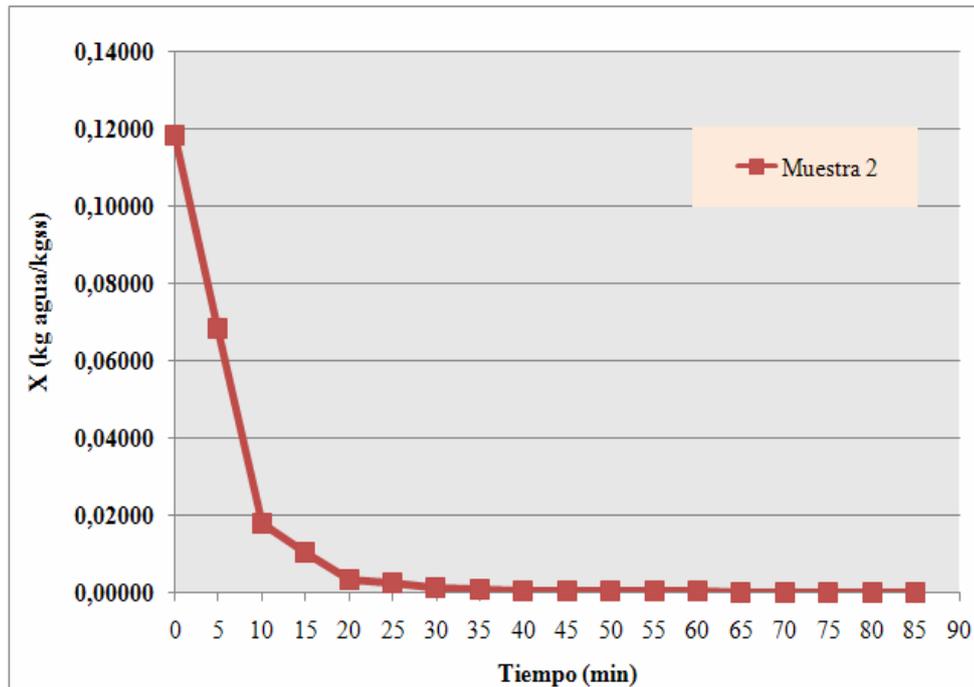
Tabla 4-7
Variación del contenido de humedad de la muestra 2

Corridas	Tiempo (min)	Masa (g)	Tiempo (hrs)	Masa (kg)	X (kg/kg)	Dx/dt
1	0	40,00	0	0,04000	0,1182555	0,6007382
2	5	38,21	0,0833	0,03821	0,0682135	0,6040996
3	10	36,41	0,1666	0,03641	0,0178920	0,0905059
4	15	36,14	0,2500	0,03614	0,0103438	0,0839027
5	20	35,89	0,3333	0,03589	0,0033547	0,0100684
6	25	35,86	0,4166	0,03586	0,0025160	0,0167601
7	30	35,81	0,5000	0,03581	0,0011182	0,0033565
8	35	35,80	0,5833	0,03580	0,0008386	0,0033553
9	40	35,79	0,6666	0,03579	0,0005591	0,0000000
10	45	35,79	0,7500	0,03579	0,0005591	0,0033565
11	50	35,78	0,8333	0,03578	0,0002795	0,0000000
12	55	35,78	0,9166	0,03578	0,0002795	0,0000000
13	60	35,78	1,0000	0,03578	0,0002795	0,0033553
14	65	35,77	1,0833	0,03577	0,0000000	0,0000000
15	70	35,77	1,1666	0,03577	0,0000000	0,0000000
16	75	35,77	1,2500	0,03577	0,0000000	0,0000000
17	80	35,77	1,3333	0,03577	0,0000000	0,0000000
18	85	35,77	1,4166	0,03577	0,0000000	0,0000000

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-2, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca de los cascarones de huevo (muestra 2) en base a los datos extraídos de la tabla 4-7

Figura 4-2
Curva de variación del contenido de humedad de la muestra 2



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-2, se observa la curva de variación de contenido de humedad en base seca de la muestra 2; hasta los 10min el contenido de humedad es de $X = (0,0178920 \text{ kg agua/kg sólido seco})$ y finaliza lentamente la pérdida del contenido de humedad $X = (0,0002795 \text{ kg agua/kg sólido seco})$, para un total de tiempo de secado entre (55-65) minutos; donde los valores se mantienen constante en cada pesada.

En la tabla 4-8, se muestran los resultados promedio de la variación de la pérdida de agua, contenido de humedad en base seca de los cascarones de huevo, variedad de consumo de la muestra 3.

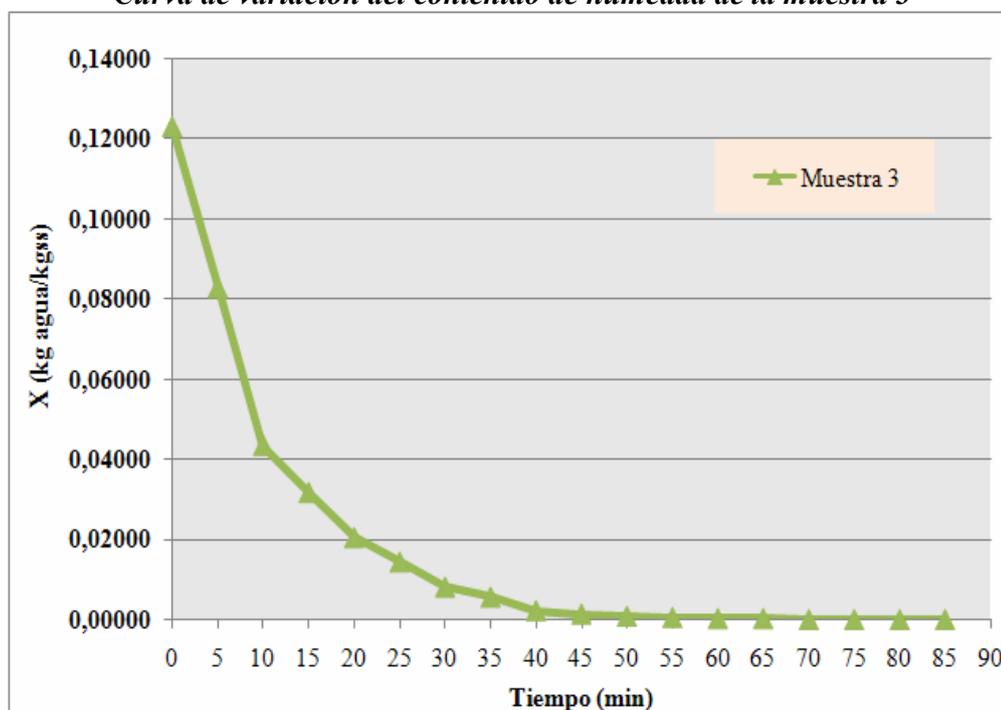
Tabla 4-8
Variación del contenido de humedad de la muestra 3

Corridas	Tiempo (min)	Masa (g)	Tiempo (hrs)	Masa (kg)	X (kg/kg)	Dx/dt
1	0	40,00	0	0,04000	0,1229646	0,4819447
2	5	38,57	0,0833	0,03857	0,0828186	0,4718343
3	10	37,16	0,1666	0,03716	0,0435148	0,1413800
4	15	36,75	0,2500	0,03675	0,0317237	0,1348910
5	20	36,35	0,3333	0,03635	0,0204941	0,0735186
6	25	36,12	0,4166	0,03612	0,0143700	0,0746834
7	30	35,91	0,5000	0,03591	0,0081414	0,0303313
8	35	35,82	0,5833	0,03582	0,0056148	0,0404429
9	40	35,70	0,6666	0,03570	0,0022459	0,0100983
10	45	35,67	0,7500	0,03567	0,0014037	0,0067406
11	50	35,65	0,8333	0,03565	0,0008422	0,0033709
12	55	35,64	0,9166	0,03564	0,0005614	0,0033657
13	60	35,63	1,0000	0,03563	0,0002807	0,0000000
14	65	35,63	1,0833	0,03563	0,0002807	0,0033657
15	70	35,62	1,1666	0,03562	0,0000000	0,0000000
16	75	35,62	1,2500	0,03562	0,0000000	0,0000000
17	80	35,62	1,3333	0,03562	0,0000000	0,0000000
18	85	35,62	1,4166	0,03562	0,0000000	0,0000000

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-3, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca de los cascarones de huevo (muestra 3) en base a los datos extraídos de la tabla 4-8.

Figura 4-3
Curva de variación del contenido de humedad de la muestra 3



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-3, se observa la curva de variación de contenido de humedad en base seca de la muestra 3; hasta los 10min el contenido de humedad es de $X = (0,0435148 \text{ kg agua/kg sólido seco})$ y finaliza lentamente la pérdida del contenido de humedad $X = (0,0002807 \text{ kg agua/kg sólido seco})$, para un total de tiempo de secado entre (60-65) minutos; donde los valores se mantienen constante en cada pesada.

En la tabla 4-9, se muestran los resultados promedio de la variación de la pérdida de agua, contenido de humedad en base seca de los cascarones de huevo, variedad de consumo de la muestra 4.

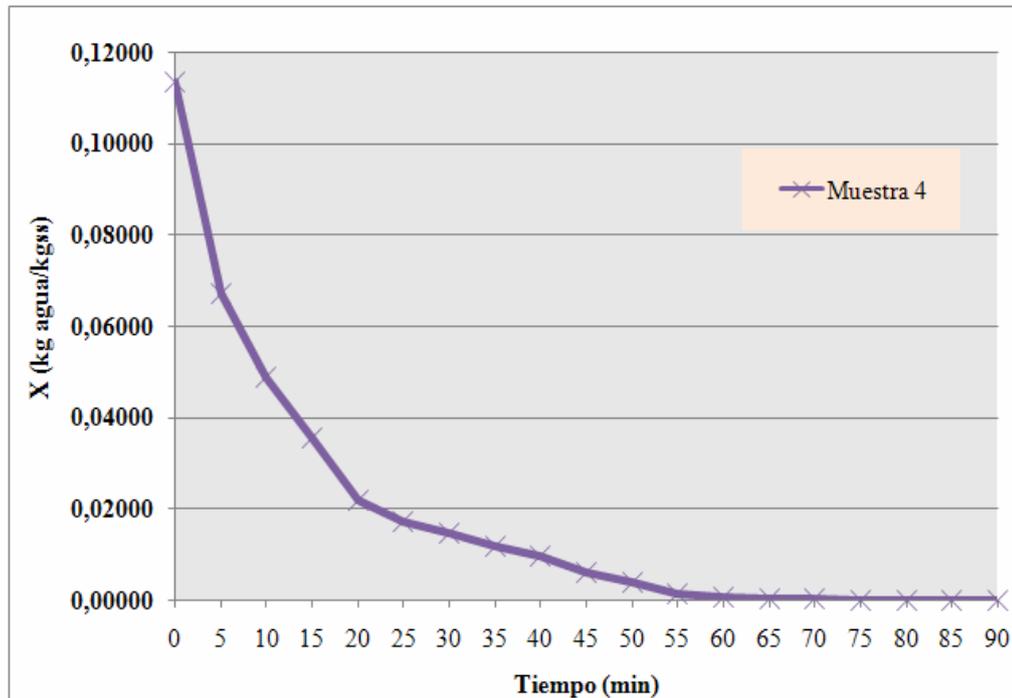
Tabla 4-9
Variación del contenido de humedad de la muestra 4

Corridas	Tiempo (min)	Masa (g)	Tiempo (hrs)	Masa (kg)	X (kg/kg)	Dx/dt
1	0	40	0	0,04	0,1132758	0,5546338
2	5	38,34	0,0833	0,03834	0,0670748	0,2205162
3	10	37,68	0,1666	0,03768	0,0487058	0,2769844
4	15	37,20	0,2500	0,0372	0,0353465	0,1637274
5	20	36,71	0,3333	0,03671	0,0217080	0,0534489
6	25	36,55	0,4166	0,03655	0,0172557	0,0300335
7	30	36,46	0,5000	0,03646	0,0147509	0,0367539
8	35	36,35	0,5833	0,03635	0,0116893	0,0255282
9	40	36,27	0,6666	0,03627	0,0095628	0,0412446
10	45	36,15	0,7500	0,03615	0,006123	0,0267298
11	50	36,07	0,8333	0,03607	0,0038964	0,0300708
12	55	35,98	0,9166	0,03598	0,0013915	0,0100107
13	60	35,95	1,0000	0,03595	0,0005566	0,0033409
14	65	35,94	1,0833	0,03594	0,0002783	0,0000000
15	70	35,94	1,1666	0,03594	0,0002783	0,0033369
16	75	35,93	1,2500	0,03593	0,0000000	0,0000000
17	80	35,93	1,3333	0,03593	0,0000000	0,0000000
18	85	35,93	1,4166	0,03593	0,0000000	0,0000000
19	90	35,93	1,5000	0,03593	0,0000000	0,0000000

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-4, se muestra la variación del contenido de humedad en seca de los cascarones de huevo (muestra 4) en base a los datos extraídos de la tabla 4-9.

Figura 4-4
Curva de variación del contenido de humedad de la muestra 4

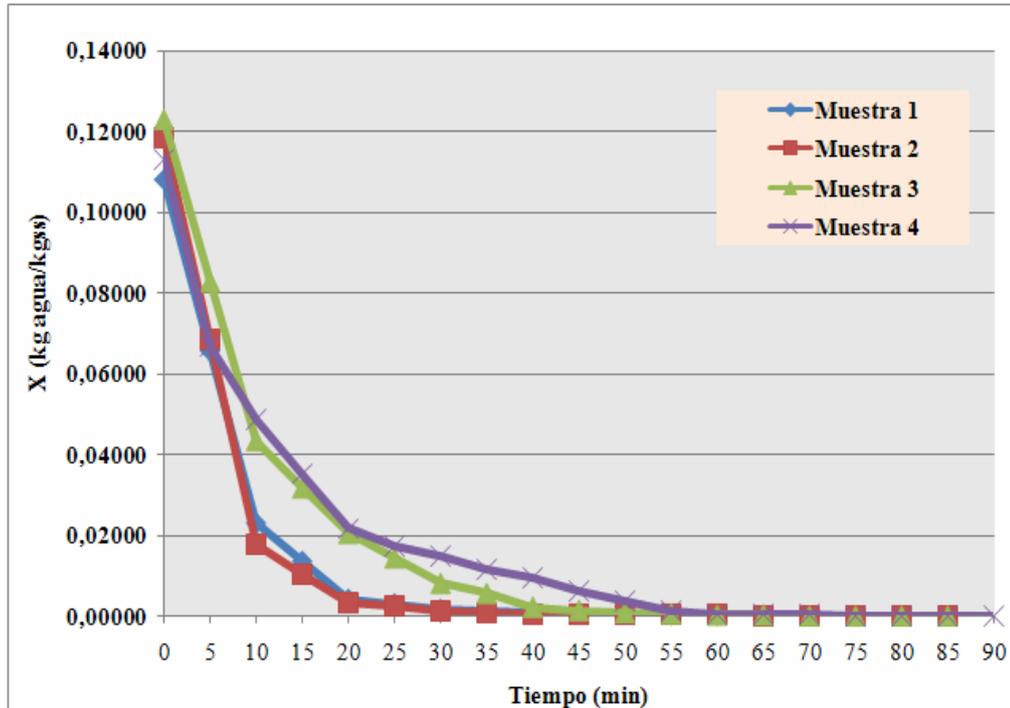


Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-4, se observa la curva de variación de contenido de humedad en base seca de la muestra 4; hasta los 10min el contenido de humedad es de $X = (0,0487058 \text{ kg agua/kg sólido seco})$ y finaliza lentamente la pérdida del contenido de humedad $X = (0,0002783 \text{ kg agua/kg sólido seco})$, para un total de tiempo de secado entre (65-70) minutos; donde los valores se mantienen constante en cada pesada.

En la figura 4-5, se muestra la variación del contenido de humedad de las cuatro muestras de cascarones de huevo, variedad de consumo; con el fin de identificar la variación del contenido de humedad.

Figura 4-5
Curvas de variación del contenido de humedad de las 4 muestras



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-5, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca para los cascarones de huevo, variedad de consumo; donde podemos apreciar que la muestra 1 y muestra 2 pierden agua más rápidamente durante los primeros 10 minutos de secado para luego volverse más lento durante los 10-30 minutos. Sin embargo, la muestra 3 y muestra 4 muestran un comportamiento diferente; es decir, los primeros 10 minutos la pérdida de agua es mucho más rápido para la muestra 3; en comparación de la muestra 4, que su variación es más rápido que las demás muestras analizadas. Siendo, que las cuatro muestras fueron tratadas con las mismas condiciones de peso, temperatura y ventilación. Esta diferencia podría deberse a la porosidad de los cascarones y el troceado (picado) de las muestras durante el acondicionamiento de los cascarones en las bandejas.

Concluyendo en base a la figura 4-5, que la muestra 3 y muestra 4; pierden más rápidamente agua en comparación a la muestra 1 y muestra 2. Disminuyendo el tiempo final del proceso de secado para las primeras muestras entre (55-65) minutos; en comparación a la muestra 3 y muestra 4, que varían entre (60-70) minutos.

4.2.4.- CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE MOLIENDA DE LOS CASCARONES DESHIDRATADOS

El proceso de molienda de los cascarones deshidratados, se realizó utilizando un molino de cereales (figura 3-7) y tamices de malla #50 y #80 donde según serie de Tyler el tamiz #50 presenta una abertura de malla de 0,0117 pulgadas y del tamiz #80 la abertura de malla es de 0,0070 pulgadas (Tamices, 2011).

Una vez realizada la molienda de los cascarones deshidratados; se procedió al tamizado; utilizando primero el tamiz de malla #50, únicamente con el fin de facilitar el proceso y posteriormente se utilizó el tamiz #80; es decir que en la elaboración del suplemento de calcio sólo se utilizó la harina de cascarones que atravesó la malla #80; el resto de la harina de cascarones, se llevó a recirculación en el molino y finalmente se volvió a realizar el proceso de tamizado.

4.2.5.- CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA HARINA DE CASCARONES DE HUEVO

En la tabla 4-10, se muestran los resultados obtenidos (Anexo A) de los análisis fisicoquímicos de la harina de cascarones de huevo de consumo; extraídos del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID).

Tabla 4-10
Características fisicoquímicas de la harina de cascarones de huevo

Componentes	Valores	Unidades
Humedad	0,46	%
Calcio*	36,88	%

Fuente: CEANID, 2010; * Laboratorio de servicios de UMSS, 2011

En la tabla 4-10, se observa que la harina de cascarones de huevo presenta un contenido de humedad del 0,46%, y un porcentaje de calcio del 36,88%.

4.2.6.- CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DE HARINA EN LA MOLIENDA DE LOS CASCARONES

Para realizar el cálculo de rendimiento en la molienda de los cascarones, se utilizó la ecuación 4-4; en la que se reemplazó los datos reales de masa de los cascarones y harina de cascarones obtenidos durante el proceso de molienda.

$$Rm = \frac{m_i}{m_0} * 100\% \quad \text{[Ecuación 4-4]}$$

Donde:

Rm = Rendimiento en la molienda (%)

m_0 = Peso de los cascarones (g)

m_i = Peso de la harina de cascarones (g)

Los resultados de los cálculos de rendimiento real de la harina de cascarones de huevo en el proceso de molienda, se muestran en la tabla 4-11.

Tabla 4-11
Rendimiento de la harina de cascarones en la molienda

Proceso	Rendimiento (%)	Pérdidas (%)	Retención (%)
Molienda	96,13	3,87	17,24
Tamizado	82,76	---	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4-11, se observa que la harina de cascarones de huevo: en la molienda tiene 96,13% de rendimiento y 3,87% de pérdidas; en el proceso de tamizado tiene 82,76% de rendimiento. En general el proceso de obtención de harina de cascarones presenta una retención del 17,24%.

4.3.- CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE SUPLEMENTO DE CALCIO

Para realizar la caracterización del proceso de obtención del suplemento de calcio (citrato de calcio) a partir de cáscara de huevo variedad huevo de consumo, se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

4.3.1.- PROCESO DE PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN ÁCIDA

La solución ácida o solución de ácido cítrico fue preparada tomando en cuenta las variables definidas de concentración y temperatura, la primera mezcla fue preparada al 1% (10g de ácido cítrico en estado sólido en 1litro de agua destilada), y la segunda al 3% (30g de ácido cítrico en estado sólido en 1litro de agua destilada).

Posteriormente, se dividió cada solución en dos partes iguales; dando como resultado dos soluciones de 500ml al 1% y dos soluciones de 500ml al 3%, de las cuales; dos (una de cada concentración) fueron utilizadas temperatura ambiente 21°C, y las dos restantes fueron calentadas a 70°C, con el fin de observar el comportamiento de la reacción química a diferentes temperaturas.

4.3.2.- FORMULACIONES DEFINIDAS PARA LA OBTENCIÓN DE CITRATO DE CALCIO

Las formulaciones definidas para el proceso de obtención de citrato de calcio, se muestran en la tabla 4-12; las mismas se determinaron tomando en cuenta tres factores: cantidad de harina de cáscara de huevo (M), concentración (C) y temperatura (T) de la solución ácida.

Tabla 4-12
Formulaciones para obtención de suplemento de calcio

F	V (ml)	M (g)	C (%)	T (°C)	R1	R2
1	15	10	1	21	AM1	BM1
2	15	10	1	70	AM2	BM2
3	15	10	3	21	AM3	BM3
4	15	10	3	70	AM4	BM4
5	15	20	1	21	AM5	BM5
6	15	20	1	70	AM6	BM6
7	15	20	3	21	AM7	BM7
8	15	20	3	70	AM8	BM8

Fuente: Elaboración propia

Donde:

F = Número de formulación

V = Volumen de solución ácida (ml)

M = Cantidad de harina de cascarones de huevo (g)

C = Concentración de la solución ácida (% ácido cítrico)

T = Temperatura de la solución ácida (°C)

R1 = Código de repetición 1

R2 = Código de repetición 2

En la tabla 4-12, se muestra las formulaciones que se realizaron para la preparación del suplemento de calcio donde se utilizó la harina de cascarones en proporciones de 10g y 20g, la solución ácida varió su concentración entre (1 y 3)% ácido cítrico a temperaturas entre 21°C y 70°C; manteniendo un volumen constante de 15ml para cada repetición; estas formulaciones fueron preparadas realizando los siguientes pasos:

- ◆ Para la primeras ocho formulaciones (R1); se utilizó ocho vasos de precipitado de 200ml de capacidad; donde se pesaron 10g de harina de cascarones en los primeros cuatro y en los cuatro vasos de precipitado restantes; harina de cascarones en proporciones de 20g.
- ◆ Con una probeta de 25ml de capacidad; se midió ocho volúmenes constantes de 15ml de solución ácida (1 a 3)%, cuatro de los cuales se encontraban a

temperatura ambiente (21°C) y las siguientes cuatro mediciones de volumen se las realizó con solución ácida a 70°C.

- ◆ Posteriormente se efectuó la reacción de obtención de citrato de calcio; donde las soluciones ácidas fueron mezcladas con la harina de cascarones en cada uno de los vasos de precipitado, dando como resultado ocho reacciones de neutralización ácido-base. Asimismo, se pudo observar el desprendimiento de dióxido de carbono mediante la efervescencia de la reacción.

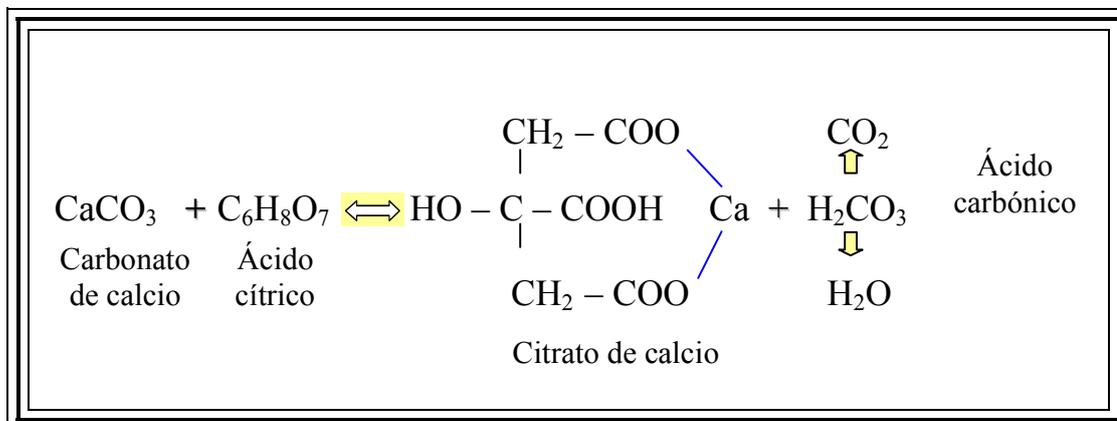
- ◆ Paralelamente al mezclado; de manera objetiva se cronometró y registró el tiempo de reacción de las formulaciones preparadas; este control de tiempo se realizó desde el inicio de la efervescencia de las mezclas; tomando en cuenta la reacción química 4-1, este efecto corresponde al desprendimiento de dióxido de carbono. Finalmente, se detuvo el cronometraje del tiempo de reacción al culminar la formación de burbujas en la mezcla química.

- ◆ Finalmente, se realizó el mismo procedimiento para preparar las réplicas o formulaciones (R2) que son expuestas en la tabla 4-12.

4.3.3.- REACCIÓN QUÍMICA DE LA FORMACIÓN DE CITRATO DE CALCIO

En la reacción química 4-1, se muestra la neutralización ácido-base de la obtención de citrato de calcio.

Reacción química 4-1
Neutralización ácido-base de la obtención de citrato de calcio



En la reacción química 4-1, se puede observar que el carbonato de calcio al combinarse con el ácido cítrico produce una reacción de neutralización ácido-base; dando como resultado la formación de citrato de calcio y ácido carbónico; donde este último se disocia en agua formando parte del producto y en dióxido de carbono que es liberado a la atmósfera en forma de gas.

4.3.3.1.- DESPRENDIMIENTO DE CO₂ DURANTE LA NEUTRALIZACIÓN ÁCIDO-BASE

En la figura 4-6, se muestra la efervescencia de la reacción química 4-1 durante la formación de citrato de calcio.

Figura 4-6
Efervescencia en la reacción de obtención de citrato de calcio



En la figura 4-6, se puede observar la efervescencia o formación de burbujas; que se llevó a cabo, al mezclar harina de cascarones de huevo con solución ácida; es decir; que al reaccionar el carbonato de calcio de la harina de cascarones con el ácido cítrico de la solución ácida, donde se produce desprendimiento CO_2 (dióxido de carbono); proveniente del ácido carbónico que se forma durante la reacción de neutralización ácido-base de la obtención de citrato de calcio.

4.3.4.- CÁLCULOS DE RENDIMIENTOS DE LA OBTENCIÓN DE CITRATO DE CALCIO

Para realizar los cálculos de rendimiento teórico de la reacción de neutralización ácido-base de la formación del citrato de calcio, se tomó en cuenta la composición de la cáscara de huevo y los pesos atómicos (tabla 2-1) de las sustancias presentes en la reacción química 4-1.

- Relación para calcular el rendimiento teórico de citrato de calcio en la reacción química 4-1 de carbonato de calcio con ácido cítrico:

$$\begin{array}{l} 292\text{g producto total} \longrightarrow 100\% \\ 230\text{g citrato de calcio} \longrightarrow x \end{array}$$

- Relación para calcular el rendimiento teórico de citrato de calcio de la reacción química 4-1 de la harina de cascarones de huevo con ácido cítrico:

$$\begin{array}{l} 100,00\text{g CaCO}_3 \longrightarrow 78,77\% \text{ citrato de calcio} \\ 93,60\text{g CaCO}_3 \longrightarrow x \end{array}$$

En la tabla 4-13, se muestran los resultados de los cálculos de rendimiento de citrato de calcio en la reacción de neutralización ácido-base.

Tabla 4-13
Rendimiento de citrato de calcio en la reacción química

Mezcla		Rendimiento teórico (%)
Componente	Solución	
Carbonato de calcio puro	Ácido cítrico	78,77
Harina de cascarones de huevo	Ácido cítrico	73,73

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4-13 se muestra que la mezcla de carbonato de calcio puro con ácido cítrico tiene un rendimiento teórico del 78,77%; mientras que la mezcla de harina de cascarones de huevo con ácido cítrico tiene 73,73% de rendimiento teórico.

4.3.5.- DISEÑO FACTORIAL PARA LA OBTENCIÓN DE SUPLEMENTO DE CALCIO

El análisis estadístico del diseño experimental, se realizó para determinar las variables (tabla 3-4) del proceso de obtención de citrato de calcio; midiendo el tiempo de reacción química de cada muestra. Utilizando los niveles (tabla 3-3) de variación de los factores como ser: harina de cascarones de huevo en proporciones de (10 y 20)g; concentración de la solución ácida entre (1 y 3)% de ácido cítrico y temperatura de (21 y 70)°C; manteniendo un volumen constante de 15ml.

En la tabla 4-14, extraída del (Anexo B-2) se muestra la matriz de resultados de las variables del proceso de obtención de citrato de calcio; cuyo diseño corresponde 2^3 en función a las variables respuestas del tiempo de reacción (minutos).

Tabla 4-14

Tiempo de reacción química en el proceso de obtención de citrato de calcio

Corridas	Factores			Tiempo de reacción (min)		
	M	C	T	y ₁	y ₂	y _i
(1)	10	1	21	2,161	2,234	4,395
M	10	1	70	1,199	1,292	2,491
C	10	3	21	2,395	2,503	4,898
MC	10	3	70	1,208	1,182	2,390
T	20	1	21	1,689	2,227	3,916
CT	20	1	70	0,687	1,124	1,811
MT	20	3	21	2,142	2,343	4,485
CMT	20	3	70	1,247	1,416	2,663
Σ Y_{ij}						27,049

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4-15, se muestran los resultados del análisis de varianza del diseño 2³, para el tiempo de reacción química, cuya resolución se detalla en la tabla B-2-3 (Anexo B-2).

Tabla 4-15

Análisis de varianza para el tiempo de reacción química en el proceso de obtención de citrato de calcio

Fuente de variación (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	Fcal	Ftab
Total	5,082411	15	0,338827		
Harina de huevo (M)	4,346182	1	4,346182	120,792*	5,32
Concentración de la solución (C)	0,207708	1	0,20770	5,773	5,32
Interacción MC	0,006440	1	0,006440	0,179	5,32
Temperatura de reacción (T)	0,105462	1	0,10546	2,931	5,32
Interacción (MT)	0,014701	1	0,014701	0,409	5,32
Interacción (CT)	0,064897	1	0,064897	1,804	5,32
Interacción (MCT)	0,049173	1	0,049173	1,367	5,32
Error experimental	0,287846	8	0,035980		

Fuente: Elaboración propia

* Altamente significativo

En la tabla 4-C, se puede observar $F_{cal} > F_{tab}$ ($120,792 > 5,32$) para el factor M (Harina de cáscara de huevo), siendo altamente significativo y ($5,773 > 5,32$) para el factor C (concentración de la solución ácida) que es significativo; por lo cual se acepta la H_p . En comparación ($F_{cal} < F_{tab}$) para el factor T (temperatura de la solución), interacción factor MC (harina de cáscara de huevo-concentración de solución); interacción CT (concentración de la solución-temperatura de solución); interacción MT (harina de cáscara de huevo-temperatura solución) e interacción MCT (harina de cáscara de huevo-concentración de solución-temperatura solución), que no son significativos para $p < 0,05$; por lo cual se rechaza la H_p .

En base a este análisis estadístico, se puede decir que los factor M (harina de cáscara de huevo), es el que tiene mayor importancia (altamente significativo) en el proceso; en comparación con el factor C (concentración de la solución), que afecta en menor proporción. Sin embargo, para el factor T (temperatura de solución) y la interacción de los efectos de los factores analizados; no muestran significancia en el proceso de extracción de citrato de calcio.

4.3.5- SECADO DEL SUPLEMENTO DE CALCIO

Al igual que el proceso de secado I de los cascarones; el secado del suplemento de calcio (citrato cálcico), se llevó a cabo bajo las mismas condiciones de temperatura de secado 70°C y velocidad promedio de aire $2,89\text{ m/s}$ (Anexo B); donde las muestras a ser deshidratadas fueron el número de ocho dispuestas en vasos de precipitado de vidrio pirex de 250 y 500 ml.

4.3.5.1.-VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUPLEMENTO DE CALCIO

Para realizar los cálculos del contenido de humedad en base seca, se consideró el contenido de humedad del producto $0,17\%$ (tabla 4-32). Donde el porcentaje de sólido seco, se puede estimar a través de la ecuación 4-3.

$$\% \text{Sólido seco} = 99,83\%$$

A continuación se detallan los resultados experimentales y calculados, obtenidos durante el proceso de secado del suplemento de calcio a partir de cáscara de huevo; donde los datos de variación del contenido de humedad en base seca $X(\text{kg/kg})$ fueron calculados mediante la ecuación 4-2 citada por (Contreras, 2005).

En la tabla 4-16, se muestran los resultados promedio de la variación de la pérdida de agua, contenido de humedad en base seca; los cuales fueron registrados y calculados durante el proceso de secado de la muestra 1 de suplemento de calcio a partir de cascarones de huevo.

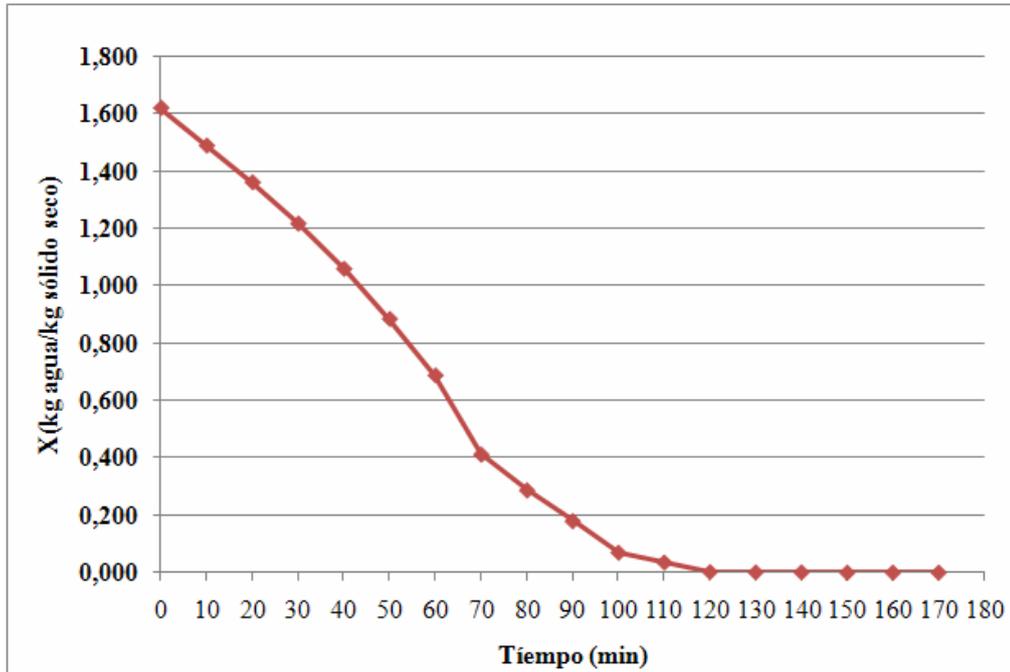
Tabla 4-16
Variación del contenido de humedad del producto de la muestra 1

Corridas	Tiempo (min)	Masa (g)	Tiempo (horas)	Masa (kg)	X (kg/kg)	Dx/dt
1	0	22,92	0	0,02292	1,6224256	0,7894733
2	10	21,77	0,1666	0,02177	1,4908467	0,7688789
3	20	20,65	0,3333	0,02065	1,3627002	0,8649887
4	30	19,39	0,5000	0,01939	1,2185354	0,9473681
5	40	18,01	0,6666	0,01801	1,0606407	1,0503431
6	50	16,48	0,8333	0,01648	0,8855835	1,1807783
7	60	14,76	1,0000	0,01476	0,6887871	1,6613267
8	70	12,34	1,1666	0,01234	0,4118993	0,7482839
9	80	11,25	1,3333	0,01125	0,2871853	0,6453089
10	90	10,31	1,5000	0,01031	0,1796338	0,6590381
11	100	9,35	1,6666	0,00935	0,0697941	0,2059499
12	110	9,05	1,8333	0,00905	0,0354691	0,1990847
13	120	8,76	2,0000	0,00876	0,0022883	0,0068651
14	130	8,75	2,1666	0,00875	0,0011441	0,0000000
15	140	8,75	2,3333	0,00875	0,0011441	0,0068646
16	150	8,74	2,5000	0,00874	0,0000000	0,0000000
17	160	8,74	2,6666	0,00874	0,0000000	0,0000000
18	170	8,74	2,8333	0,00874	0,0000000	0,0000000

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-7, se muestra la curva de variación del contenido de humedad en base seca del suplemento cálcico (muestra 1) en base a los datos extraídos de la tabla 4-16.

Figura 4-7
Variación del contenido de humedad del citrato cálcico de la muestra 1



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-7, se observa la curva de variación de contenido de humedad en base seca de la muestra 1 del suplemento cálcico; hasta los 70min el contenido de humedad es $X = 0,4118993 \text{ kg agua/kg sólido seco}$ y finaliza la pérdida del contenido de humedad $X = 0,0011441 \text{ kg agua/kg sólido seco}$, para un total de tiempo de secado entre (130-140) minutos; donde los valores se mantienen constante.

En la tabla 4-17, se muestran los resultados promedio de la variación de la pérdida de agua, contenido de humedad en base seca; los cuales fueron registrados y calculados durante el proceso de secado de la muestra 2 de suplemento de calcio a partir de cascarones de huevo de consumo.

Tabla 4-17
Variación del contenido de humedad del producto de la muestra 2

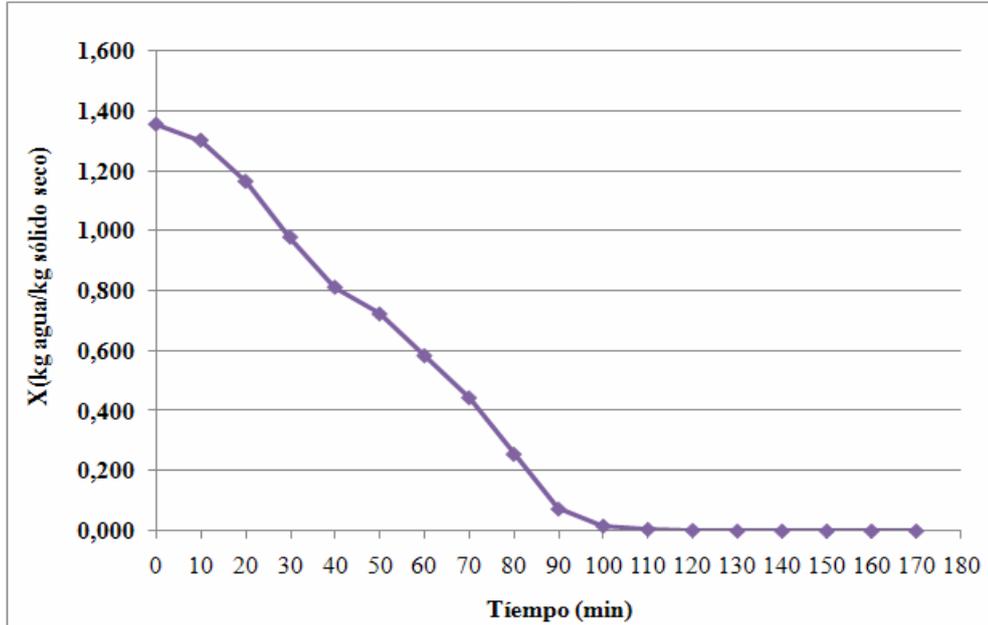
Corridas	Tiempo (min)	Masa (g)	Tiempo (horas)	Masa (kg)	X (kg/kg)	Dx/dt
1	0	21,15	0	0,02115	1,3578595	0,3210702
2	10	20,67	0,1666	0,02067	1,3043478	0,8227422
3	20	19,44	0,3333	0,01944	1,1672241	1,1170572
4	30	17,77	0,5000	0,01777	0,9810479	1,0033445
5	40	16,27	0,6666	0,01627	0,8138238	0,5351179
6	50	15,47	0,8333	0,01547	0,7246376	0,8361203
7	60	14,22	1,0000	0,01422	0,5852842	0,8428091
8	70	12,96	1,1666	0,01296	0,4448160	1,1304347
9	80	11,27	1,3333	0,01127	0,2564102	1,0969901
10	90	9,63	1,5000	0,00963	0,0735785	0,3411365
11	100	9,12	1,6666	0,00912	0,0167224	0,0668897
12	110	9,02	1,8333	0,00902	0,0055741	0,0200669
13	120	8,99	2,0000	0,00899	0,0022296	0,0133775
14	130	8,97	2,1666	0,00897	0,0000000	0,0000000
15	140	8,97	2,3333	0,00897	0,0000000	0,0000000
16	150	8,97	2,5000	0,00897	0,0000000	0,0000000
17	160	8,97	2,6666	0,00897	0,0000000	0,0000000
18	170	8,97	2,8333	0,00897	0,0000000	0,0000000

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-8, se muestra la variación del contenido de humedad en el suplemento cálcico en base seca (muestra 2) en base a los datos extraídos de la tabla 4-17.

Figura 4-8

Variación del contenido de humedad del suplemento cálcico de la muestra 2



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-8, se observa la curva de variación de contenido de humedad en base seca de la muestra 2 del suplemento cálcico; hasta los 90min el contenido de humedad es $X = 0,0735785 \text{ kg agua/kg sólido seco}$ y la pérdida del contenido de humedad $X = 0,0055741 \text{ kg agua/kg sólido seco}$, para un tiempo de 110 minutos; y el contenido de $X = 0,022296 \text{ kg agua/kg sólido seco}$ para un tiempo final de 120 minutos.

En la tabla 4-18, se muestran los resultados promedio de la variación de la pérdida de agua, contenido de humedad en base seca; los cuales fueron registrados y calculados durante el proceso de secado de la muestra 3 de suplemento de calcio a partir de cascarones de huevo.

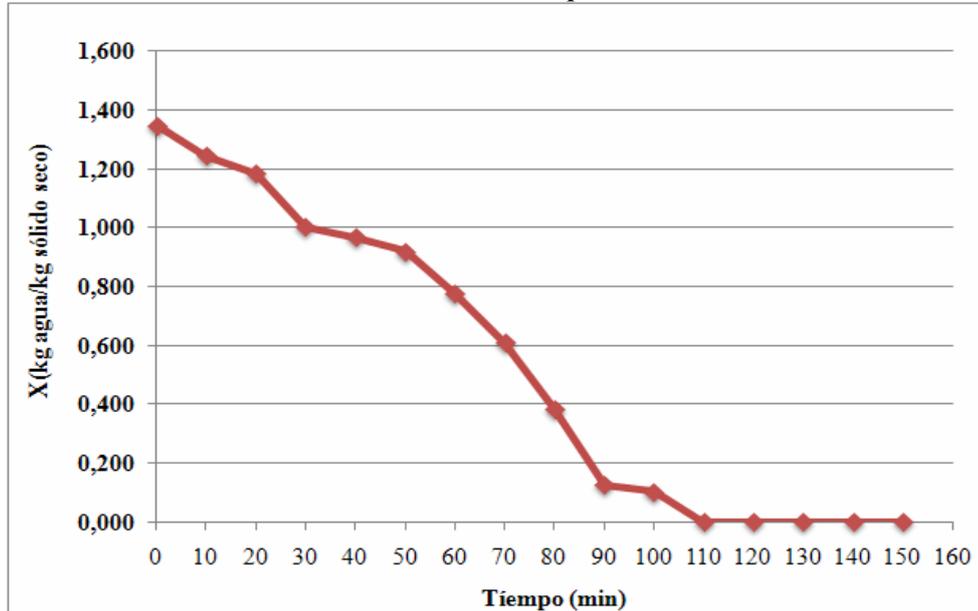
Tabla 4-18
Variación del contenido de humedad del producto de la muestra 3

Corridas	Tiempo (min)	Masa (g)	Tiempo (horas)	Masa (kg)	X (kg/kg)	Dx/dt
1	0	22,43	0	0,02243	1,5344632	1,1254235
2	10	20,77	0,1666	0,02077	1,3468926	0,6101691
3	20	19,87	0,3333	0,01987	1,2451977	0,3728816
4	30	19,32	0,5000	0,01932	1,1830508	1,0779659
5	40	17,73	0,6666	0,01773	1,0033898	0,2101697
6	50	17,42	0,8333	0,01742	0,9683615	0,2915249
7	60	16,99	1,0000	0,01699	0,9197740	0,86101739
8	70	15,72	1,1666	0,01572	0,7762711	1,0033895
9	80	14,24	1,3333	0,01424	0,6090395	1,3355933
10	90	12,27	1,5000	0,01227	0,3864406	1,5525419
11	100	9,98	1,6666	0,00998	0,1276836	0,1423727
12	110	9,77	1,8333	0,00977	0,1039548	0,6169491
13	120	8,86	2,0000	0,00886	0,0011299	0,0000000
14	130	8,86	2,1666	0,00886	0,0011299	0,0067792
15	140	8,85	2,3333	0,00885	0,0000000	0,0000000
16	150	8,85	2,5000	0,00885	0,0000000	0,0000000
17	160	8,85	2,6666	0,00885	0,0000000	0,0000000

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-9, se muestra la curva de variación del contenido de humedad en base seca del suplemento cálcico (muestra 3) en base a los datos extraídos de la tabla 4-18.

Figura 4-9
Variación del contenido del humedad del suplemento cálcico de la muestra 3



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-9, se observa la curva de variación de contenido de humedad en base seca de la muestra 3 del suplemento cálcico; hasta los 90min el contenido de humedad es $X = (0,3864406 \text{ kg agua/kg sólido seco})$ y la pérdida del contenido de humedad $X = (0,011299 \text{ kg agua/kg sólido seco})$, para un tiempo total de secado entre (120-130) minutos; donde los valores se mantienen constante.

En la tabla 4-19, se muestran los resultados promedio de la variación de la pérdida de agua, contenido de humedad en base seca; los cuales fueron registrados y calculados durante el proceso de secado de la muestra 4 de suplemento de calcio a partir de cascarones de huevo.

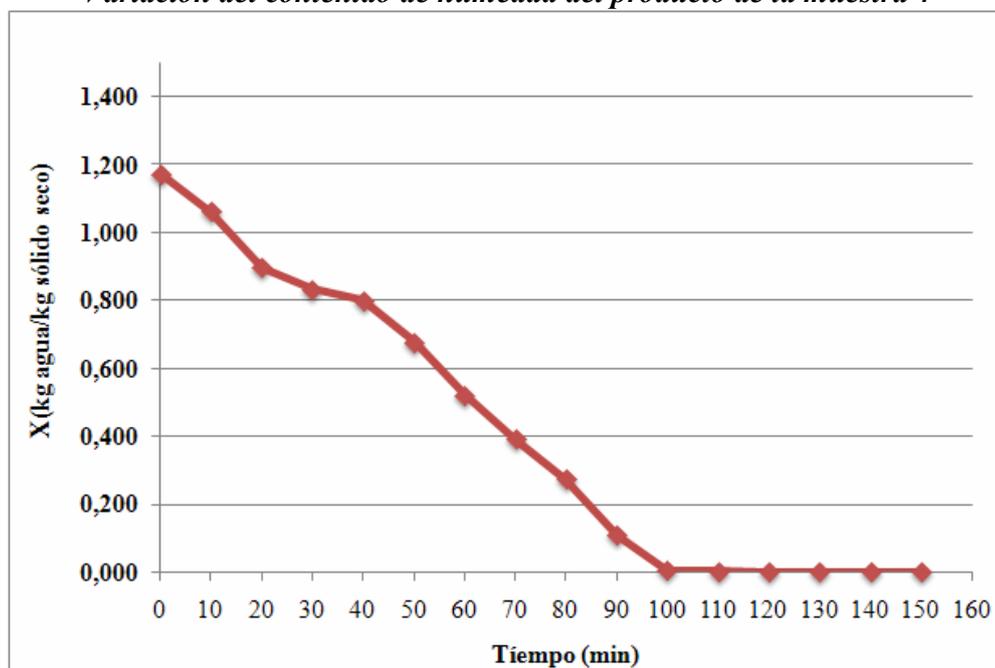
Tabla 4-19
Variación del contenido de humedad del producto de la muestra 4

Corridas	Tiempo (min)	Masa (g)	Tiempo (horas)	Masa (kg)	X (kg/kg)	Dx/dt
1	0	21,07	0	0,02107	1,3541899	1,0860335
2	10	19,45	0,1666	0,01945	1,1731843	0,6569831
3	20	18,47	0,3333	0,01847	1,0636871	0,9988823
4	30	16,98	0,5000	0,01698	0,8972067	0,3754193
5	40	16,42	0,6666	0,01642	0,8346368	0,2078207
6	50	16,11	0,8333	0,01611	0,8000000	0,7307267
7	60	15,02	1,0000	0,01502	0,6782122	0,9385469
8	70	13,62	1,1666	0,01362	0,5217877	0,7709501
9	80	12,47	1,3333	0,01247	0,3932960	0,71061419
10	90	11,41	1,5000	0,01141	0,2748603	0,9921785
11	100	9,93	1,6666	0,00993	0,1094972	0,105028
12	110	8,99	1,8333	0,00899	0,0044692	0,0134075
13	120	8,97	2,0000	0,00897	0,0022346	0,0067037
14	130	8,96	2,1666	0,00896	0,0011173	0,0067037
15	140	8,95	2,3333	0,00895	0,0000000	0,0000000
16	150	8,95	2,5000	0,00895	0,0000000	0,0000000
17	160	8,95	2,6666	0,00895	0,0000000	0,0000000

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-10, se muestra la curva de variación del contenido de humedad en base seca del suplemento cálcico (muestra 4) en base a los datos extraídos de la tabla 4-19.

Figura 4-10
Variación del contenido de humedad del producto de la muestra 4



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-10, se observa la curva de variación de contenido de humedad en base seca de la muestra 4 del suplemento cálcico; hasta los 90min el contenido de humedad es $X = (0,2748603 \text{ kg agua/kg sólido seco})$ y la pérdida del contenido de humedad de $X = (0,00111730 \text{ kg agua/kg sólido seco})$ para un tiempo final de 130 minutos.

En la tabla 4-20, se muestran los resultados promedio de la variación de la pérdida de agua, contenido de humedad en base seca; los cuales fueron registrados y calculados durante el proceso de secado de la muestra 5 de suplemento de calcio a partir de cascarones de huevo.

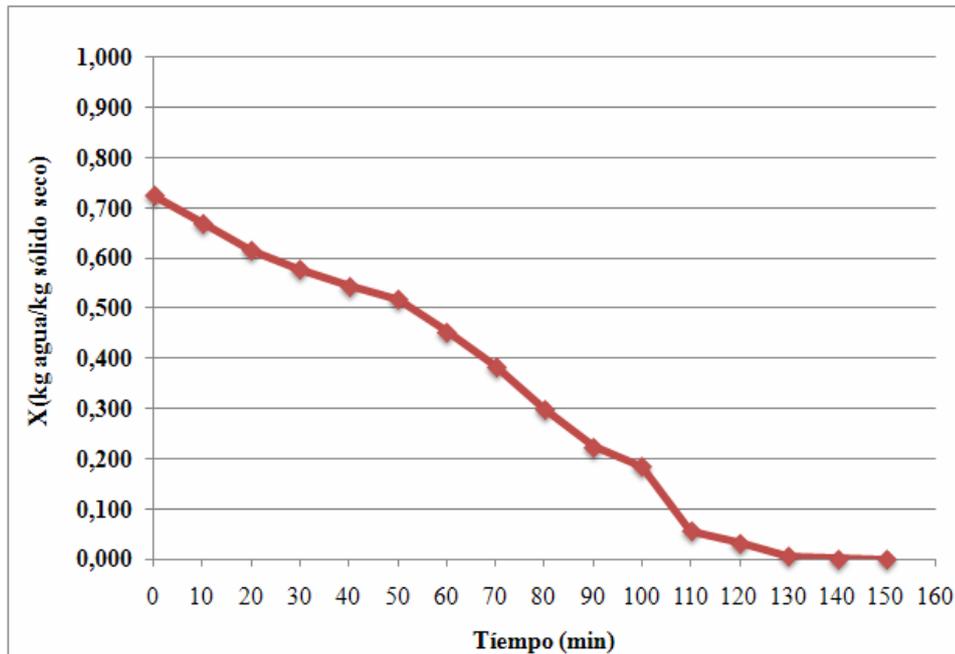
Tabla 4-20
Variación del contenido de humedad de la muestra 5

Corridas	Tiempo (min)	Masa (g)	Tiempo (horas)	Masa (kg)	X (kg/kg)	Dx/dt
1	0	34,08	0	0,03408	0,7521851	0,1604117
2	10	33,56	0,1666	0,03356	0,7254498	0,3269921
3	20	32,5	0,3333	0,0325	0,6709511	0,3300767
4	30	31,43	0,5000	0,03143	0,6159383	0,2313629
5	40	30,68	0,6666	0,03068	0,5773778	0,2005139
6	50	30,03	0,8333	0,03003	0,5439588	0,1542413
7	60	29,53	1,0000	0,02953	0,5182519	0,3917735
8	70	28,26	1,1666	0,02826	0,4529563	0,4164527
9	80	26,91	1,3333	0,02691	0,3835475	0,4997429
10	90	25,29	1,5000	0,02529	0,3002570	0,4534703
11	100	23,83	1,6666	0,02383	0,2246786	0,2406168
12	110	23,04	1,8333	0,02304	0,1845758	0,7742933
13	120	20,53	2,0000	0,02053	0,0555269	0,1419017
14	130	20,07	2,1666	0,02007	0,0318766	0,1542419
15	140	19,57	2,3333	0,01957	0,0061696	0,0339329
16	150	19,46	2,5000	0,01946	0,0005141	0,0030845
17	160	19,45	2,6666	0,01945	0,0000000	0,0000000
18	170	19,45	2,8333	0,01945	0,0000000	0,0000000
19	180	19,45	3,0000	0,01945	0,0000000	0,0000000

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-11, se muestra la curva de variación del contenido de humedad en base seca del suplemento cálcico (muestra 5) en base a los datos extraídos de la tabla 4-20.

Figura 4-11
Variación del contenido de humedad muestra 5



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-11, se observa la curva de variación de contenido de humedad en base seca de la muestra 5; hasta los 90min el contenido de humedad es de $X = (0,3002570 \text{ kg agua/kg sólido seco})$ y finaliza la pérdida del contenido de humedad $X = (0,0005141 \text{ kg agua/kg sólido seco})$, para un total de tiempo de secado de 150 minutos; donde los valores se mantienen constante en cada pesada.

En la tabla 4-21, se muestran los resultados promedio de la variación de la pérdida de agua, contenido de humedad en base seca; los cuales fueron registrados y calculados durante el proceso de secado de la muestra 6 de suplemento de calcio a partir de cascarones de huevo.

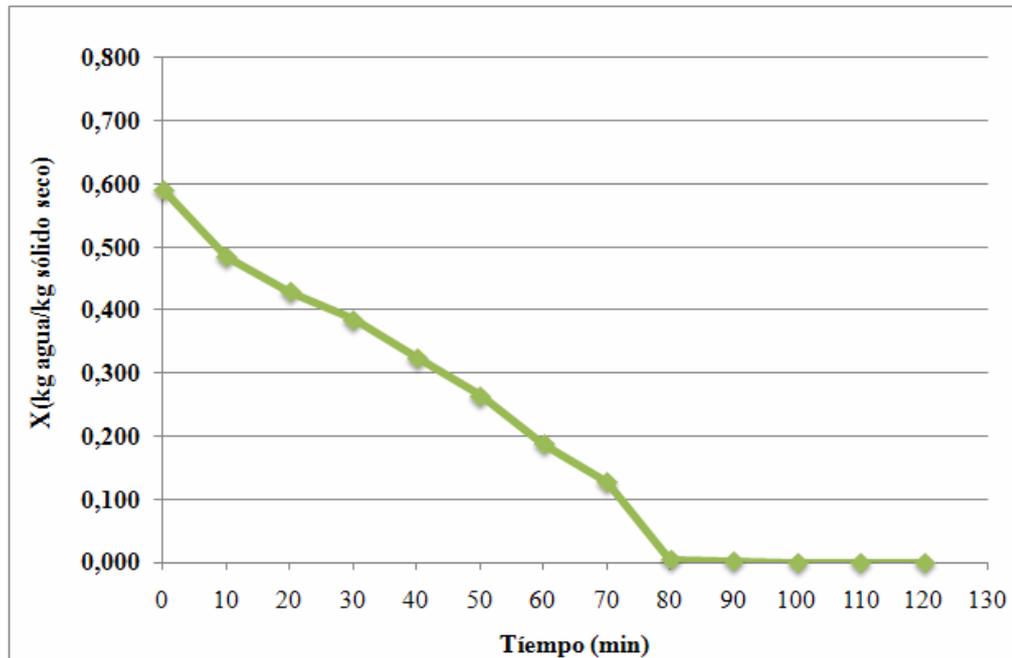
Tabla 4-21
Variación del contenido de humedad de la muestra 6

Corridas	Tiempo (min)	Masa (g)	Tiempo (horas)	Masa (kg)	X (kg/kg)	Dx/dt
1	0	32,03	0	0,03203	0,6459403	0,3268241
2	10	30,97	0,1666	0,03097	0,5914696	0,6443987
3	20	28,88	0,3333	0,02888	0,4840698	0,3299069
4	30	27,81	0,5000	0,02781	0,4290853	0,2620763
5	40	26,96	0,6666	0,02696	0,3854059	0,3638232
6	50	25,78	0,8333	0,02578	0,3247687	0,3638232
7	60	24,6	1,0000	0,0246	0,2641315	0,4563203
8	70	23,12	1,1666	0,02312	0,1880781	0,3607403
9	80	21,95	1,3333	0,02195	0,1279547	0,7368959
10	90	19,56	1,5000	0,01956	0,0051387	0,0215825
11	100	19,49	1,6666	0,01949	0,0015416	0,0092495
12	110	19,46	1,8333	0,01946	0,0000000	0,0000000
13	120	19,46	2,0000	0,01946	0,0000000	0,0000000
14	130	19,46	2,1666	0,01946	0,0000000	0,0000000

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-12, se muestra la curva de variación del contenido de humedad en base seca del suplemento cálcico (muestra 6) en base a los datos extraídos de la tabla 4-21.

Figura 4-12
Variación del contenido de humedad muestra 6



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-12, se observa la curva de variación de contenido de humedad en base seca de la muestra 6 del suplemento cálcico; hasta los 90min el contenido de humedad es $X = (0,0051387 \text{ kg agua/kg sólido seco})$ y la pérdida del contenido de humedad $X = (0,0015416 \text{ kg agua/kg sólido seco})$, para un tiempo total de secado de 100 minutos; donde los valores se mantienen constante.

En la tabla 4-22, se muestran los resultados promedio de la variación de la pérdida de agua, contenido de humedad en base seca; los cuales fueron registrados y calculados durante el proceso de secado de la muestra 7 de suplemento de calcio a partir de cascarones de huevo.

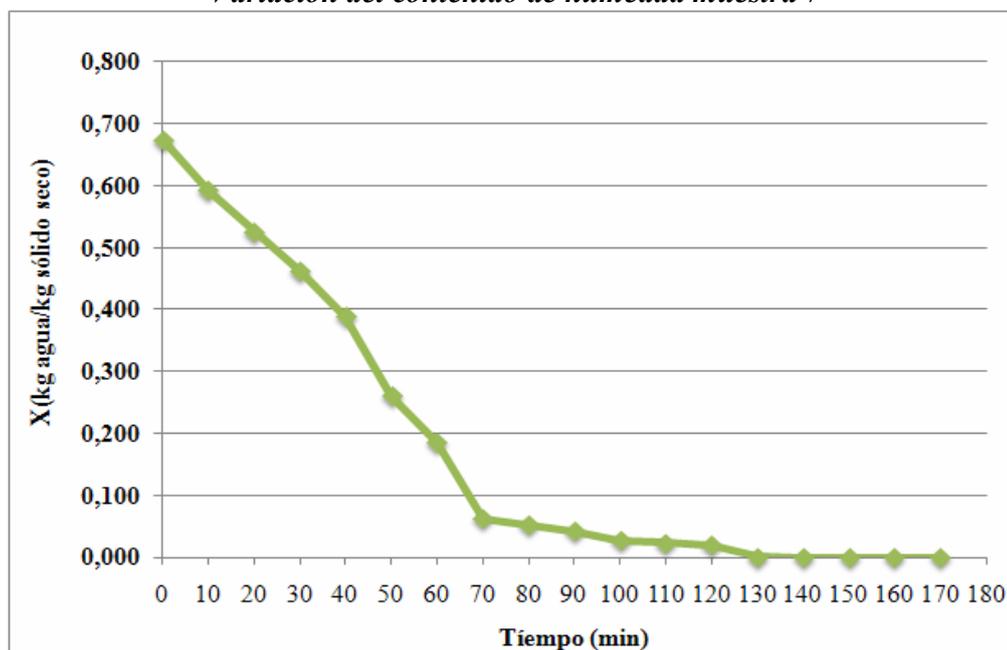
Tabla 4-22
Variación del contenido de humedad de la muestra 7

Corridas	Tiempo (min)	Masa (g)	Tiempo (horas)	Masa (kg)	X (kg/kg)	Dx/dt
1	0	34,85	0	0,03485	0,7583249	0,5025227
2	10	33,19	0,1666	0,03319	0,6745711	0,4904135
3	20	31,57	0,3333	0,03157	0,5928355	0,3995964
4	30	30,25	0,5000	0,03025	0,5262361	0,3874878
5	40	29,13	0,6666	0,02913	0,4616548	0,4328958
6	50	28,97	0,8333	0,02897	0,3895055	0,7719473
7	60	27,54	1,0000	0,02754	0,2608476	0,0751766
8	70	24,99	1,1666	0,02499	0,1856710	0,7416749
9	80	23,50	1,3333	0,02350	0,0620585	0,0575177
10	90	21,05	1,5000	0,02105	0,0524722	0,0605447
11	100	20,86	1,6666	0,02086	0,0423814	0,0938447
12	110	20,66	1,8333	0,02066	0,0267406	0,0211907
13	120	20,35	2,0000	0,02035	0,0232088	0,0242177
14	130	20,28	2,1666	0,02028	0,0191725	0,1120079
15	140	20,20	2,3333	0,02020	0,0005045	0,0030269
16	150	19,83	2,5000	0,01983	0,0000000	0,0000000
17	160	19,82	2,6666	0,01982	0,0000000	0,0000000
18	170	19,82	2,8333	0,01982	0,0000000	0,0000000
19	180	19,82	3,0000	0,01982	0,0000000	0,0000000

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-13, se muestra la curva de variación del contenido de humedad en base seca del suplemento cálcico (muestra 7) en base a los datos extraídos de la tabla 4-22.

Figura 4-13
Variación del contenido de humedad muestra 7



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-13, se observa la curva de variación de contenido de humedad en base seca de la muestra 7 del suplemento cálcico; hasta los 90min el contenido de humedad es $X = (0,0524722 \text{ kg agua/kg sólido seco})$ y la pérdida del contenido de humedad $X = (0,0005045 \text{ kg agua/kg sólido seco})$, para un tiempo total de secado de 140 minutos; donde los valores se mantienen constante.

En la tabla 4-23, se muestran los resultados promedio de la variación de la pérdida de agua, contenido de humedad en base seca; los cuales fueron registrados y calculados durante el proceso de secado de la muestra 8 de suplemento de calcio a partir de cascarones de huevo.

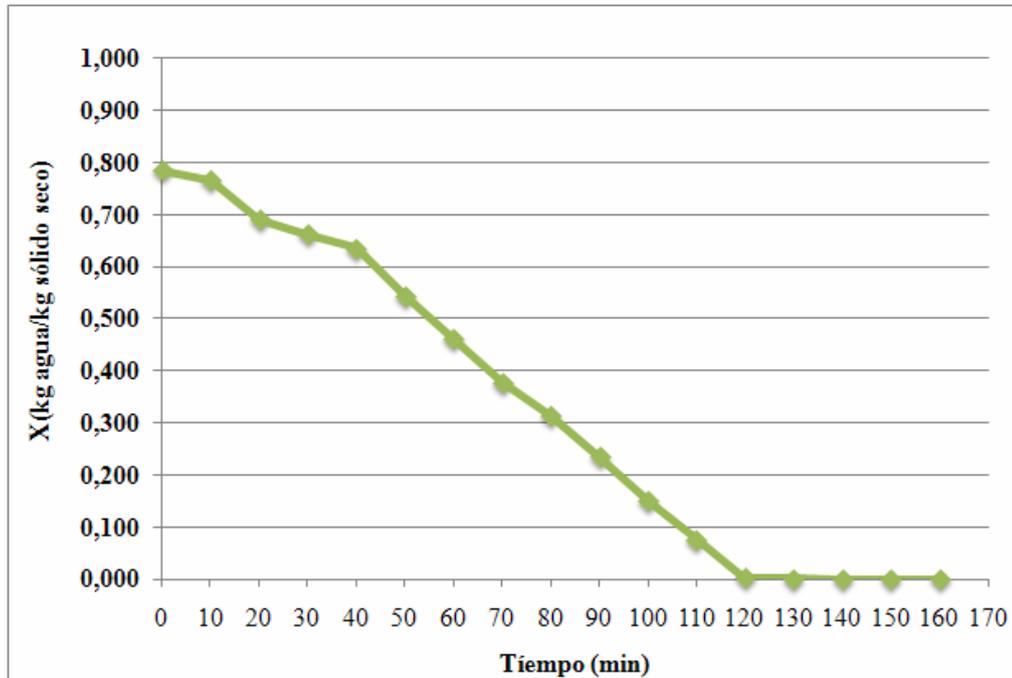
Tabla 4-23
Variación del contenido de humedad de la muestra 8

Corridas	Tiempo (min)	Masa (g)	Tiempo (horas)	Masa (kg)	X (kg/kg)	Dx/dt
1	0	34,11	0	0,03411	0,7981022	0,0790721
2	10	33,86	0,1666	0,03386	0,7849235	0,1170269
3	20	33,49	0,3333	0,03349	0,7654190	0,4459673
4	30	32,08	0,5000	0,03208	0,6910911	0,1707959
5	40	31,54	0,6666	0,03154	0,6626251	0,1644701
6	50	31,02	0,8333	0,03102	0,6352134	0,5471795
7	60	29,29	1,0000	0,02929	0,5440168	0,4934105
8	70	27,73	1,1666	0,02773	0,4617817	0,4997363
9	80	26,15	1,3333	0,02615	0,3784923	0,3858725
10	90	24,93	1,5000	0,02493	0,3141802	0,4744331
11	100	23,43	1,6666	0,02343	0,2351080	0,5092247
12	110	21,82	1,8333	0,02182	0,1502372	0,4459673
13	120	20,41	2,0000	0,02041	0,0759093	0,4364789
14	130	19,03	2,1666	0,01903	0,0031628	0,0158141
15	140	18,98	2,3333	0,01898	0,0005271	0,0031625
16	150	18,97	2,5000	0,01897	0,0000000	0,0000000
17	160	18,97	2,6666	0,01897	0,0000000	0,0000000
18	170	18,97	2,8333	0,01897	0,0000000	0,0000000

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-14, se muestra la curva de variación del contenido de humedad en base seca del suplemento cálcico (muestra 8) en base a los datos extraídos de la tabla 4-23.

Figura 4-14
Variación del contenido de humedad muestra 8



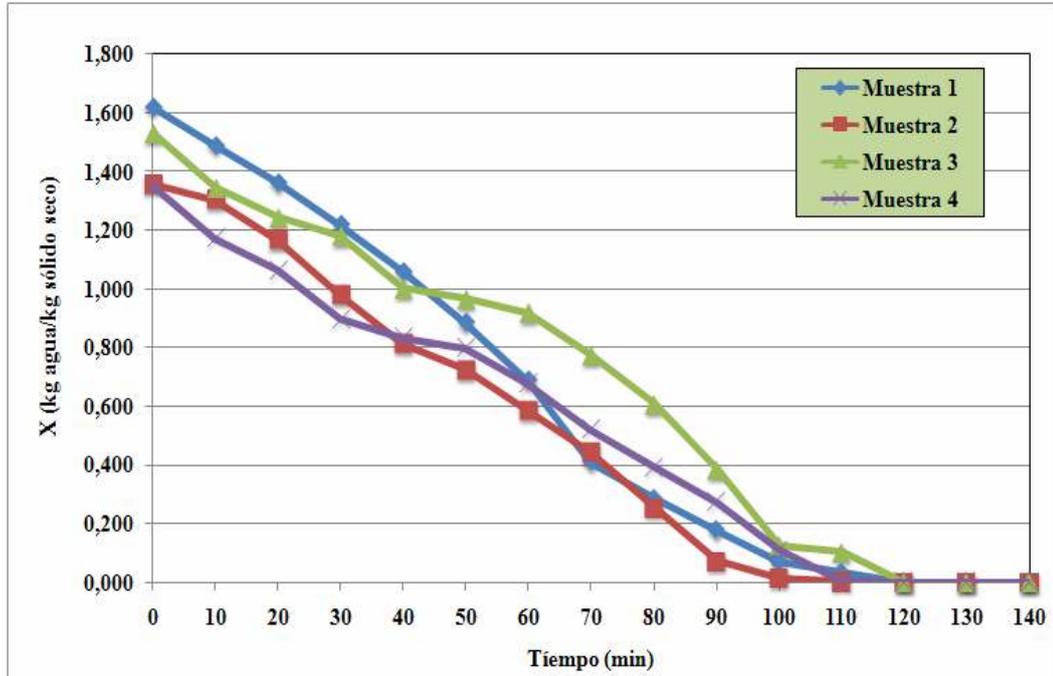
Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-14, se observa la curva de variación de contenido de humedad en base seca de la muestra 8 del suplemento cálcico; hasta los 90min el contenido de humedad es $X = (0,3141802 \text{ kg agua/kg sólido seco})$ y la pérdida del contenido de humedad $X = (0,0005271 \text{ kg agua/kg sólido seco})$, para un tiempo total de secado de 140 minutos; donde los valores se mantienen constante.

En la figura 4-15, se muestra las curvas de variación del contenido de humedad en base seca del suplemento cálcico (muestra 1; muestra 2; muestra 3 y muestra 4); en base a los datos extraídos de tabla 4-16; tabla 4-17; tabla 4-18 y tabla 4-19 que contienen en su composición de 10g de harina en cada una de las muestras.

Figura 4-15

Variación del contenido de humedad de las cuatro muestras de citrato de calcio

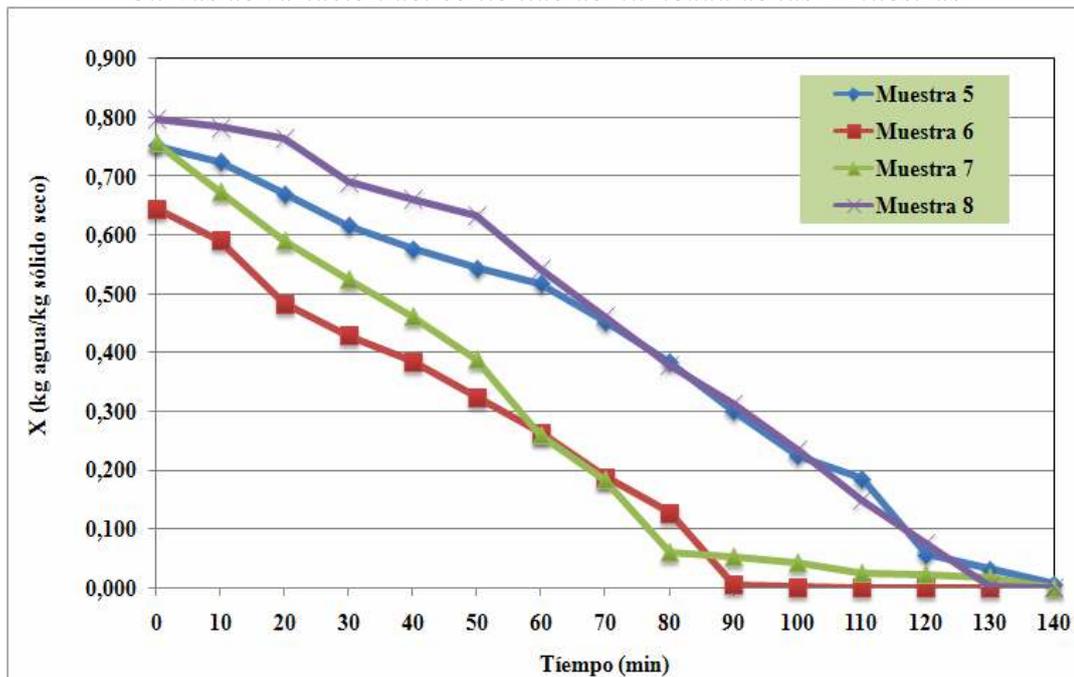


Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-15, se observa que la muestra 2 (70 °C) finaliza su variación del contenido de humedad a los 100 minutos; seguida de la muestra 4 (70°C) que finaliza a los 110 minutos. Mientras, que la muestra 1 (21°C) y muestra 3 (21°C); ambas finalizan su variación del contenido de humedad a los 120 minutos. Utilizando una cantidad de harina de cáscara de huevo constante de 10g.

En la figura 4-16, se muestra las curvas de variación del contenido de humedad en base seca del suplemento cálcico (muestra 5; muestra 6; muestra 7 y muestra 8); en base a los datos extraídos de la tabla 4-20; tabla 4-21; tabla 4-22 y tabla 4-23.

Figura 4-16
Curvas de variación del contenido de humedad de las 4 muestras



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-16, se observa que la muestra 6 (70 °C) finaliza su variación del contenido de humedad a los 90 minutos; mucho más rápido en comparación con la muestra 7 (21 °C) que finaliza a los 120 minutos. Mientras, que la muestra 5 (21°C) y muestra 8 (70°C) finalizan su variación del contenido de humedad en (140 y 130) minutos respectivamente. Utilizando una cantidad de harina de cáscara de huevo constante de 20g.

4.4.- CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO

Para caracterizar el producto de las muestras de suplemento de calcio a partir de cáscara de huevo de consumo, se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

4.4.1.- ENVASADO

Se realizó el envasado del producto en bolsitas de polipropileno de alta densidad de 22x12cm, para elegir este tipo de envase, se tomó en cuenta las características del suplemento de calcio como su bajo contenido de humedad (tabla 4-32).

4.4.2.- EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PRODUCTO

La evaluación sensorial del suplemento de calcio a partir de cascarones de huevo, se realizó los atributos sensoriales de aroma, sabor, textura y presentación; utilizando diez jueces no entrenados.

4.4.2.1.- EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO AROMA PARA EL PRODUCTO

En la tabla 4-24, se muestran los resultados en escala hedónica de la evaluación sensorial del producto para el atributo aroma; los cuales fueron extraídos de la tabla C-3-1 (Anexo C-3).

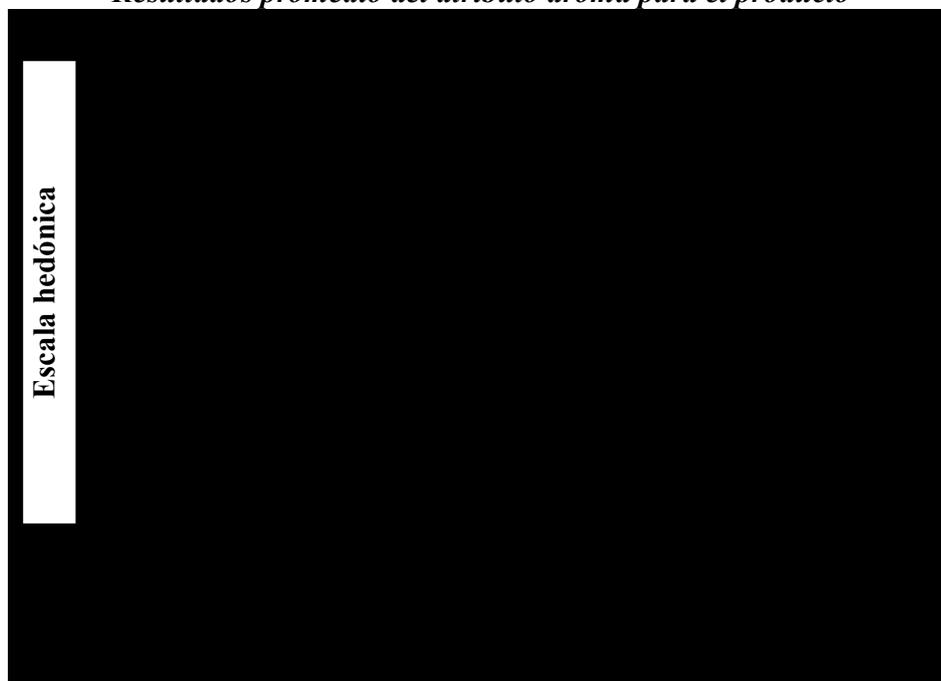
Tabla 4-24
Evaluación sensorial del atributo aroma del producto

Jueces	Muestras (Escala hedónica)								Total
	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	AM7	AM8	
1	5	5	5	5	5	5	5	5	40
2	7	7	7	5	7	7	7	5	52
3	5	5	5	5	5	5	5	5	40
4	6	6	6	7	7	6	6	7	51
5	6	6	6	7	6	6	6	6	49
6	7	6	7	7	6	7	6	7	53
7	6	5	7	6	5	8	7	5	49
8	8	8	7	8	8	8	8	8	63
9	8	8	8	8	8	8	8	7	63
10	5	5	5	5	6	6	5	5	42
\bar{X}_i	6,3	6,1	6,3	6,3	6,3	6,6	6,3	6,0	50,2
$\sum X_i$	63	61	63	63	63	66	63	60	502
$\sum X_i^2$	409	385	407	411	409	448	409	372	25818

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-17, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial del atributo aroma para el producto de los resultados extraídos de la tabla 4-24.

Figura 4-17
Resultados promedio del atributo aroma para el producto



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 4-17, la muestra (AM6) tiene mayor aceptación por los jueces para el atributo aroma en escala hedónica de 7,60 seguido de las muestras (AM1; AM3; AM4 y AM5); de 6,3; en comparación de las muestras (AM2 y AM8), que tienen la menor puntuación.

4.4.2.1.1.- ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ATRIBUTO AROMA PARA EL PRODUCTO

En la tabla 4-25, se muestran los resultados del análisis de varianza del atributo aroma; extraídos de la tabla C-3-2 (Anexo C-3).

Tabla 4-25
Análisis de varianza del atributo aroma para el producto

Fuente de Variación FV	Suma de Cuadrados SC	Grados de Libertad GL	Cuadrados Medios CM	Fisher calculado F_{cal}	Fisher tabulado F_{tab}
Tratamientos	2,15	7	0,3071	0,9393	2,166
Jueces	77,20	9	8,5778	26,233	2,036
Error	20,60	63	0,3269		
Total	99,95	79			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4-25, se observa para los tratamientos $F_{cal} < F_{tab}$ ($0,9393 < 2,166$). Por lo tanto, no se realiza la prueba de Duncan. Tomando en cuenta la preferencia de los jueces se eligió la muestra AM6 (20g de harina de cascarones, solución ácida a 70°C, 1% de ácido cítrico) como la mejor opción, al haber obtenido el mayor puntaje en escala hedónica del atributo aroma.

4.4.2.2.- EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO SABOR PARA EL PRODUCTO

En la tabla 4-26, se muestran los resultados en escala hedónica de la evaluación sensorial del producto para el atributo sabor; los cuales fueron extraídos de la tabla C-3-3 (Anexo C-3).

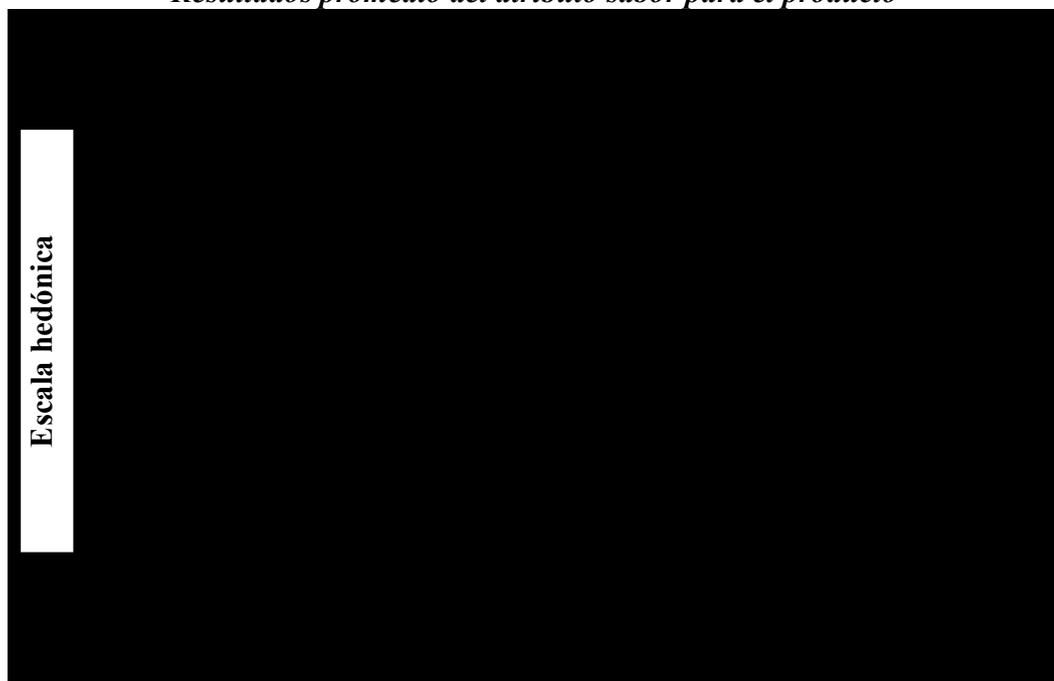
Tabla 4-26
Evaluación sensorial del atributo sabor del producto

Jueces	Muestras (Escala hedónica)								Total
	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	AM7	AM8	
1	6	6	6	6	6	6	6	6	48
2	7	7	7	5	7	7	7	5	52
3	6	6	7	7	6	7	6	7	52
4	6	7	8	7	6	6	6	6	52
5	6	6	6	7	6	6	5	4	46
6	6	6	7	7	8	7	6	7	54
7	7	6	8	5	7	8	6	7	54
8	7	6	8	8	7	7	6	6	55
9	8	8	7	8	7	8	8	8	62
10	5	5	5	6	6	8	5	5	45
\bar{X}_i	6,4	6,3	6,9	6,6	6,6	7,0	6,1	6,1	52
$\sum X_i$	64	63	69	66	66	70	61	61	520
$\sum X_i^2$	416	403	485	446	440	496	379	385	27258

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-18, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial del atributo sabor para el producto de los resultados de la tabla 4-26.

Figura 4-18
Resultados promedio del atributo sabor para el producto



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 4-18, la muestra (AM6) tiene mayor aceptación por los jueces para el atributo sabor en escala hedónica de 7; seguida inmediatamente en puntaje por la muestra (AM3) en escala hedónica de 6,9; el resto de las muestras evaluadas (AM1; AM2; AM4; AM5 y AM8) obtuvieron menor puntuación.

4.4.2.2.1.- ANÁLISIS DE VARIANZA DEL ATRIBUTO SABOR PARA EL PRODUCTO

En la tabla 4-27, se muestran los resultados del análisis de varianza del atributo sabor; extraídos de la tabla C-3-4; (Anexo C-3).

Tabla 4-27
Análisis de varianza del atributo sabor para el producto

Fuente de Variación FV	Suma de Cuadrados SC	Grados de Libertad GL	Cuadrados Medios CM	Fisher calculado F_{cal}	Fisher tabulado F_{tab}
Tratamientos	8	7	1,1428	2,072	2,166
Jueces	27,25	9	3,0277	5,489	2,036
Error	34,75	63	0,5515		
Total	70	79			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4-27, se observa para los tratamientos $F_{cal} < F_{tab}$ ($2,072 < 2,166$). Por lo tanto, no se realiza la prueba de Duncan. Tomando en cuenta la preferencia de los jueces se eligió la muestra AM6 (20g de harina de cascarones, solución ácida a 70°C, 1% de ácido cítrico) como la mejor opción, al haber obtenido el mayor puntaje en escala hedónica del atributo sabor.

4.4.2.3.- EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO TEXTURA PARA EL PRODUCTO

En la tabla 4-28, se muestran los resultados en escala hedónica de la evaluación sensorial del producto para el atributo textura; los cuales fueron extraídos de la tabla C-3-5 (Anexo C-3).

Tabla 4-28
Evaluación sensorial del atributo textura del producto

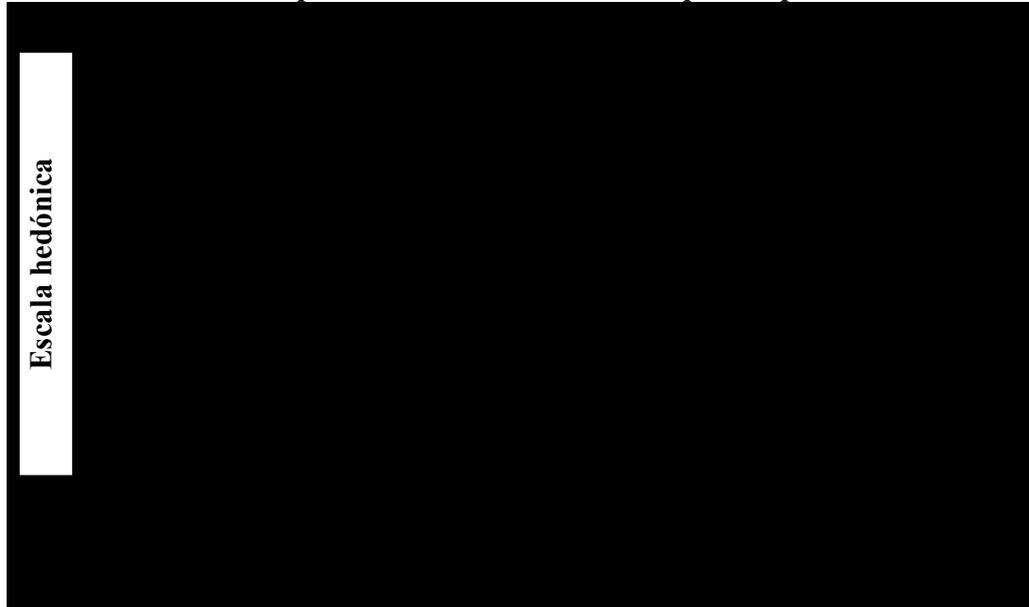
Jueces	Muestras (Escala hedónica)								Total
	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	AM7	AM8	
1	8	7	8	7	5	9	7	7	58
2	7	6	5	4	7	8	8	5	50
3	7	7	7	7	7	7	7	7	56
4	6	7	8	6	6	8	8	7	56
5	7	8	7	7	7	8	7	7	58
6	6	7	8	7	7	9	7	7	58
7	5	6	5	7	6	8	6	5	48
8	7	7	6	7	8	9	8	7	59
9	7	8	7	8	7	9	9	8	63
10	5	5	5	6	6	6	5	5	43
\bar{X}_i	6,5	6,8	6,6	6,6	6,6	8,1	7,2	6,5	54,9
$\sum X_i$	65	68	66	66	66	81	72	65	549
$\sum X_i^2$	431	470	450	446	442	665	530	433	30467

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-19, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial del atributo textura para el producto, de los resultados extraídos de la tabla 4-28

Figura 4-19

Resultados promedio del atributo textura para el producto



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 4-19, la muestra (AM6) tiene mayor aceptación por los jueces para el atributo textura en escala hedónica de 8,1 seguido de las muestra (AM7) de 7,2; en comparación de las muestras (AM1; AM2; AM3; AM4; AM5 y AM8) que tienen menor puntuación.

4.4.2.3.1.-PRUEBA DE DUNCAN DEL ATRIBUTO TEXTURA PARA EL PRODUCTO

En la tabla 4-29, se muestra los resultados extraídos de la tabla C-3-8 (Anexo C-3) del análisis de tratamientos para el atributo textura; los cuales fueron obtenidos mediante la prueba de Duncan.

Tabla 4-29
Prueba de Duncan del atributo textura para el producto

Tratamientos	Efectos
AM6 – AM7=0,9 > 0,6888	Si hay diferencia significativa
AM6 – AM2=1,3 > 0,7246	Si hay diferencia significativa
AM6 – AM5=1,5 > 0,7483	Si hay diferencia significativa
AM6 – AM4=1,5 > 0,7653	Si hay diferencia significativa
AM6 – AM3=1,5 > 0,7787	Si hay diferencia significativa
AM6 – AM8=1,6 > 0,7893	Si hay diferencia significativa
AM6 – AM1=1,6 > 0,7981	Si hay diferencia significativa
AM7 – AM2=0,4 < 0,6888	No hay diferencia significativa
AM7 – AM5=0,6 < 0,7246	No hay diferencia significativa
AM7 – AM4=0,6 < 0,7483	No hay diferencia significativa
AM7 – AM3=0,6 < 0,7653	No hay diferencia significativa
AM7 – AM8=0,7 < 0,7787	No hay diferencia significativa
AM7 – AM1=0,7 < 0,7893	No hay diferencia significativa
AM2 – AM5=0,2 < 0,7981	No hay diferencia significativa
AM2 – AM4=0,2 < 0,6888	No hay diferencia significativa
AM2 – AM3=0,2 < 0,7246	No hay diferencia significativa
AM2 – AM8=0,3 < 0,7483	No hay diferencia significativa
AM2 – AM1=0,3 < 0,7653	No hay diferencia significativa
AM5 – AM4=0,0 < 0,7787	No hay diferencia significativa
AM5 – AM3=0,0 < 0,7893	No hay diferencia significativa
AM5 – AM8=0,1 < 0,7981	No hay diferencia significativa
AM5 – AM1=0,1 < 0,6888	No hay diferencia significativa
AM4 – AM3=0,0 < 0,7246	No hay diferencia significativa
AM4 – AM8=0,1 < 0,7483	No hay diferencia significativa
AM4 – AM1=0,1 < 0,7653	No hay diferencia significativa
AM3 – AM8=0,1 < 0,7787	No hay diferencia significativa
AM3 – AM1=0,1 < 0,7893	No hay diferencia significativa
AM8 – AM1=0,0 < 0,7981	No hay diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4-29, se observa para los tratamientos (AM7 – AM2); (AM7 – AM5); (AM7 – AM4); (AM7 – AM3); (AM7 – AM8); (AM7 – AM1); (AM2 – AM5); (AM2 – AM4); (AM2 – AM3); (AM2 – AM8); (AM2 – AM1); (AM5 – AM4); (AM5 – AM3); (AM5 – AM8); (AM5 – AM1); (AM4 – AM3); (AM4 – AM8); (AM4 – AM1); (AM3 – AM8); (AM3 – AM1) y (AM8 – AM1), no existe evidencia estadística; en comparación de los tratamientos (AM6 – AM7); (AM6 – AM2); (AM6

– AM5); (AM6 – AM4); (AM6 – AM3); (AM6 – AM8) y (AM6 – AM1), si hay evidencia estadística, para un límite de confianza del 95%. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces por la muestra AM6, como la de mejor aceptación para el atributo textura.

4.4.2.4.- EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO PRESENTACIÓN PARA EL PRODUCTO

En la tabla 4-30, extraída tabla C-3-9 (Anexo C-3) se muestran los resultados en escala hedónica de la evaluación sensorial del producto para el atributo presentación.

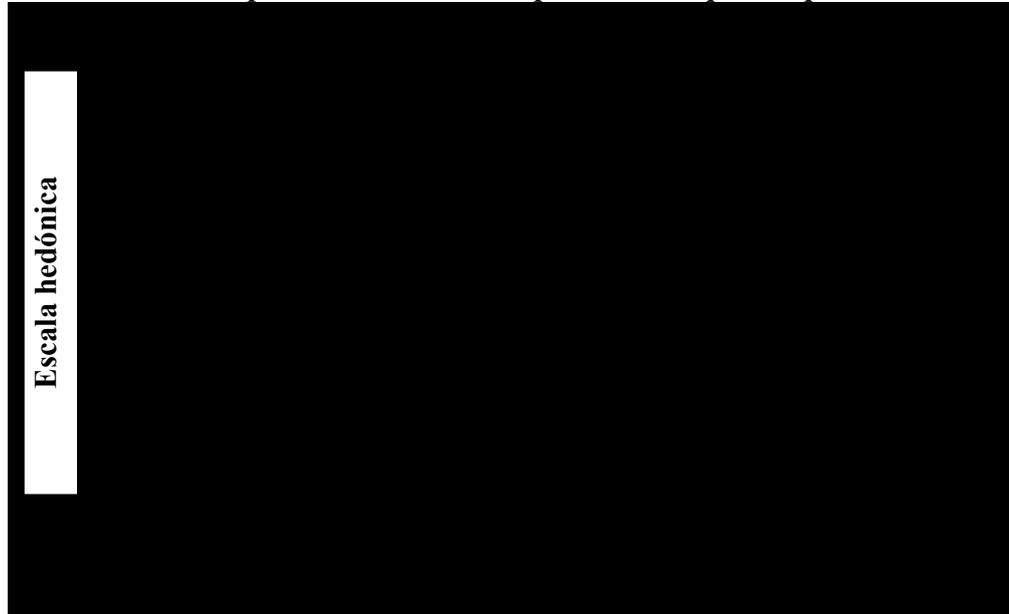
Tabla 4-30
Evaluación sensorial del atributo presentación del producto

Jueces	Muestras (Escala hedónica)								Total
	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM6	AM7	AM8	
1	7	7	7	7	7	7	7	7	56
2	6	6	5	4	6	8	8	5	48
3	7	7	7	8	7	8	7	7	58
4	8	8	8	8	8	8	8	8	64
5	7	7	7	7	7	9	7	7	58
6	7	7	8	8	7	9	7	8	61
7	6	7	8	7	5	7	6	4	50
8	6	7	6	7	8	9	8	7	58
9	8	8	8	7	7	9	8	8	63
10	6	7	6	6	6	8	6	7	52
\bar{X}_i	6,8	7,1	7	6,9	6,8	8,2	7,2	6,8	56,8
$\sum X_i$	68	71	70	69	68	82	72	68	568
$\sum X_i^2$	468	507	500	489	470	678	524	478	32522

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-20, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial del atributo presentación para el producto de los resultados extraídos de la tabla 4-30.

Figura 4-20
Resultados promedio del atributo presentación para el producto



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-20, se observa que la muestra (AM6) tiene mayor aceptación por los jueces para el atributo presentación en escala hedónica de 8,20 seguido de la muestra (AM7) de 7,20; el resto de las muestras evaluadas sensorialmente, obtuvieron menor puntuación.

4.4.2.4.1.- PRUEBA DE DUNCAN DEL ATRIBUTO PRESENTACIÓN PARA EL PRODUCTO

En la tabla 4-31, se muestra los resultados extraídos de la tabla C-3-12 (Anexo C-3) del análisis de tratamientos para el atributo presentación; los cuales fueron obtenidos mediante la prueba de Duncan.

Tabla 4-31
Prueba de Duncan del atributo presentación para el producto

Tratamientos	Efectos
AM6 – AM7=1,0 < 5,1616	No hay diferencia significativa
AM6 – AM2=1,1 < 5,4300	No hay diferencia significativa
AM6 – AM3=1,2 < 5,6072	No hay diferencia significativa
AM6 – AM4=1,3 < 5,7350	No hay diferencia significativa
AM6 – AM8=1,4 < 5,8354	No hay diferencia significativa
AM6 – AM5=1,4 < 5,9145	No hay diferencia significativa
AM6 – AM1=1,4 < 5,9808	No hay diferencia significativa
AM7 – AM2=0,1 < 5,1616	No hay diferencia significativa
AM7 – AM3=0,2 < 5,4300	No hay diferencia significativa
AM7 – AM4=0,3 < 5,6072	No hay diferencia significativa
AM7 – AM8=0,4 < 5,7350	No hay diferencia significativa
AM7 – AM5=0,4 < 5,8354	No hay diferencia significativa
AM7 – AM1=0,4 < 5,9145	No hay diferencia significativa
AM2 – AM3=0,1 < 5,9808	No hay diferencia significativa
AM2 – AM4=0,2 < 5,1616	No hay diferencia significativa
AM2 – AM8=0,3 < 5,4300	No hay diferencia significativa
AM2 – AM5=0,3 < 5,6072	No hay diferencia significativa
AM2 – AM1=0,3 < 5,7350	No hay diferencia significativa
AM3 – AM4=0,1 < 5,8354	No hay diferencia significativa
AM3 – AM8=0,2 < 5,9145	No hay diferencia significativa
AM3 – AM5=0,2 < 5,9808	No hay diferencia significativa
AM3 – AM1=0,2 < 5,1616	No hay diferencia significativa
AM4 – AM8=0,1 < 5,4300	No hay diferencia significativa
AM4 – AM5=0,1 < 5,6072	No hay diferencia significativa
AM4 – AM1=0,1 < 5,7350	No hay diferencia significativa
AM8 – AM5=0,0 < 5,8354	No hay diferencia significativa
AM8 – AM1=0,1 < 5,9145	No hay diferencia significativa
AM5 – AM1=0,0 < 5,9808	No hay diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4-31, se observa para todos los tratamientos, es decir para (AM6 – AM7); (AM6 – AM2); (AM6 – AM3); (AM6 – AM4); (AM6 – AM8); (AM6 – AM5); (AM6 – AM1); (AM7 – AM2); (AM7 – AM3); (AM7 – AM4); (AM7 – AM8); (AM7 – AM5); (AM7 – AM1); (AM2 – AM3); (AM2 – AM4); (AM2 – AM8); (AM2 – AM5); (AM2 – AM1); (AM3 – AM4); (AM3 – AM8); (AM3 – AM5); (AM3 – AM1); (AM4 – AM8); (AM4 – AM5); (AM4 – AM1); (AM8 – AM5);

(AM8 – AM1) y (AM5 – AM1), no existe evidencia estadística para un límite de confianza del 95%. Por lo tanto se tomó en cuenta la preferencia de los jueces por la muestra AM6, como la de mejor aceptación para el atributo presentación.

En base al análisis sensorial realizado para determinar la dosificación de insumos en la obtención de suplemento de calcio, los jueces tienen mayor preferencia por la muestras AM6 para los atributos aroma, sabor, textura y presentación; como la mejor opción.

4.4.3.- CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL PRODUCTO

En la tabla 4-32, se detalla la composición fisicoquímica del suplemento de calcio a partir de cáscara de huevo; en la cual se muestran los resultados del contenido de humedad, fibra, grasa y acidez (Anexo A) obtenidos de los análisis realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” de la ciudad de Tarija; como también en dicha tabla se puede ver el porcentaje de calcio que contiene el producto; estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de servicios dependiente del departamento de química de la facultad de ciencias y tecnología de la Universidad Mayor de San Simón de la ciudad de Cochabamba.

Tabla 4-32
Propiedades fisicoquímicas del producto

Componentes	Valores	Unidades
Humedad	0,17	%
Fibra	n.d	%
Grasa	1,18	%
Acidez	n.d	%
*Calcio	35,60	%

Fuente: CEANID, 2011; * Laboratorio de servicios de UMSS, 2011

Donde:

n.d = No detectado

En la tabla 4-32, se observa que el suplemento de calcio (citrato de calcio) a partir de cascarones de huevo presenta un contenido de humedad del 0.17 %, grasa 1,18% , el contenido de fibra y acidez expresada en % de ácido cítrico no fue detectado en la muestra. También se puede ver que la misma presenta un contenido de calcio del 35,60%.

4.4.4.- CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS DEL PRODUCTO

En la tabla 4-33, se muestran los resultados obtenidos (Anexo A) de los análisis microbiológicos del producto (suplemento de calcio), realizado en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID); dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

Tabla 4-33
Características microbiológicas del producto

Parámetro	Valores	Unidad
Coliformes totales	0	NMP/g
Salmonellas	Ausencia	p/a/25g

Fuente: CEANID, 2010

Como se puede observar en la tabla 4-33, los resultados indican que el producto no contiene presencia de coliformes totales 0 NMP/g y Ausencia de salmonellas (p/a/25g). Es decir, que el suplemento de calcio a partir de cascarones de huevo, es un producto apto para ser consumido.

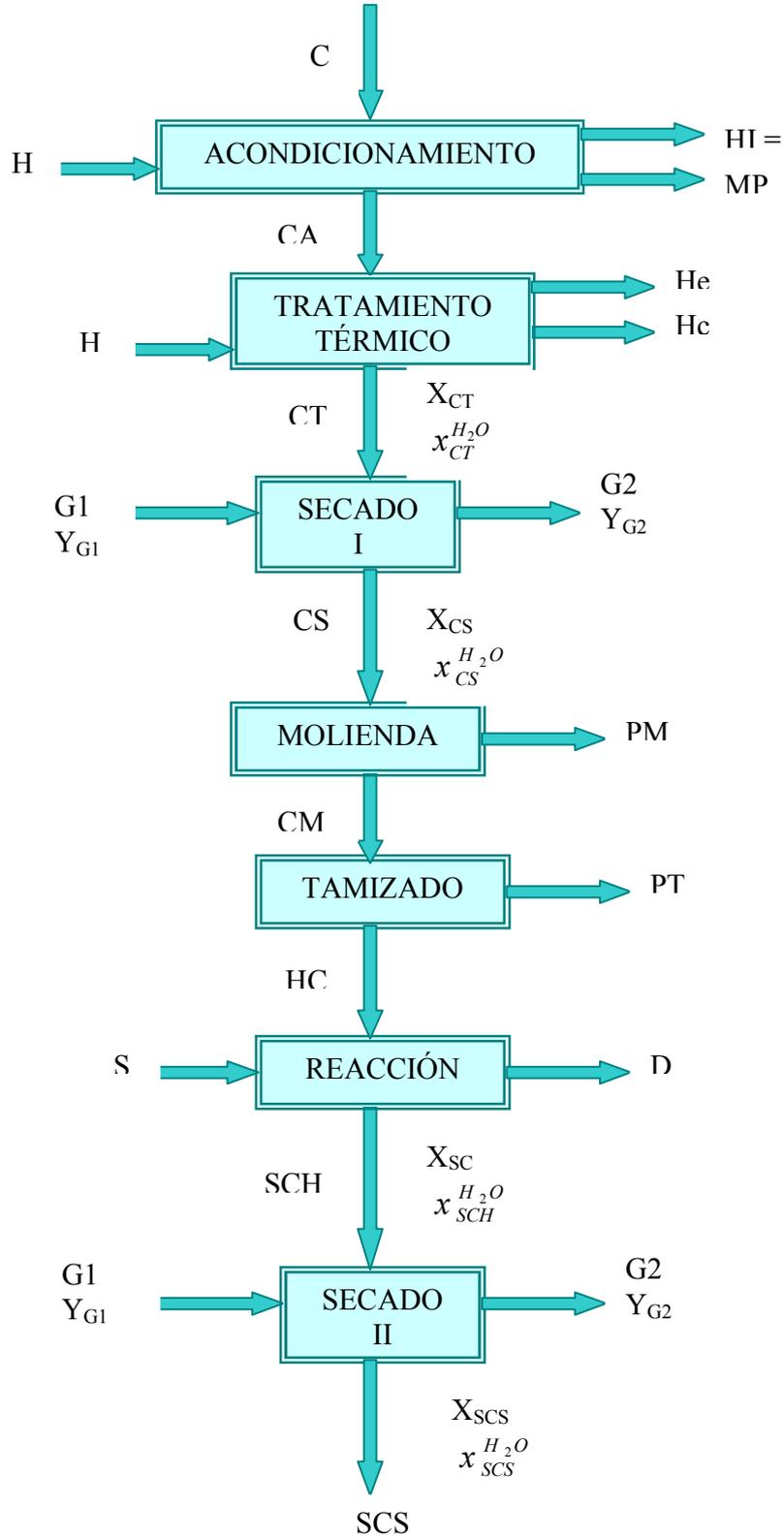
4.5.- BALANCE DE MATERIA DE LA OBTENCIÓN DE SUPLEMENTO DE CALCIO

Los balances de materia y energía son una contabilidad de entradas y salidas de materiales y energía de un proceso o de una parte de éste. Estos balances, se basan en las leyes de la conservación de la masa y la energía. Estas leyes indican que la masa y energía son constantes y que por lo tanto la masa y la energía entrante a un proceso,

deben ser iguales a la masa y energía salientes a menos que se produzca una acumulación dentro del proceso (Valiente, 1994)

El balance de materia para la obtención de *Suplemento de calcio*, se realizó tomando en cuenta el siguiente diagrama de bloques representado en la figura 4-21.

Figura 4-21
Diagrama de Bloques del balance de materia de “suplemento de calcio”



Donde:

C = Cantidad de cascarones de huevo de consumo (g)

H = Cantidad de agua potable (g)

HI = Cantidad de agua potable más impurezas (g)

MP = Cantidad de membranas (g)

CA = Cantidad de cascarones acondicionados (g)

He = Cantidad de agua evaporada (g)

Hc = Cantidad de agua caliente (g)

CT = Cantidad de cascarones tratados térmicamente (g)

X_{ct} = Humedad de los cascarones en base seca (g agua/g sólido seco)

$x_{CT}^{H_2O}$ = Fracción del contenido de humedad de cascarones

CS = Cantidad de cascarones secos (g)

X_{cs} = Humedad de los cascarones secos en base seca (g agua/g sólido seco)

$x_{CS}^{H_2O}$ = Fracción del contenido de humedad de cascarones secos

PM = Cantidad de pérdida en la molienda (g)

CM = Cantidad de cascarones molidos (g)

PT = Cantidad de pérdida en el tamizado (g)

HC = Cantidad de harina de cascarones (g)

S = Cantidad de solución ácida (g)

C = Cantidad de dióxido de carbono (g)

SCH = Cantidad de suplemento de calcio (g)

X_{SCH} = Humedad del suplemento en base seca (g agua/g sólido seco)

$x_{SCH}^{H_2O}$ = Fracción del contenido de humedad del suplemento de calcio

SCS = Cantidad de suplemento de calcio seco (g)

X_{SCS} = Humedad del suplemento en base seca (g agua/g sólido seco)

$x_{SCS}^{H_2O}$ = Fracción del contenido de humedad del suplemento seco

G1 = Cantidad de aire a la entrada del secador (m³/h)

G2 = Cantidad de aire a la salida del secador (m³/h)

Y_{G1} = Contenido de humedad inicial del aire (g agua/g aire seco)

Y_{G2} = Contenido de humedad final del aire (g agua/ g aire seco)

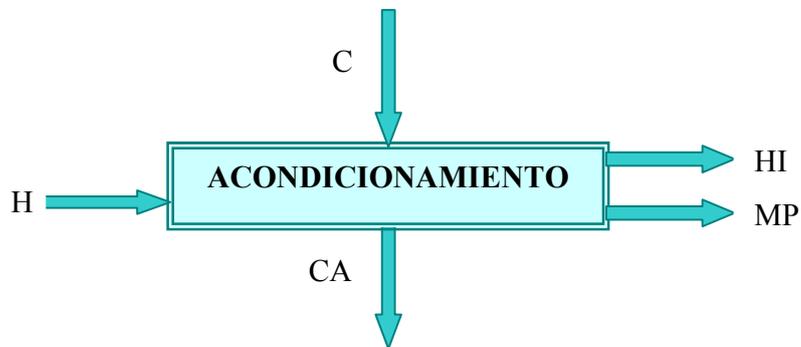
x_{PNC} = Fracción de la porción no comestible de los cascarones

x_{PC} = Fracción de la porción comestible de los cascarones

4.5.1.- BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

En la figura 4-22, se muestra el proceso de acondicionamiento de la materia prima. Para realizar el balance de materia, se tomó como base de cálculo de 1000g de cascarones de huevo de consumo. Donde la porción no comestible promedio de los cascarones es 19,70% (tabla 4-1), esto representa 197g de porción no comestible por cada 1000g de cascarones.

Figura 4-22
Balace de materia en el proceso de acondicionamiento



Donde:

C = Cantidad de cascarones de huevo de consumo = 1000g

H; HI = Cantidad de agua utilizada durante el acondicionamiento (g)

MP = Cantidad de membranas o porción no comestible = 197g

CA = Cantidad de cascarones acondicionados (g)

❖ Balance total de materia en el proceso de acondicionamiento:

$$C + H = CA + HI + MP \quad \text{[Ecuación 4-5]}$$

Considerando: $H = HI$

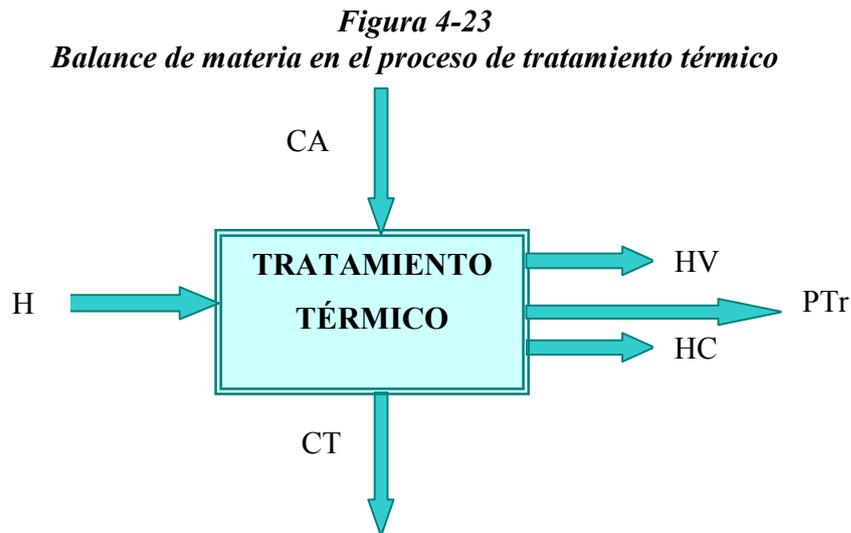
Despejando CA: $CA = C - MP$

Reemplazando datos: $CA = (1000 - 197) \text{ g}$

$$CA = 803\text{g}$$

4.5.2.- BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO DE LA MATERIA PRIMA

En la figura 4-23, se muestra el balance de materia en el proceso de tratamiento térmico de la materia prima (cascarones de huevo).



Donde:

H = Cantidad de agua inicial = 2 litros

CA = Cantidad de cascarones acondicionados = 803g

HV = Cantidad de agua evaporada (g)

HC = Cantidad de agua caliente = 1856,65g

PTr = Cantidad de pérdidas del tratamiento térmico (g)

CT = Cantidad de cascarones tratados térmicamente = 794g

❖ **Balace total de materia en el tratamiento térmico de los cascarones:**

$$CA + H = CT + H + HV + PTr \quad \text{[Ecuación 4-6]}$$

Para calcular la cantidad de masa de agua, es preciso considerar la densidad del agua (20 °C) que corresponde a 998,20 kg/m³ (Valiente, 1994); como también, la ecuación 4-7.

$$\delta = m/V \quad \text{[Ecuación 4-7]}$$

Despejando m de la ecuación 4-7 tenemos:

$$m = \delta V$$

Considerando que para este caso $m = H$

$$H = \delta V$$

$$H = 998,20 \text{ kg} / \text{m}^3 (2 \times 10^{-3} \text{ m}^3)$$

Por lo tanto, la masa del agua será:

$$H = 1,9964 \text{ kg} = 1996,40 \text{ g}$$

Para calcular la cantidad de agua evaporada en el proceso de tratamiento térmico, se utilizó la ecuación 4-8 citado por (O'Con-Tojo, 1978).

$$\Delta W = W_i - W_f \quad \text{[Ecuación 4-8]}$$

Donde:

$$\Delta W = \text{Cantidad de agua evaporada (g)} = HV$$

$$W_i = \text{Cantidad de agua inicial (g)} = H$$

$$W_f = \text{Cantidad de agua final (g)} = HC$$

Reordenando la ecuación 4-8:

$$HV = H - HC$$

Reemplazando datos: $HV = (1996,40 - 1856,65) \text{ g}$

$$HV = 139,75 \text{ g}$$

Despejando PTr de la ecuación 4-6:

$$PTr = CA + H - HC - HV - CT$$

Reemplazando datos:

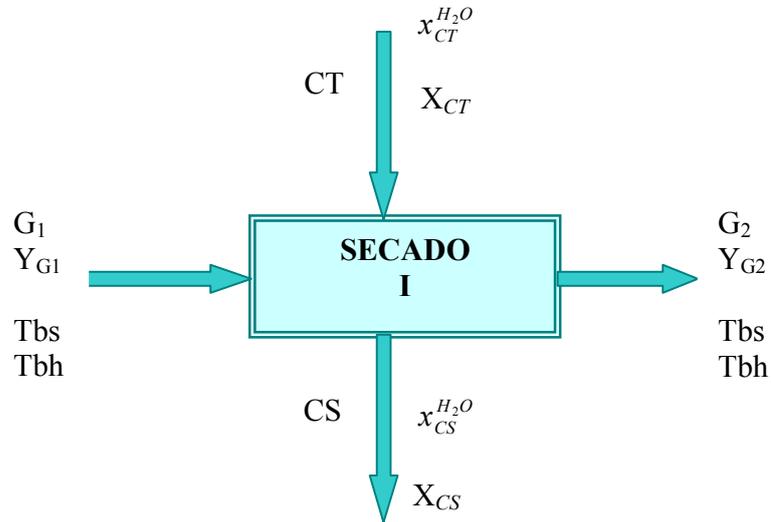
$$PTr = (803,00 + 1996,40 - 1856,65 - 139,75 - 794,00) \text{ g}$$

$$PTr = 9,00 \text{ g}$$

4.5.3.-BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE SECADO I DE LOS CASCARONES DE HUEVO

En la figura 4-24, se muestra el proceso de secado de cascarones (Secado I) para realizar el balance de materia; utilizando datos experimentales, como también el contenido de humedad de los cascarones tratados que es 10,9% (tabla 4-5).

Figura 4-24
Balance de materia en el proceso de secado I de cascarones de huevo



Donde:

- CT = Cantidad de cascarones que ingresan al secador =160 g
- X_{CT} = Humedad de los cascarones en base seca (g agua/g sólido seco)
- $x_{CT}^{H_2O}$ = Fracción del contenido de humedad de cascarones =10,9% =0,109
- G_1 = Cantidad de aire a la entrada del secador (m^3/h)
- G_2 = Cantidad de aire a la salida del secador (m^3/h)
- Y_{G1} = Contenido de humedad inicial del aire (g agua/g aire seco)
- Y_{G2} = Contenido de humedad final del aire (g agua/g aire seco)
- CS = Cantidad de cascarones secos =143,42g
- X_{cs} = Humedad de los cascarones en base seca (g agua/g sólido seco)
- $x_{CS}^{H_2O}$ = Fracción de humedad de cascarones secos =0,0046 =0,46%
- T_{bs} = Temperatura de bulbo seco ($^{\circ}C$)
- T_{bh} = Temperatura de bulbo húmedo ($^{\circ}C$)

En la tabla 4-34, se muestran las propiedades psicrométricas del aire en el secador; tomando en cuenta las condiciones atmosféricas del departamento de Tarija, cuya presión es 101,3Kpa y altitud de 1866 m.s.n.m (network, 2011).

Tabla 4-34
Propiedades psicrométricas del aire del secado I

Propiedades	Aire frío	Aire caliente	Aire saturado
T _{bs} (°C)	13	67	14
T _{bh} (°C)	25	69	32
V _e (m ³ /kg)	0,8164	0,9641	0,8223
Y (kg agua/kg aire)	0,00476	0,000567	0,00705
HR (%)	51,600	0,339	71,300
H (kJ/kg)	25,040	68,800	31,830

Fuente: Akton, 1996

❖ **Balance general de masa para el proceso de secado I:**

$$G1 + CT = G2 + CS \quad \text{[Ecuación 4-8]}$$

❖ **Balance parcial en base seca en el proceso de secado I:**

$$G1Y_{G1} + CTX_{CT} = G2Y_{G2} + CSX_{CS} \quad \text{[Ecuación 4-9]}$$

Considerando un sistema abierto: $G1 = G2$

$$CT = CS = S \text{ (cantidad del producto seco (g))}$$

Considerando ecuación 4-10, por (Valiente, 1994) y despejamos S:

$$S = CT * (1 - x_{CT}^{H_2O}) \quad \text{[Ecuación 4-10]}$$

Reemplazando datos: $S = 160g * (1 - 0,109)$

$$S = 142,56g$$

Para calcular la cantidad de agua evaporada en el secador, se utiliza la ecuación 4-11 citada por (Valiente, 1994).

$$WE = S (W_2 - W_3) \quad \text{[Ecuación 4-11]}$$

Donde:

WE = Cantidad de agua evaporada (g)

W_2 = Humedad en base seca del alimento (g agua/g sólido seco)

W_3 = Humedad en base seca del producto (g agua/g sólido seco)

Reordenando la ecuación 4-11 en función del contenido de humedad del alimento tenemos:

$$WE = S(X_{CT} - X_{CS})$$

Reemplazando datos tenemos:

$$WE = 142,46 \text{ g } (0,123345 - 0,0002789) \text{ g agua/g sólido seco}$$

$$WE = 17,443 \text{ g} = 0,01754 \text{ kg}$$

Reordenando la ecuación 4-9 tenemos:

$$GY_{G1} + SX_{SCH} = GY_{G2} + SX_{SCS}$$

$$SX_{SCH} - SX_{SCS} = G2Y_{G2} - G2Y_{G1}$$

$$S(X_{SCH} - X_{SCS}) = G2(Y_{G2} - Y_{G1})$$

$$G2 = \frac{S(X_{CT} - X_{CS})}{(Y_{G2} - Y_{G1})} \quad \text{[Ecuación 4-12]}$$

Reemplazando datos tenemos:

$$G2 = \frac{142,560 * (0,1223345 - 0,0002789)}{(0,00705 - 0,000567)}$$

$$G2 = \frac{2684,2115 \text{ g}}{1,5 \text{ h}}$$

$$G2 = 1789,4743 \text{ g/h}$$

Para calcular la cantidad de caudal de aire, se utilizó la ecuación 4-13 citada por (Valiente, 1994). Donde el volumen específico del aire a la salida del secador es $0,9641 \text{ m}^3/\text{kg} = 0,0009641 \text{ m}^3/\text{g}$, dato extraído de la tabla 4-34.

$$G = G2 * V_e \quad \text{[Ecuación 4-13]}$$

Donde:

$$G = \text{Volumen de aire seco (m}^3/\text{min)}$$

$$V_e = \text{Volumen específico del aire húmedo (m}^3/\text{g)}$$

Reemplazando datos tenemos:

$$G = 1789,4743 \text{ g/h} * 0,0009641 \text{ m}^3/\text{g}$$

$$G = 1,7252 \text{ m}^3/\text{h} = 0,02875 \text{ m}^3/\text{min}$$

Para calcular el caudal másico de aire caliente a la salida del secador, se utilizó la ecuación 4-14, citada por (Cassel-Ramírez, 2000).

$$m_{\text{aire}} = \frac{WE}{\Delta Y * ts} \quad \text{[Ecuación 4-14]}$$

Donde:

m_{aire} = Caudal másico (velocidad másica) de aire (kg/h)

WE = Cantidad de agua evaporada en el proceso de secado (kg)

ΔY = Variación de humedad absoluta (kg agua/kg aire seco) (tabla 4-34)

ts = Tiempo de secado de los cascarones = 1,5 horas

Así mismo, considerando la ecuación 4-15 para calcular la humedad absoluta:

$$\Delta Y = Y_s - Y_c \quad \text{[Ecuación 4-15]}$$

Reemplazando datos tenemos:

$$\Delta Y = (0,00705 - 0,000567) \text{kg agua / kg aire seco}$$

$$\Delta Y = 0,006483 \text{ kg agua / kg aire seco}$$

Asimismo, realizando los reemplazos de datos en la ecuación 4-14, se puede obtener el caudal másico de aire:

$$m_{aire} = \frac{0,01754 \text{ kg (agua evaporada)}}{(0,006483) \text{ kg agua / kg aire (1,5)h}}$$

$$m_{aire} = 4,0583 \text{ kg aire / h}$$

4.5.4.- BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE MOLIENDA

Para realizar el balance de materia en el proceso de molienda, se tomó 1000g como base de cálculo. En este proceso, también se estimó el consumo o gasto de energía en la molienda; tomando en cuenta las especificaciones técnicas del molino. Para realizar el cálculo de energía en el molino, se utilizó la ecuación 4-16, citada por (Valiente, 1994).

$$\theta = \frac{Q}{P} \quad \text{[Ecuación 4-16]}$$

Donde:

θ = tiempo de uso del molino $15 \text{ min} = 900 \text{ seg}$

Q = calor requerido

P = potencia del molino = $750 \text{ W} = 750 \frac{\text{J}}{\text{s}}$

Despejando el calor de la ecuación 4-16, tenemos:

$$Q = P * \theta$$

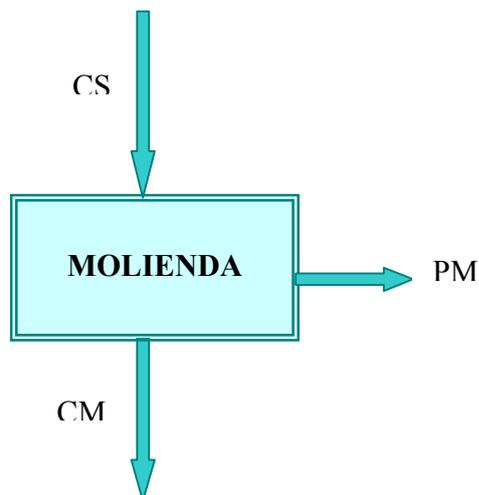
Reemplazando datos: $Q = 750 \frac{J}{s} * 900s$

$$Q = 675000J * \left(\frac{1kcal}{4185J} \right)$$

$$Q = 161 kcal$$

El gasto de energía en el proceso de molienda es de 161kcal para un tiempo de 15minutos. En la figura 4-25, se muestra el balance de materia del proceso de molienda de los cascarones secos.

Figura 4-25
Balance de materia en el proceso de molienda de los cascarones



Donde:

CS = Cantidad de cascarones secos = 1000g (base de cálculo)

PM = Cantidad de pérdida en la molienda (g)

CM = Cantidad de cascarones molidos (g)

❖ **Balance total de materia en el proceso de molienda de los cascarones:**

$$CS = PM + CM \quad \text{[Ecuación 4-17]}$$

Considerando el rendimiento de harina de cascarones, obtenido después del proceso de molienda de 96,13% (tabla 4-11)

Despejando PM de la ecuación 4-17: $PM = CS - CM$

Reemplazando datos:

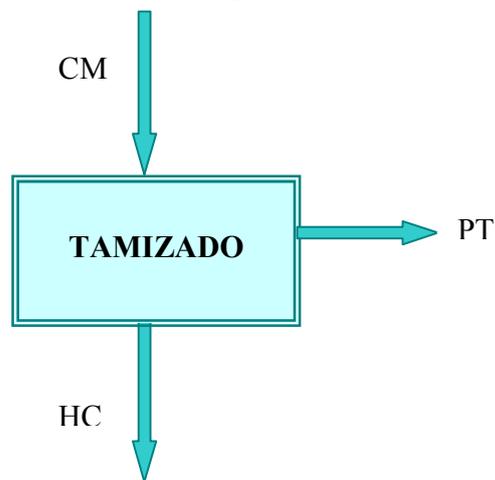
$$PM = (1000 - 961,3)g$$

$$PM = 38,7 g$$

4.5.5.- BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE TAMIZADO

En la figura 4-26, se muestra el balance de materia en el proceso de tamizado; para lo cual, se tomó en cuenta el rendimiento del proceso que es del 82,76% (tabla 4-11)

Figura 4-26
Balance de materia en el proceso de tamizado



Donde:

CM = Cantidad de cascarones molidos = 961,3g

PT = Cantidad de pérdida en el tamizado (g) = Retención del proceso

HC = Cantidad de harina de cascarones (g)

❖ **Balance total de materia en el proceso de tamizado:**

$$CM = PT + HC \quad \text{[Ecuación 4-17]}$$

Considerando que el rendimiento de harina de cascarones en el tamizado es 82,76% (tabla 4-11). Para tal efecto, se utilizó la siguiente relación matemática:

$$HC = \frac{961,30 * 82,76}{100} (g)$$

$$HC = 795,57g$$

Despejando PT de la ecuación 4-17:

$$PT = CM - HC$$

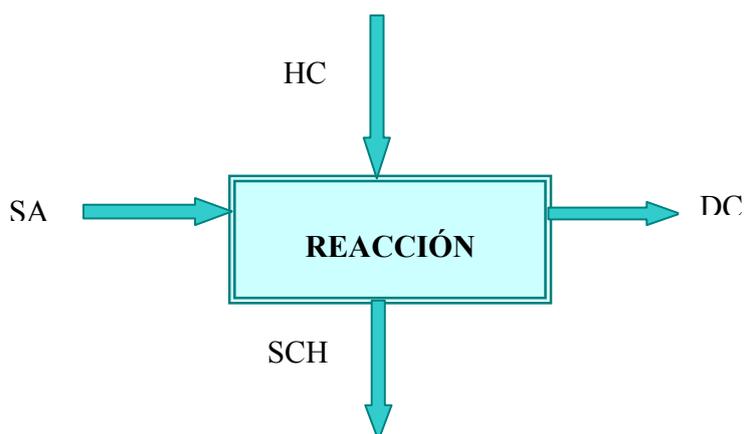
$$PT = 961,30 - 795,57(g)$$

$$PT = 165,73g \text{ (retención del proceso de tamizado)}$$

4.5.6.- BALANCE DE MATERIA EN LA REACCIÓN QUÍMICA DE OBTENCIÓN DE SUPLEMENTO DE CALCIO

En la figura 4-27, se muestra el balance de materia en el proceso de reacción química proceso de la reacción química en base a los datos experimentales.

Figura 4-27
Balance de materia en la reacción química



Donde:

HC = Harina de cascarones =20g

SA = Solución ácida al 1%(g) =15ml

DC = Dióxido de carbono (g)

SCH = Suplemento de calcio húmedo =32,03g

❖ **Balance total de materia en el proceso de reacción química:**

$$HC + SA = SCH + DC \quad \text{[Ecuación 4-18]}$$

Para calcular la masa de agua de la solución, se procede a despejar m de la ecuación 4-7:

$$m = \delta V$$

Considerando que para 1litro de solución, se tiene que:

$$m = 998,20 \text{kg} / \text{m}^3 (1 \times 10^{-3} \text{m}^3)$$

$$m = 998,20 \text{g}$$

Entonces 15ml de agua:

$$15 \text{mlH}_2\text{O} = \frac{15 * 998,2}{1000} (\text{g})$$

$$15 \text{mlH}_2\text{O} = 14,972 \text{g}$$

Tomando en cuenta que la concentración de la solución ácida es 1%; es decir, contiene 0,01g de ácido cítrico/ml de agua. Entonces, utilizamos la relación matemática:

$$SA = (15 * 0,01) + 14,972 (\text{g})$$

$$SA = 15,122 \text{g}$$

Despejando DC de ecuación 4-18: $DC = HC + SA - SCH$

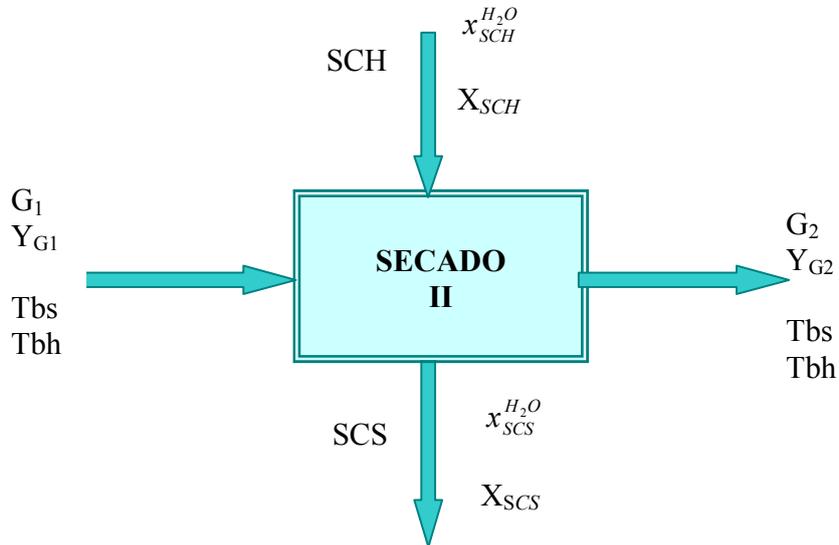
Reemplazando datos tenemos: $DC = 20,000 + 15,122 - 32,030 (\text{g})$

$$DC = 3,092 \text{g}$$

4.5.7.- BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE SECADO II DEL SUPLEMENTO DE CALCIO

En la figura 4-28, se muestra el proceso de secado II del suplemento de calcio. Para realizar el balance de materia, se utilizaron datos experimentales del proceso de secado del producto.

Figura 4-28
Balance de materia en el secado II del suplemento de calcio



Donde:

SCH = Cantidad de suplemento de calcio húmedo = 135,070g

X_{SCH} = Humedad del suplemento (g agua/g sólido seco) = 0,7395

$x_{SCH}^{H_2O}$ = Fracción del contenido de humedad del suplemento = 0,4707

G_1 = Cantidad de aire a la entrada del secador (m^3/h)

G_2 = Cantidad de aire a la salida del secador (m^3/h)

Y_{G1} = Humedad inicial del aire (g agua/g aire seco) (tabla 4-35)

Y_{G2} = Humedad final del aire (g agua/g aire seco) (tabla 4-35)

SCS = Cantidad de suplemento seco = 77,7g

X_{scs} = Humedad de cascarones secos (g agua/g sólido seco) = 0,00077

$x_{SCS}^{H_2O}$ = Fracción de humedad del suplemento seco = 0,17% = 0,00170

Tbs = Temperatura de bulbo seco ($^{\circ}C$)

Tbh = Temperatura de bulbo húmedo ($^{\circ}C$)

Ts = tiempo de secado = 2,5 (horas)

En la tabla 4-35, se muestran las propiedades psicrométricas del aire en el secador y tomando en cuenta las condiciones atmosféricas del departamento de Tarija; cuya presión es 101,3Kpa y altitud de 1866 m.s.n.m (netword, 2011)

Tabla 4-35
Propiedades psicrométricas del aire en el secado II

Propiedades	Aire frío	Aire caliente	Aire saturado
Tbs (°C)	12	68	15
Tbh (°C)	27	70	35
V _e (m ³ /kg)	0,8151	0,9668	0,8262
Y (kg agua/kg aire)	0,00596	0,000488	0,00784
HR (%)	68,800	0,281	74,2
H (kJ/kg)	27,050	69,610	34,83

Fuente: Akton,1996

❖ **Balance general de masa para el proceso de secado II:**

$$G1 + SCH = G2 + SCS \quad \text{[Ecuación 4-19]}$$

❖ **Balance parcial en base seca en el proceso de secado II:**

$$G1Y_{G1} + SCHX_{SCH} = G2Y_{G2} + SCSX_{SCS} \quad \text{[Ecuación 4-20]}$$

Considerando un sistema abierto: $G1 = G2$

$$SCH = SCS = S \text{ (Cantidad del producto seco g)}$$

Considerando la ecuación 4-10, despejamos S:

$$S = SCH * (1 - x_{SCH}^{H_2O})$$

Reemplazando datos:

$$S = 135,070 * (1 - 0,4707)(g)$$

$$S = 71,492g$$

Para calcular la cantidad de agua evaporada; se reordena la ecuación 4-11 en función del contenido de humedad del alimento:

$$WE = S(X_{SCH} - X_{SCS})$$

Reemplazando datos tenemos:

$$WE = 71,492 \text{ g } (0,7395 - 0,00077) \text{ g agua/g sólido seco}$$

$$WE = 52,818 \text{ g} = 0,05281\text{kg}$$

Reordenando la ecuación 4-9 tenemos:

$$GY_{G1} + SX_{SCH} = GY_{G2} + SX_{SCS}$$

$$SX_{SCH} - SX_{SCS} = G2Y_{G2} - G2Y_{G1}$$

$$S(X_{SCH} - X_{SCS}) = G2(Y_{G2} - Y_{G1})$$

$$G2 = \frac{S(X_{SCH} - X_{SCS})}{(Y_{G2} - Y_{G1})}$$

Reemplazando datos tenemos: $G2 = \frac{71,496 * (0,7395 - 0,00077)}{(0,00784 - 0,000488)}$

$$G2 = \frac{7183,928g}{2,5h}$$

$$G2 = 2873,571g/h$$

Para calcular el caudal de aire, reemplazamos los datos en ecuación 4-13:

$$G = 2873,571 * 0,0009668(m^3 / h)$$

$$G = 2,778m^3/h = 0,0463 m^3/min$$

Para calcular el caudal másico de aire caliente a la salida del secador, se utilizó la ecuación 4-14, citada por (Cassel-Ramírez, 2000).

Donde: $\Delta Y = Y_s - Y_c$

Reemplazando datos extraídos de la tabla 4-35 tenemos:

$$\Delta Y = (0,00784 - 0,000488)kgagua / kgaire sec o$$

$$\Delta Y = 0,007352 kg agua/kg aire seco$$

Reemplazando datos en la ecuación 4-14, se puede obtener el caudal másico de aire:

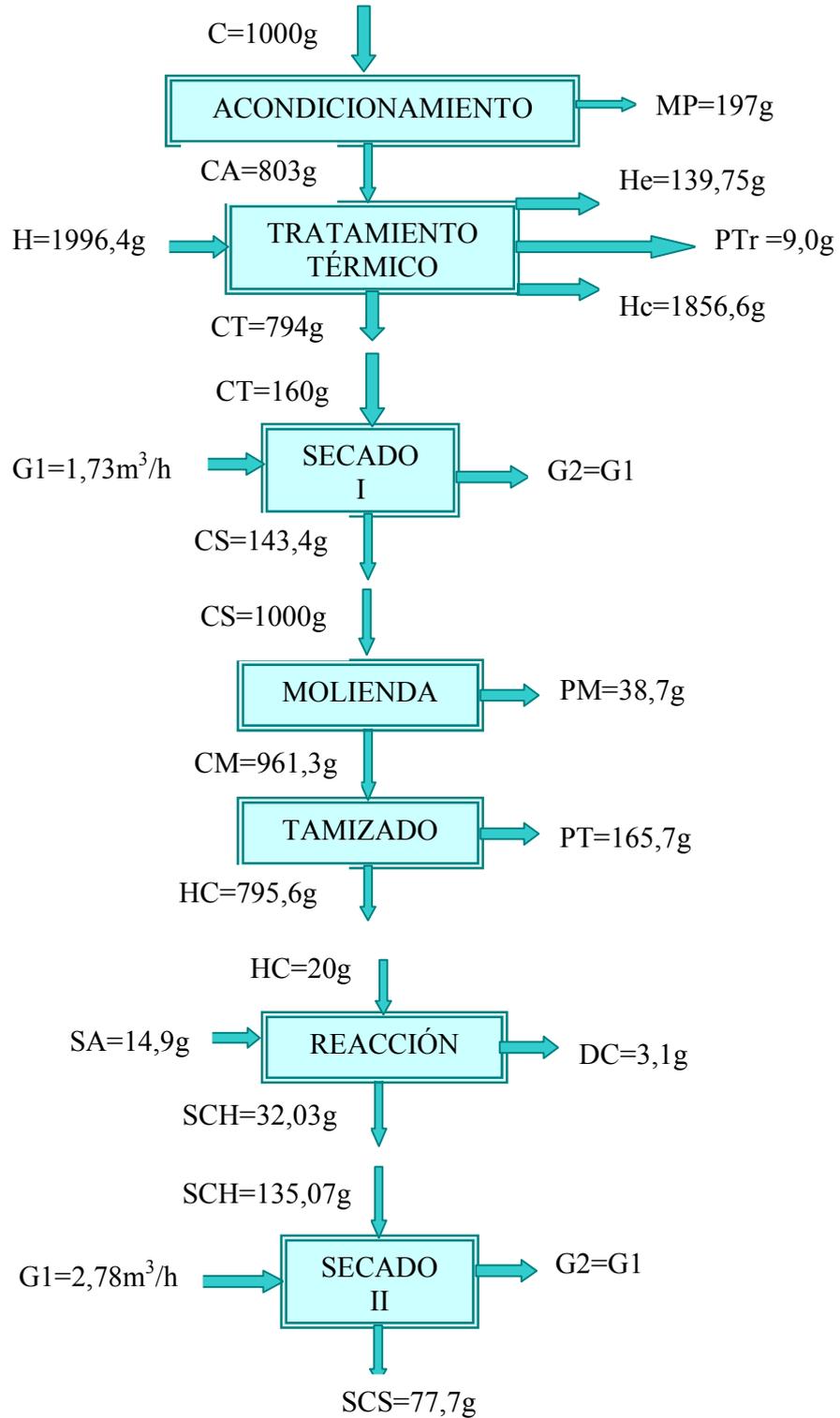
$$m_{aire} = \frac{0,05281kg(aguaevaporada)}{(0,007352)kgagua / kgaire(2,5)h}$$

$$m_{aire} = 17,9576kgaire / h$$

4.5.8.- RESUMEN DEL BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL SUPLEMENTO DE CALCIO

En la figura 4-29, se muestra el Resumen del balance de materia de “suplemento de calcio” donde se utilizaron datos experimentales del proceso de secado del producto.

Figura 4-29
Resumen del balance de materia de "suplemento de calcio"



4.6.- BALANCE DE ENERGÍA DE LA OBTENCIÓN DE SUPLEMENTO DE CALCIO

El balance de energía, se realizó en la etapa de tratamiento térmico de los cascarones; secado I de los cascarones y etapa de secado II del suplemento de calcio. Para realizar el cálculo de energía en el proceso de obtención de suplemento de calcio, se utilizó la ecuación 4-21; ecuación 4-22, ecuación 4-23; citadas por (Lewis, 1993).

$$Q = mCp\Delta T \quad \text{[Ecuación 4-21]}$$

$$Q_{ganado} + Q_{cedido} = 0 \quad \text{[Ecuación 4-22]}$$

Reordenando la ecuación 4-22 tenemos:

$$Q_{ganado} = - Q_{cedido} \quad \text{[Ecuación 4-23]}$$

4.6.1.- BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS CASCARONES

Para estimar la cantidad de calor durante el tratamiento térmico, se debe considerar la cantidad de calor para calentar el agua de 20°C hasta la temperatura de ebullición de 93°C. Por lo tanto, se tomó en cuenta la ecuación 4-21 citada por (Lewis, 1993).

$$Q = mCp\Delta T \quad \text{[Ecuación 4-21]}$$

Donde:

Q = Cantidad de calor (Kcal)

m = Cantidad de masa del alimento o muestra cualquiera (kg)

Cp = Capacidad calorífica del alimento (Kcal/kg.°C)

ΔT = Cambio de temperatura del alimento (°C)

Ordenando la ecuación 4-21 en función a las condiciones del proceso tenemos:

$$Q_{TT} = M_C * C_{pC} * \Delta T_1 + M_a * C_{pa} * \Delta T_2 + M_r * C_{pr} * \Delta T_3 + \lambda M_{a\text{ evp}} \quad \text{[Ecuación 4-24]}$$

Donde:

Q_{TT} = Calor requerido para el tratamiento térmico de los cascarones (kcal)

M_C = Masa de cascarones de huevo = 0,803 kg

C_{pC} = Capacidad calorífica de los cascarones = 0,2327 kcal/kg°C (Torrejón, 2005)

$\Delta T_1 = (T_f - T_i)$ Diferencia de temperatura de los cascarones = (93-20) °C

M_a = Masa de agua utilizada para el tratamiento térmico = 1,9964 kg

C_{p_a} = Capacidad calorífica del agua = 1kcal/kg°C (Valiente, 1994)

ΔT_2 = Diferencia de temperatura final e inicial del agua = (93-20) °C

M_r = Masa del recipiente (acero inoxidable) = 0,67 kg

C_{p_r} = Capacidad calorífica del recipiente (acero inoxidable)= 0,12 kcal/kg°C (Valiente, 1994).

ΔT_3 = Diferencia de temperatura final e inicial del recipiente = (95-20) °C

λ = Calor latente del agua = 540,53 kcal/kg (O'Con -Tojo, 1978)

$M_{a_{evp}}$ = Masa de agua evaporada en el tratamiento térmico = 0,13975 kg

Reemplazando los datos en la ecuación 4-24:

$$Q_{TT} = 0,803 * 0,2327 * (93-20) + 1,9964 * 1 * (93-20) + 0,67 * 0,12 * (95-20) + 540,53 * 0,13975$$

$Q_{TT} = 240,947 \text{ Kcal}$ Es el calor para el tratamiento térmico de los cascarones.

4.6.2.- BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE “SECADO I” DE LOS CASCARONES

Para determinar la cantidad de calor de evaporación en el proceso de secado I de los cascarones de huevo, se utilizó la ecuación 4-25, citada por (Marfat, 1994). La misma, es válida a presión constante, o sea, que el cambio de entalpía de un sistema; es igual al calor sólo cuando el proceso se lleva a cabo a presión constante; mediante la expresión matemática (4-26), citada por (Lewis, 1993).

$$Q_{vap} = m_{aire} C_{p_{aire}} (\Delta T) \quad \text{[Ecuación 4-25]}$$

Donde:

$C_{p_{aire}}$ = Capacidad calórico del aire (kcal/kg °C)

m_{aire} = Cantidad (caudal másico) de aire (kg/h)

ΔT = Variación de temperatura (°C)

Q_{vap} = Cantidad de calor por evaporación (kcal/h)

También la ecuación 4-25, se puede expresar como la ecuación 4-26 (Mafart, 1994)

$$\Delta H = Q_{vap} = m_{aire} C_{p_{aire}} (\Delta T) \quad \text{[Ecuación 4-26]}$$

Asimismo la ecuación 4-27, citada por (Valiente, 1994), se puede expresar como una función del cambio de entalpías iniciales y finales del aire en el secador:

$$Q_{vap} = m_{aire} C_{p\ aire} (\Delta T) = m_{aire} (H^{\circ}_{final} - H^{\circ}_{inicial}) \quad \text{[Ecuación 4-27]}$$

Al reordenar las ecuaciones (4-26) y (4-27), se pueden expresarse una nueva expresión matemática (4-28):

$$Q_{vap} = m_{aire} (\Delta H) \quad \text{[Ecuación 4-28]}$$

Reemplazando los valores encontrados para el aire de la tabla 4-34 y el caudal de aire frío en el secado I, se puede obtener:

$$Q1_{vap} = 4,0583 \frac{kg}{h} (68,800 - 25,040) \frac{kJoule}{kg}$$

$$Q1_{vap} = 4,0583 \frac{kg}{h} \left(43,760 \frac{kJoule}{kg} \right) \left(\frac{0,23884 kcal / kg}{1kJoule / kg} \right) (1,5h)$$

$$Q1_{vap} = 63,624 kcal$$

4.6.3.- BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE SECADO II DEL SUPLEMENTO DE CALCIO

Para determinar la cantidad de calor de evaporación, en el proceso de secado II del suplemento de calcio, se utilizó la ecuación 4-25.

$$Q_{vap} = m_{aire} (\Delta H)$$

Reemplazando los valores encontrados para el aire de la tabla 4-35 y el caudal de aire frío en el secado II, se puede obtener:

$$Q2_{vap} = 17,9576 \frac{kg}{h} (69,610 - 27,050) \frac{kJoule}{kg}$$

$$Q2_{vap} = 17,9576 \frac{kg}{h} \left(42,560 \frac{kJoule}{kg} \right) \left(\frac{0,23884 kcal / kg}{1kJoule / kg} \right) (2,5h)$$

$$Q2_{vap} = 456,349 kcal$$

4.6.4.- BALANCE DE TOTAL DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE OBTENCIÓN DEL SUPLEMENTO DE CALCIO

Cálculo del calor total del proceso de obtención del suplemento cálcico:

Considerando la ecuación 4-29; la cantidad total de calor para la obtención de suplemento de calcio será:

$$Q_T = Q_{TT} + Q_{1\text{ vap}} + Q_{2\text{ vap}} \quad \text{[Ecuación 4-29]}$$

$$Q_T = 240,947\text{kcal} + 63,624 \text{ kcal} + 456,349\text{kcal}$$

$$\mathbf{Q_T = 760,920 \text{ kcal}}$$

El calor total del proceso de obtención de suplemento de calcio es de **760,920kcal**.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1.- CONCLUSIONES

- ◆ De acuerdo a las características físicas determinadas en los cascarones de huevo (variedad de consumo), presentó un peso promedio de cascarón (completo) 7,66g; peso de membrana del cascarón 1,51g; peso de cascarón (sin membrana) 6,15g; porción no comestible 19,7% y porción comestible de 80,29%.
- ◆ Según los resultados del análisis microbiológico de los cascarones de huevo (sin tratamiento térmico), presentó una carga microbiana inicial de $2,4 \times 10^7$ NMP/g coliformes totales; y ausencia de salmonellas.
- ◆ Se determinó que el tiempo más adecuado de tratamiento térmico para los cascarones es de 5 minutos; según los resultados de los análisis microbiológicos donde la muestra 1 (tratada térmicamente 2 min) contiene $1,6 \times 10^7$ NMP/g y la muestra 2 (tratada térmicamente 5 min) $4,6 \times 10^4$ NMP/g de coliformes totales y en ambas ausencia de salmonellas.
- ◆ Se estableció que el contenido de humedad de los cascarones de la muestra 2 tratada térmicamente durante 5 minutos es 10,9%; mientras que la muestra 1 tratada térmicamente durante 2 minutos contiene 8,16% de humedad.
- ◆ En el proceso de secado I de los cascarones de huevo, se estableció que la variación de contenido de humedad en base seca de la muestra 2 para un tiempo final de 60 minutos es $X = 0,0002795$ (kg agua/kg sólido seco).
- ◆ De acuerdo a las características fisicoquímicas determinadas de la harina de cascarones, presentó un contenido de humedad del 0,46% y calcio 36,88%.

- ◆ En el proceso de molienda, se establece que la harina tiene un rendimiento del 96,13%, y tamizado 82,76%.
- ◆ Para las formulaciones de la obtención de suplemento de calcio, se determinó que la más adecuada fue de 20g de harina de cáscara, solución de ácido cítrico al 1% a 70°C y volumen constante 15ml.
- ◆ En la reacción química de neutralización ácido-base, se determinó en la mezcla de carbonato de calcio puro con ácido cítrico en solución, un rendimiento teórico del 78,77% de citrato de calcio y en la mezcla de harina de cascarones de huevo con ácido cítrico del 73,73%.
- ◆ En el diseño factorial 2^3 aplicado al proceso de obtención de suplemento de calcio, se estableció que el factor M (harina de cáscara de huevo), es altamente significativo y el factor C (concentración de la solución ácida) es significativo; mientras el factor T (temperatura de la solución) y las interacciones (M-C); (C-T); (MT); (MCT); no son significativos estadísticamente para $p < 0,05$.
- ◆ De acuerdo a los resultados de variación del contenido de humedad en el proceso de secado II del suplemento cálcico, se estableció que la muestra 6 (20g de harina; solución al 1% de ácido cítrico y 70°C temperatura de la solución ácida), es la más apropiada para el proceso con $X=0,0015416$ (kg agua/kg sólido seco) para un tiempo total de 100 minutos.
- ◆ De acuerdo a los resultados del análisis sensorial realizado al producto (suplemento de calcio), se estableció que la muestra 6 (20g de harina, solución 1% de ácido cítrico y 70°C de temperatura), obtuvo el mayor puntaje promedio en escala hedónica para los atributos sensoriales de aroma con (6,6); sabor (7,0); textura (8,1) y presentación (8,2).

- ◆ De acuerdo a las características fisicoquímicas del producto (suplemento de calcio), presentó un contenido de humedad del 0,17 %, grasa 1,18%, fibra nd, acidez expresada (ácido cítrico) nd y contenido de calcio del 35,60%.
- ◆ Según los resultados del análisis microbiológico del suplemento de calcio (citrato cálcico), presentó una carga microbiana final de 0NMP/g de coliformes totales; y ausencia de salmonellas.

5.2.- RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar análisis de pureza de citrato de calcio en el producto, con la finalidad de cuantificar la dosis a ser suministrada en la dieta alimentaria.
- Se recomienda realizar pruebas de asimilación del suplemento de calcio, dirigidas a grupos específicos con la finalidad de valorar la absorción de calcio mediante mediciones de densidad ósea.
- Se recomienda realizar la implementación de una pequeña planta piloto en la provincia Cercado de la ciudad de Tarija, con la finalidad de aprovechar la cáscara de huevo que actualmente es un desecho doméstico.