

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

DESARROLLO DE HUEVO DESHIDRATADO CON
BAJO CONTENIDO DE COLESTEROL

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
QUIMICA DE ALIMENTOS
P R E S E N T A:

LAURA GONZALEZ REYES

MEXICO, D. F.

1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

274059



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado:

Presidente	Prof. Ángela Sotelo López
Vocal	Prof. Bernardo Lucas Florentino
Secretario	Prof. Miguel Hernández Infante
1er. Suplente	Prof. Lucía Gabriela Bascuñán Termini
2do. Suplente	Prof. Lucía Comejo Barrera

Sitio donde se desarrolló el tema:

Laboratorio 111, Departamento de Farmacia
Edificio E, Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria

Asesor del Tema



M. en C. Ángela Sotelo López

Sustentante



Laura González Reyes

A mis padres.

A Pollo.

A mi familia.

A Ericka y Nahanny.

A mis amigas Claudia, Gisela, Cynthia y Yesica.

A Cristina y Angélica.

A Ramón.

A la maestra Ángela Sotelo, por su ejemplo y dirección.
A los profesores del jurado por su tiempo y dedicación.

A Lety y Rosita por ayudarme a salir adelante.
A la Señora Vicky, por tantas sonrisas regaladas.

A la maestra Vicky Coutiño y la Señora Alicia Jiménez Gómez,
por su ayuda para la realización de la evaluación sensorial de
este trabajo.

A Hugo, por todo.

Al doctor José Saniger, por mostrarme su mundo.

A todos ustedes que de alguna manera han sido parte
de mi vida...

...ii GRACIAS !!.

ÍNDICE

I. Introducción	1
II. Objetivos	3
III. Antecedentes	4
1. Huevo	4
2. Análisis proximal	6
3. Colesterol	8
4. Conservación por secado	10
5. Pruebas para alimentos en polvo	12
6. Análisis microbiológico	16
7. Prueba biológica	20
8. Digestibilidad	20
9. Evaluación sensorial	21
IV. Parte Experimental	22
1. Análisis proximal	24
2. Colesterol	28
3. Secado por aspersión	29
4. Propiedades físicas	30
5. Pruebas de reconstitución	31
6. Pruebas reológicas	33
7. Pruebas de estabilidad	35
8. Análisis microbiológico	36
9. Prueba biológica	45
10. Digestibilidad	47
11. Evaluación sensorial	48
V. Resultados y Discusión	52
VI. Conclusiones	74
VII. Bibliografía	76

INTRODUCCIÓN

En su calidad de mamífero omnívoro, el hombre siempre se ha alimentado de huevo. Considerado como alimento universal, el huevo, especialmente el de gallina, es consumido en todo el mundo y ello no es de extrañarse ya que, además de su densidad nutritiva y eficiencia proteínica, es un producto de fácil acceso y bajo costo.¹

Sin embargo, el elevado contenido de colesterol es una grave desventaja al utilizar el huevo como alimento constitutivo de la dieta cotidiana del hombre, especialmente en aquellas personas mayores de 50 años a quienes por prescripción médica se limita el consumo de este alimento.

El desarrollo de una técnica sencilla para la disminución del contenido de colesterol en el huevo, sin encarecer excesivamente el producto final sería de gran utilidad para la alimentación del hombre; ayudaría en tratamientos preventivos de aterosclerosis y podría ser utilizado en el procesamiento de alimentos, con todas las ventajas nutricionales del huevo y sin los problemas del exceso de colesterol; teniéndolo al alcance de la mayoría de la población (aún cuando se trata de un alimento caro). Esto es importante para el caso de nuestro país, ya que algunas investigaciones realizadas muestran que México es apenas el cuarto mayor consumidor de huevo en el ámbito mundial (16.4 Kg. per capita en 1997).²

En la mayoría de los artículos revisados, se plantea la determinación de colesterol por métodos sumamente complejos; sin embargo, en este estudio se utiliza de un método accesible, con alto índice de reproducibilidad que sería sencillo de implementar en las líneas de producción y facilitaría el monitoreo del producto final.

Los estudios previos sobre el tema se han centrado en extraer el colesterol de la materia prima, lo cual genera problemas de residuos indeseables en el producto, así como la producción de desechos inutilizables.

Se propone una técnica consistente en la preparación de mezclas de yema y clara en diferentes proporciones, de forma que se reduzca la cantidad de colesterol al disminuir la proporción de yema en el producto, ya que el contenido de colesterol en la clara es despreciable, como se muestra en la siguiente tabla:³

ANÁLISIS DEL CONTENIDO GRASO EN LOS COMPONENTES DEL HUEVO

	Ac. grasos saturados (g)	Grasa total (g)	Coolesterol (mg)
1 yema (~17 g)	1.7	5.6	272
1 clara (~33 g)	~ 0	~ 0	~ 0
1 entero (~50 g)	1.7	5.6	272

FUENTE: HUI, Y.H. Encyclopedia of Food Science and Technology, John Wiley and Sons, Inc., E.U.A., 1992, p. 411

Estas mezclas, a su vez, serán secadas por aspersión, de forma que al disminuir la cantidad de agua en las muestras disminuya la propensión a contaminación bacteriana y mejoren las condiciones de transporte y almacenamiento del producto procesado.

Se realizarán otras pruebas para determinar la viabilidad del producto como alimento apto para consumo humano. En caso de que se utilizara un procedimiento estandarizado, no sería necesaria la aplicación de todas ellas al manufacturar el producto.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Desarrollar un proceso para obtener huevo en polvo con bajo contenido de colesterol para su consumo en diferentes formas por personas a quienes se ha limitado la utilización del huevo en su dieta por problemas cardiovasculares.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- Verificar, a través de pruebas químicas y biológicas, la calidad nutricia del producto.
- Analizar las características sensoriales del producto.
- Analizar las características microbiológicas del producto.
- Analizar algunas propiedades físicas del producto.

ANTECEDENTES

1. HUEVO

Además de que es consumido de un sinnúmero de maneras, el huevo realiza una amplia serie de funciones en los productos en que se le utiliza como ingrediente: es un buen emulsificante (mayonesa); actúa como agente gelante (flanes); como material de cubierta (croquetas); como agente espesante (reellenos) y material estructural (pasteles). Cuando se bate hasta formar espuma, el huevo sirve como un medio de incorporar aire en los merengues y demás alimentos de espuma.⁴

Gran parte de los huevos y sus derivados que utilizan las industrias alimentarias, son adquiridos por éstas como producto en polvo o congelado. Con la congelación o deshidratación se pretende que mantengan, en la medida de lo posible, las características originales del huevo fresco.⁵

Aún cuando el huevo contiene aproximadamente 74% de humedad, es una fuente rica de una proteína de muy alta calidad;⁶ a tal grado que se le ha utilizado en muchos estudios de investigación. Entre los estudios realizados se ha determinado que la proteína del huevo es una de las más completas que se tiene, ya que en pruebas biológicas las investigaciones han determinado valores experimentales mínimos de relación de eficiencia proteínica (R.E.P.) de 3.⁷

Además de su aporte proteínico a la dieta, el huevo es una fuente importante de ácidos grasos insaturados (oléico), hierro, fósforo, minerales traza, vitaminas A, E y K, así como de vitaminas del complejo B, incluyendo la B₁₂.⁸ Es una buena fuente natural de la vitamina D, aunque no la mejor, y su contenido de vitamina C y calcio es prácticamente nulo al desechar el cascarón.⁹

Sin embargo, como se ha señalado, una grave desventaja del consumo de huevo es su elevado contenido de colesterol. Algunos estudios han revelado que el consumo de huevo aporta el 40% de la ingesta total de colesterol en la dieta de una persona media, y se recomienda que la ingesta de colesterol en adultos no sea mayor a 300-350 mg diarios.¹⁰

La composición media reportada para el huevo entero deshidratado es:¹¹

COMPONENTE	g/100g HUEVO
Proteína	45.8
Grasa	41.8
Humedad	4.1
Carbohidratos	4.7
Colesterol	1.92
Energía (Kcal)	594

FUENTE: MUÑOZ. Tablas de Valor Nutritivo..., Editorial Pax, México, p. 232

Un huevo promedio se compone aproximadamente de 11% de cascarón, 31% de yema y 56% de clara. La yema consiste de la latebra, el disco germinal y la membrana de vitelina que la rodea; la clara también se divide en distintas capas, que se diferencian básicamente por tener distintas consistencias; una parte importante es la chalaza que se encarga de mantener fija la yema en la parte central del huevo.¹²

Funcionalmente, la yema constituye el embrión para dar lugar a un nuevo individuo. Algunos estudios sobre su composición muestran que su microestructura se basa en gránulos proteínicos formados por tres fracciones principales:

- Lipoproteínas de baja densidad,
- Lipovitelina y
- Fosvitina,

que se relacionan por puentes fosfocálcicos entre los grupos fosfato de los tres grupos de proteína.¹³

Por otra parte, los componentes de la clara constituyen los nutrientes y las defensas necesarias para asegurar la realización del embrión; la ovoalbúmina que es la proteína mayoritaria (o clara de huevo) hace dos contribuciones básicas contra la defensa antimicrobiana.⁹

- Mecánica
 - Viscosidad de la proteína.
 - Organización de la albúmina rodeando al embrión.
- Química
 - Es un medio no apropiado para el crecimiento microbiano.
 - Posee un componente tóxico: lisozima.

La lisozima es una enzima (P.M. 57000 g/mol) cuyo centro activo es compatible con péptido-glucanos de cadena larga. Tiene la característica de provocar la lisis celular al hidrolizar los enlaces $\beta(1-4)$ glucosídicos del esqueleto polisacárido del peptidoglucano. Los productos de la acción de la lisozima son disacáridos a los que todavía se hallan unidas las cadenas laterales peptídicas. Una vez escindido el esqueleto de esta manera, la célula se hincha con ruptura de la membrana y del contenido celular.¹⁴

Cuando los huevos industrializados se utilizan en alimentos preparados, se deben observar dos propiedades funcionales específicas:

- La capacidad de formar una espuma estable con la clara,
- La capacidad de formar un buen agente emulsificante con las yemas.

Ambas propiedades están relacionadas con la composición del huevo.¹⁵

2. ANÁLISIS PROXIMAL

Se entiende por análisis proximal la determinación conjunta de un grupo de sustancias estrechamente emparentadas; comprende la determinación del contenido en agua, proteína, grasa (extracto etéreo), ceniza y fibra,⁵ de acuerdo con las siguientes consideraciones:

A. HUMEDAD¹⁶

Es el material perdido por un alimento durante su calentamiento a temperaturas no superiores a la de ebullición del agua (en caso de que se utilice vacío), o temperaturas de 110 o 130°C; o al ponerlo en contacto con un agente deshidratante; o por calentamiento al vacío.

Permite saber la cantidad real de otros nutrimentos en el alimento, así como establecer una aproximación de su estabilidad.^{5, 17}

B. CENIZAS¹⁶

Esta determinación brinda información respecto del grado de refinación del alimento; además, permite cuantificar la materia orgánica presente y realizar determinación de minerales.^{5, 17}

C. PROTEÍNA CRUDA¹⁶

Esta determinación incluye al nitrógeno proveniente de las proteínas de la muestra y al nitrógeno de los cuerpos nitrogenados no proteínicos como aminoácidos y aminos libres.

El método más común es el propuesto por Kjeldahl, que supone una composición de 16% de nitrógeno en las proteínas de la mayoría de los alimentos; pero se ha calculado un factor para grupos especiales de alimentos.

La cantidad de proteínas en un alimento es importante, ya que son nutrimentos indispensables para el organismo y contribuyen a las propiedades organolépticas y reológicas del alimento; esta determinación, además, constituye un índice de calidad en diferentes alimentos.^{5, 17}

D. GRASA CRUDA¹⁶

La información que se obtiene del extracto etéreo es importante ya que las grasas son fuente importante de calorías; permiten almacenar vitaminas liposolubles; forman parte de la membrana celular; realizan funciones de transporte de algunas proteínas; influyen en las características organolépticas del alimento; y permiten conocer la posible adulteración del mismo.

E. FIBRA CRUDA¹⁶

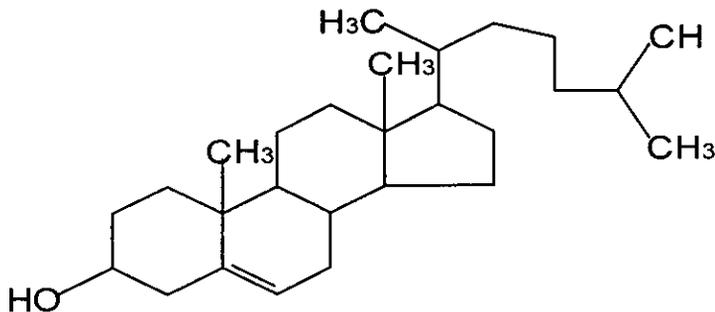
Está compuesta por carbohidratos no asimilables como celulosa, lignina y pentosanos.¹⁸ La fibra beneficia las funciones intestinales¹⁹ y, dado que es característica de los tejidos vegetales, en este caso no se realizó su determinación en el huevo; sin embargo, se utilizó en la caracterización de la harina de maíz nixtamalizado utilizada en la preparación de las dietas para la prueba biológica.

F. CARBOHIDRATOS ASIMILABLES¹⁶

Son la fuente energética más importante de los alimentos y su obtención para el análisis proximal es por diferencia a partir de los demás componentes del alimento.

3. COLESTEROL

Es un esteroide, grupo de lípidos cíclicos basados en el ciclopentano-perhidrofenantreno y tiene un esqueleto de 27 átomos de carbono; en el ser humano, participa en la estructura de las membranas celulares y es precursor de hormonas esteroides y sales biliares; es un nutrimento, puesto que es una sustancia indispensable para el metabolismo.²⁰ A su vez, el colesterol es sintetizado en cantidad suficiente a partir de acetil coenzima A, y se encuentra básicamente en los alimentos de origen animal,^{21, 22} que, entre otras cosas, son fuente de minerales y vitaminas.²³ Presenta la siguiente estructura.²⁰



Debido a su naturaleza lipídica, en los alimentos de origen animal el colesterol se encuentra en la fracción liposoluble. Es el caso de la yema del huevo, el tejido adiposo, la grasa de las carnes y la grasa de la leche.²⁰

Como es sintetizado por el organismo, se trata de un nutrimento dispensable en la dieta. Su síntesis es muy activa y ocurre en forma casi continua. El colesterol es sintetizado por todos los tejidos, aunque en mayor cantidad por el hígado y el intestino. En el intestino hay colesterol de dos orígenes: el de la dieta, que por lo general está esterificado y tiene que ser desdoblado por la colesteryl esterasa (colesterol exógeno), y el colesterol que proviene de la degradación de las sales biliares y se encuentra en forma libre (colesterol endógeno). El colesterol endógeno se absorbe en un 70% y el resto se pierde en las heces que, así, son la principal vía de excreción de colesterol que tiene el organismo. Por su parte, el colesterol exógeno se absorbe menos que el endógeno y contribuye más al colesterol fecal.²⁰

Como el resto de los nutrimentos, el colesterol se transporta hacia los tejidos por la sangre; debido a sus propiedades químicas, la mayor parte del colesterol se transporta en combinación con los ácidos grasos.⁹ El exceso de lípidos en el torrente sanguíneo propicia la formación de depósitos en los vasos elevando la posibilidad de que se presente un trastorno fisiológico llamado aterosclerosis.

La aterosclerosis es un padecimiento de las tres clases principales de arterioesclerosis (endurecimiento de las arterias); su característica principal es la presencia de ateromas en la pared interna de las arterias, que de manera progresiva entorpecen la circulación de la sangre y en ocasiones llegan a interrumpirla. El descubrimiento de la presencia de colesterol en los ateromas, fue determinante para iniciar una serie de estudios que permitieron establecer que la aterosclerosis tuviera un origen alimentario.²⁰

La preocupación por el consumo excesivo de colesterol en la dieta ha aumentado²⁴ debido a los trastornos fisiológicos que produce; por lo tanto, una parte considerable de la tecnología actual se está centrando en disminuir la cantidad de colesterol del huevo, sobre todo para su uso en alimentos procesados. Sin embargo, se ha encontrado una elevada resistencia al cambio del nivel de colesterol en la yema²⁵. Asimismo, se ha incrementado el número de estudios centrados en comprender las variaciones ocasionadas al utilizar productos sustitutos del huevo y con baja concentración de colesterol.²⁶

Las técnicas que, hasta ahora, han presentado los resultados más prometedores tienen como base distintos principios:

- extracción con solventes^{27, 28, 29, 30}
- extracción con fluido supercrítico^{28, 31, 32}
- uso de reductasas del colesterol³³
- complejación con β -ciclodextrinas³³
- modificación en dieta de las gallinas ponedoras^{33, 34}
- administración de un inhibidor sintético de la reductasa HMG-CoA³⁵

Cada uno de estos métodos presenta distintas ventajas sobre los demás; sin embargo, todos implican la utilización de reactivos, material y equipo sofisticados, sin mencionar técnicas complicadas, las que también influyen sobre algunas propiedades funcionales de las proteínas del huevo.³⁶ Esto se traduce en la necesidad de una gran inversión tanto de tiempo como de recursos y, por lo tanto, se encarece el producto final.

Se han realizado varios estudios para optimizar las técnicas ya empleadas,³⁷ pero no se han logrado salvar todos los obstáculos enfrentados. Generalmente se ha partido de huevo crudo entero como materia prima para iniciar los desarrollos, teniendo especial cuidado en no interferir con las propiedades funcionales de las proteínas del huevo. Estudios centrados en la comparación de composición y propiedades funcionales de huevo normal con huevo con bajo contenido de colesterol²³ han mostrado que los tratamientos afectan las características intrínsecas del huevo sólo cuando existen condiciones que favorecen la desnaturalización de las proteínas. Por otro lado, en un estudio reciente se demostró que las proteínas del huevo inician su desnaturalización cuando sufren un calentamiento por encima de los 60°C durante tiempos significativos,²⁴ por lo tanto, mientras las condiciones de operación no sean más drásticas que éstas, teóricamente no habrá alteración de las propiedades funcionales del huevo.

4. CONSERVACIÓN POR SECADO

Se entiende por secado de los alimentos la extracción deliberada del agua que contienen. Es uno de los métodos más antiguos para conservar alimentos y su objetivo principal es alargar la vida de anaquel del producto.³⁸

La mayoría de los alimentos contienen humedad suficiente para que actúen sus propias enzimas y los microorganismos se desarrollen; si el secado permite mantener la actividad acuosa por debajo de la necesaria para la multiplicación y desarrollo microbiano, se obtendrá un alimento microbiológicamente estable,³⁹ por

lo que hace siglos se ha empleado la desecación como método de conservación de los alimentos, pues la aplicación de calor durante la desecación reduce el número total de microorganismos. La desecación generalmente destruye todas las levaduras y la mayoría de las bacterias, pero las esporas (bacterianas y fúngicas) suelen sobrevivir, lo mismo que las formas vegetativas de algunas bacterias termorresistentes; asimismo, si las condiciones durante el secado no son adecuadas, puede tener lugar la contaminación de la muestra por un mal proceso.¹⁶

Los métodos modernos de secado buscan otros fines adicionales a la simple preservación de los alimentos; la reducción de peso y algunas veces de volumen, constituyen una importante ventaja para el transporte y almacenamiento de estos productos.^{16, 37, 39}

Entre otras ventajas que presenta el huevo seco, se encuentran:⁹

- Se puede almacenar a bajo costo en condiciones de refrigeración con poco requerimiento de espacio.
- Se disminuye el costo por transporte.
- Es más fácil de manipular.
- Se le puede utilizar para la elaboración de alimentos procesados.

SECADO POR ASPERSIÓN

El secado por aspersión es el proceso de mayor aceptación para la formación de partículas; se emplea para la producción continua de sólidos secos en forma de polvo, partiendo de productos líquidos;⁴⁰ se apoya en desarrollos tecnológicos avanzados y su utilización en el tratamiento de alimentos procesados brinda enormes ventajas a la industria.⁴¹ Una de éstas es la conservación de las propiedades organolépticas y nutricionales de los alimentos, gracias a la rapidez con que se produce el secado.³⁹

La eliminación del agua de un alimento con alta proporción de líquido, tiene lugar cuando éste se atomiza en el aire caliente de la cámara de secado. Mientras las gotas de líquido son transportadas en la corriente de aire caliente, el agua se evapora y es arrastrada por el aire; una vez secas, las partículas sólidas así obtenidas abandonan la cámara de secado y se separan del aire mediante un ciclón. Mediante este proceso se logra que la humedad alcanzada sea inferior al 5%.⁴²

Existen algunos factores cuyo adecuado control reviste de especial importancia pues, de no lograrlo, se propicia el endurecimiento externo de las partículas del polvo debido a la mayor rapidez de evaporación de las capas exteriores;⁴³ estos factores son:

- Temperatura de entrada y salida
- Humedad relativa del aire
- Velocidad del flujo de aire
- Tiempo de secado
- Presión de entrada y salida

5. PRUEBAS PARA ALIMENTOS EN POLVO

Un alimento en polvo para uso comercial debe satisfacer algunas características; por lo que es importante contar con una metodología de análisis de polvos para conocerlas.⁴⁴ Las más importantes son:

A. PRUEBAS FÍSICAS¹⁶

El comportamiento físico de materiales en polvo está determinado por la magnitud del parámetro de cohesión entre las partículas; como la medición de la cohesión es difícil y poco confiable, se utilizan otros parámetros de medición. La información recolectada de estas pruebas es de gran utilidad para el control de procesamiento y almacenamiento del alimento y constituye un importante criterio de calidad tanto para el producto mismo como para las materias primas.⁴⁵

a. Humedad

El contenido de humedad influye en la conservación del alimento en polvo, ya que un contenido elevado favorece la desnaturalización de proteínas, por reacciones de Maillard con los carbohidratos.

b. Densidad

Es la relación entre el peso y el volumen; resulta ser una propiedad compleja, puesto que, entre otros, son tres los factores que la determinan:

- Densidad de las partículas, que se da por la densidad de los sólidos en polvo y el aire ocluido entre las partículas; éste último, a su vez, depende de otros factores como la cantidad de aire concentrado y las condiciones de secado.
- Cantidad de aire intersticial, que está determinada por la distribución del tamaño de partícula y el grado de aglomeración del polvo.
- Fluibilidad, que resulta del tamaño de las partículas; se busca tener partículas grandes que incrementen la fluibilidad del polvo, aún cuando esto tienda a disminuir la densidad.

B. PRUEBAS DE RECONSTITUCIÓN¹⁶

La reconstitución de una masa de polvo es complicada, ya que éste es una superficie compuesta con un gran sistema ramificado de capilares de varias dimensiones, distribuidas conforme a un patrón geométrico, y que tienen diferentes efectos de atracción.

a. Humectabilidad

Es la capacidad del agua de penetrar rápidamente en el seno del polvo; es un proceso en el cual la fase gaseosa de la superficie de la fase sólida es reemplazada por una fase líquida, estas tres fases coexisten durante algún tiempo. La presencia de triacilglicéridos de alto punto de fusión y la existencia de grasa libre son factores desfavorables para obtener una humectabilidad adecuada.

El factor determinante de la humectación es la tensión interfacial entre las partículas de superficie y el agua.

b. Solubilidad

La determinación del valor de la solubilidad es fundamentalmente empírica, ya que depende de factores como el método de deshidratación, la temperatura de secado, la acidez y el método de la determinación.

Los polvos humedecibles, dispersables y altamente solubles en agua pueden tener propiedades de almacenamiento inferiores a otros productos debido al contenido de humedad que presentan.⁴⁶

c. Volumen de sedimentación

Es la relación entre el volumen de equilibrio y el volumen total de la suspensión. Cuando se reconstituye un polvo de baja solubilidad, se forma en la base del recipiente un sedimento constituido en su mayoría por glóbulos de grasa.

Los valores del volumen de sedimentación van del cero al uno y si se alcanza la unidad se tiene una suspensión ideal, porque en estas condiciones no hay sedimentación y la suspensión tiene un aspecto agradable, pues no hay sobrenadante.

C. PRUEBAS REOLÓGICAS¹⁶

Las partículas sólidas del polvo se encuentran sometidas a distintas fuerzas: friccional, tensión superficial, mecánica, electrostática y cohesiva; las interacciones entre ellas determinan las propiedades de flujo del sólido y se estudian mediante las pruebas reológicas.

a. Ángulo de reposo

Es una de varias pruebas angulares posibles que se utiliza para evaluar la fluibilidad de los polvos y su valor es dependiente de las propiedades de la superficie de la partícula. Entre los factores que afectan el ángulo de reposo están: tamaño de partícula, deslizamiento, efectos de humedad y forma de las partículas.

No es una propiedad inherente a los polvos, pero su valor ayuda a conocer los parámetros de diseño del equipo y las condiciones de calidad. Un resultado de ángulo grande, generalmente se debe a un tamaño pequeño de partícula y fineza grande de las partículas.

b. Velocidad de flujo

Esta determinación es más adecuada para determinar la fluidez de un polvo, ya que se trata de un término dinámico; mientras que el ángulo de reposo es estático. Según el ángulo de reposo y el tipo de flujo, los polvos se clasifican de la siguiente forma.

TIPO DE FLUJO SEGÚN EL ÁNGULO DE REPOSO

TIPO DE FLUJO	ÁNGULO DE REPOSO
Muy ligero	< 25°
Ligero	25 – 55°
Moderado	56 – 60°
Cohesivo	> 60°

El resultado ideal es un flujo moderado.⁴⁷

D. PRUEBAS DE ESTABILIDAD¹⁶

a. Índice de acidez

La acidez de los alimentos grasos está íntimamente relacionada con la probabilidad de enranciamiento de los mismos. La liberación de ácidos grasos se incrementa en condiciones inadecuadas debido a la acción enzimática y al desarrollo de microorganismos.

b. Determinación de pH

La intensidad de los cambios que sufren los alimentos durante su conservación y almacenamiento está influida por la concentración del ión hidrógeno. Los valores de pH son representativos de la estabilidad del alimento.

6. PRUEBAS MICROBIOLÓGICAS

Muchos son los microorganismos transmitidos por los alimentos; sin embargo, el efecto patógeno o toxigénico no depende únicamente de la presencia del microorganismo, sino de algunos metabolitos producidos durante su crecimiento.^{48, 49} La contaminación de los alimentos puede tener lugar durante su industrialización o en la preparación que se le hace, pero existen también alimentos, como el huevo, que pueden estar contaminados desde su origen (*Salmonella sp.*).

Para aceptar un alimento como apto para consumo humano es indispensable que esté exento de microorganismos peligrosos o que su nivel sea tan bajo que se les pueda considerar como inocuos.

Debido a que es imposible analizar un alimento para detectar todos los microorganismos posibles que pueda contener, la práctica común es de hacer el análisis en busca de microorganismos indicadores, así como de algunos patógenos específicos.⁵⁰

A. MESÓFILOS AEROBIOS

La técnica más utilizada para investigar la carga bacteriana general de un alimento es el recuento en placa de mesófilos aerobios.⁵⁰ Cuando la concentración de mesófilos aerobios es elevada, se incrementa la probabilidad de que el alimento presente microorganismos patógenos.

Esta determinación permite evaluar la eficiencia del proceso en cuanto a posibles fuentes de contaminación, la aceptabilidad del alimento en términos del cumplimiento de la norma microbiana y la peligrosidad de ingerir el alimento.

B. COLIFORMES

Los microorganismos del grupo entérico constituyen uno de los mayores y mejor definidos entre las bacterias Gram-negativas no fotosintéticas. El representante clásico es *Escherichia coli*, uno de los integrantes más característicos de la flora intestinal normal de los mamíferos. Las bacterias coliformes de los géneros *Salmonella* y *Shigella* se relacionan estrechamente con ella; son bacterias patógenas, responsables de infecciones intestinales como la disentería bacilar, la fiebre tifoidea o la intoxicación alimentaria bacteriana.⁵⁰

Los organismos coliformes son buenos indicadores de contaminación fecal: son bacilos cortos, Gram-negativos, no esporulados, lactosa positivos con producción de gas en 48 horas a 35 °C, oxidasa negativos y resistentes a sales biliares y colorantes. Estas características son utilizadas para su identificación.

a. *Escherichia coli*

Este grupo se puede dividir en tres categorías de acuerdo a su comportamiento:

- Las patógenas oportunistas que son inofensivas en su hábitat normal, hasta que llegan a otros sitios o tejidos.
- Las enteropatógenas que causan gastroenteritis aguda en el tracto digestivo, especialmente en infantes.
- Las productoras de enterotoxinas que son incapaces de invadir la mucosa intestinal, pero dejan en libertad una enterotoxina que es absorbida por las membranas de las células epiteliales produciendo enfermedades similares al cólera y disentería bacilar.⁵¹

La presencia de *E. coli* indica una contaminación fecal y aumenta la posibilidad de presencia de *Salmonella* o algún otro patógeno intestinal.⁵²

b. *Salmonella*

Son bacilos no esporulados, pequeños y Gram-negativos. La toxiinfección alimenticia por *Salmonella* se produce por la ingestión de alimentos con una carga elevada de microorganismos activos. Todas las *Salmonellas* se consideran como potencialmente patógenas para el hombre.

**DIFERENCIAS ENTRE LAS CEPAS
DE *E. COLI* Y *SALMONELLA*⁵⁰**

CARACTERÍSTICAS	<i>ESCHERICHIA</i>	<i>SALMONELLA</i>
Patogeneidad para el hombre y animales	+ / -	+ / -
Motilidad	+ / -	+
Producción de gas por fermentación de glucosa	+	+ ^a
Fermentación de lactosa	+	-
β -galactosidasa	+	-
Utilización de citrato como fuente de carbono	-	+
Producción de indol a partir de triptofano	+	-

a Excepto en *S. Typhosa*

FUENTE: STANIER. Microbiología, p.597

C. OTROS MICROORGANISMOS

a. *Staphylococcus aureus*

Es un coco Gram-positivo, catalasa positivo y formador de enterotoxinas. La toxiinfección producida se manifiesta de modo fulminante, con vómito y diarrea abundantes. No todas las cepas son enterotoxigénicas. El humano es portador de este microorganismo, ya que habita de forma general en piel, fosas nasales, garganta, heridas infectadas y acné.

Aun cuando el microorganismo no es termorresistente, su enterotoxina sí lo es; por lo que los procesos de tratamientos térmicos no son suficientes para garantizar la inocuidad del alimento³⁹; algunos autores clasifican esta característica como toxiinfección, ya que no es necesaria la presencia del microorganismo en forma viable para generar el problema, basta con la presencia de la enterotoxina.

La presencia de cantidades elevadas de *S. aureus* es indicativa de un riesgo potencial para la salud, debido a la enterotoxina; así como una sanitización dudosa, sobre todo en el procesado de los alimentos.⁵

b. Hongos y levaduras

Los hongos tienen una gran ubicuidad en la naturaleza, siendo muy comunes en polvo y tierra, mientras que las levaduras se desarrollan con facilidad en los utensilios y el equipo mal lavado, que son utilizados para el manejo de carbohidratos, básicamente.

Los hongos son organismos eucarióticos y algunos pueden producir toxinas (micotoxinas); se pueden reproducir de forma sexual o asexual dependiendo de cada familia; en general, soportan presiones osmóticas elevadas, así como condiciones ácidas (pH entre 2 y 9). Aunque la forma vegetativa no resiste las temperaturas muy altas, las esporas sí son termorresistentes.

Las levaduras se distinguen de los hongos ya que su forma dominante es unicelular; generalmente se reproducen por gemación; son capaces de crecer en un amplio margen de temperatura, aunque las variedades patógenas tienen una temperatura óptima de crecimiento entre 30 y 37 °C; además de que se desarrollan mejor en medios con pH cercano a 3.5.

7. PRUEBA BIOLÓGICA

Existen diferentes formas de evaluar la calidad de una proteína; una de ellas es la utilización de pruebas biológicas. La prueba biológica utilizada en este caso para medir la calidad proteínica del huevo en ratas se basa en la ganancia de peso corporal de los animales.⁵³

RELACIÓN DE EFICIENCIA PROTEÍNIC (R.E.P)

El grado de crecimiento de un animal provee un cambio relativamente simple para evaluar el valor nutritivo de una proteína, ya que el crecimiento es un índice sensible a la disponibilidad de los aminoácidos.

El método fue introducido en 1919 por Osborne, Mendel y Ferry y corresponde al peso ganado por el animal sobre la proteína consumida, bajo ciertas condiciones bien establecidas. Se recomienda el uso de ratas recién destetadas (20-23 días), macho, aunque la utilización de hembras no reporta diferencias significativas en los resultados. La duración del estudio varía de 3 a 4 semanas y la dieta debe contener un 10% de proteína, además de ser fuente suficiente de los demás nutrientes.

8. DIGESTIBILIDAD

Es la medición de la eficiencia de asimilación de la proteína de la dieta por parte del animal. Se basa en la relación entre el nitrógeno ingerido (dieta) y el nitrógeno fecal (heces), ya que la ingesta de nitrógeno por parte de los animales está dada únicamente por la proteína de la dieta.

Durante el proceso de digestión se secretan enzimas que dan lugar a los monómeros de los polímeros ingeridos, facilitando así su absorción a través de la mucosa intestinal.⁵⁴

9. EVALUACIÓN SENSORIAL

La evaluación sensorial (organoléptica) de los alimentos es importante ya que de esta forma se conoce la apreciación por parte de jueces entrenados o consumidores potenciales del producto que se está manejando. No sólo es importante conocer las características físicas, químicas y nutricias de los alimentos, sino también lo es conocer la aceptación (o rechazo) que puede presentarse debido a características percibidas a la hora de su consumo.

Se llevó a cabo una prueba afectiva de nivel de agrado, cuyo objetivo es localizar el nivel de agrado o desagrado que provoca una muestra específica.⁵⁵ Es una prueba sencilla de aplicar y no requiere entrenamiento o experiencia por parte de los jueces-consumidores. Esta prueba permite detectar el nivel de agrado que una muestra representa para una población en particular y su mayor desventaja es que se requiere un gran número de evaluaciones para considerar a los resultados como representativos de las tendencias de los gustos de una población o mercado.

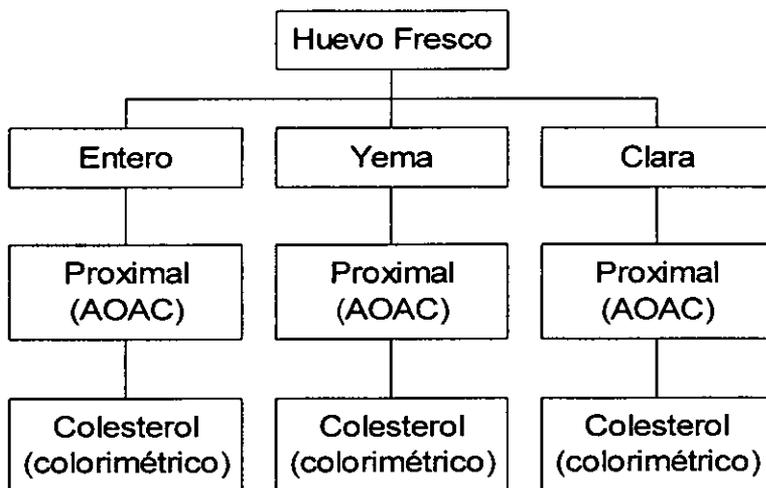
En este caso se evaluaron cuatro muestras distintas (natilla de vainilla, postre de fresa, galletas y bebida de chocolate) preparadas con la misma receta; cuya única variación fue la mezcla de huevo utilizado. Se evaluaron dos posibles mercados: niños pequeños y personas de la tercera edad. No fue posible realizar la cantidad óptima de ensayos requeridos, por lo que únicamente se pueden observar tendencias de las poblaciones que no son generalizables como una estimación del comportamiento del mercado.

PARTE EXPERIMENTAL

La investigación se dividió en dos partes. La primera fue destinada a la evaluación de las fracciones frescas del huevo; mientras que en la segunda se trabajó con las mezclas secadas por aspersión.

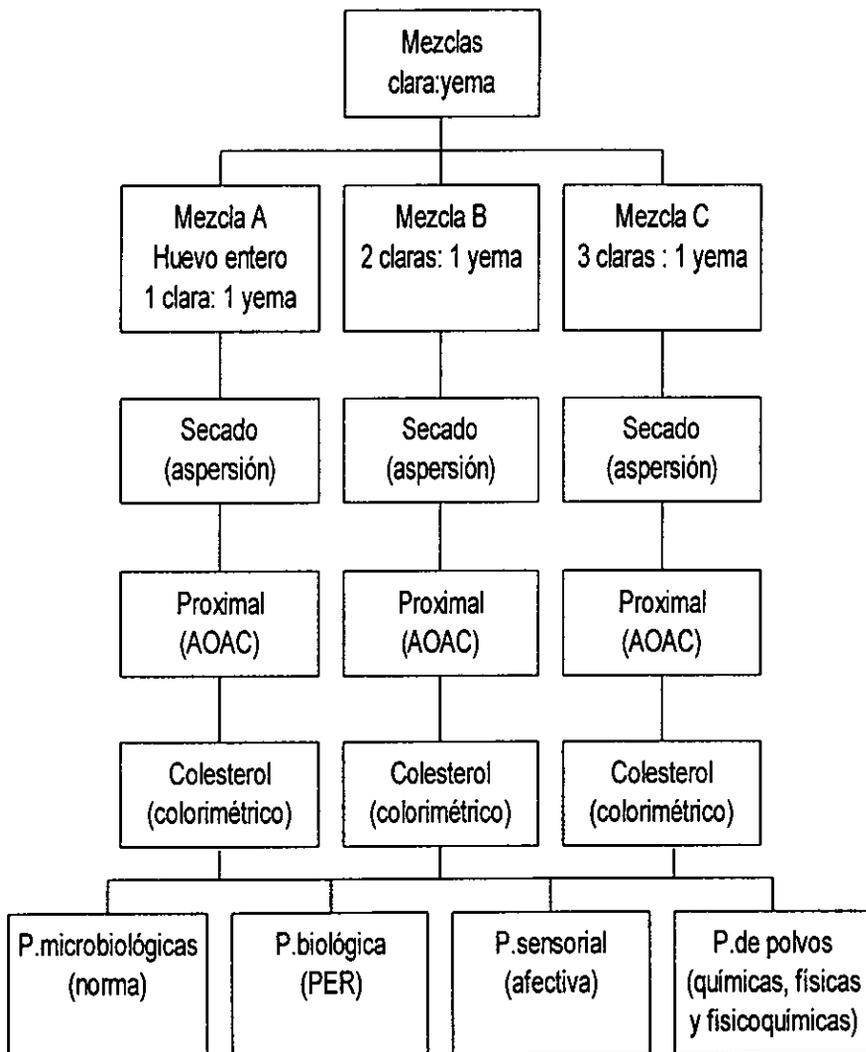
A continuación se presentan los diagramas globales de trabajo que se utilizaron en el desarrollo experimental de la investigación.

FRACCIONES FRESCAS:



Se trabajaron las tres fracciones frescas del huevo para conocer la materia prima con la que se pretendía trabajar para desarrollar el proyecto. Se les hizo una evaluación de su composición proximal según las metodologías aceptadas por la AOAC. También se determinó la cantidad de colesterol presente, ya que este será el parámetro que interesa disminuir con el procedimiento planteado.

MEZCLAS:



Una vez realizadas las mezclas, se les homogenizó con agitación continua durante 30 minutos. En todos los casos se trabajaron por lo menos tres repeticiones de las determinaciones para considerar la desviación estándar al reportar los resultados.

1. ANÁLISIS PROXIMAL

Tanto las fracciones frescas, como las mezclas de huevo secadas por aspersión, fueron sometidas a un análisis proximal con base en los métodos oficiales del AOAC.

A. HUMEDAD

FUNDAMENTO:

Esta determinación se basa en la pérdida de humedad de una muestra cuando se aplica calor. Si ésta se realiza a presión reducida, el punto de ebullición del agua se abate y es menor el daño que sufre la muestra por efecto de la temperatura.⁵⁶

MATERIAL:

- Estufa de vacío (Lab-Line Duo-vac oven, modelo 3520)
- Charolas de aluminio
- Desecador
- Balanza analítica (Sartorius analytic A210P)

PROCEDIMIENTO:

Se pesan alrededor de 2 a 3 gramos de muestra en charolas de aluminio, previamente puestas a peso constante y taradas; se meten en la estufa de vacío a 60-65 °C durante un tiempo determinado (4 horas); se saca la charola a un desecador y se deja enfriar a temperatura ambiente para pesarla. El procedimiento se repite hasta que no existan diferencias mayores de 0.001g entre dos pesadas sucesivas.

CÁLCULOS:

$$\% \text{Humedad} = \frac{P_i - P_f}{m} \times 100$$

P_i = Peso de la charola con la muestra húmeda (g)

P_f = Peso de la charola con la muestra seca (g)

m = Peso de la muestra (g)

B. CENIZAS

FUNDAMENTO:

Las cenizas forman el residuo inorgánico que queda después de una incineración de la materia orgánica del alimento, por lo cual se puede cuantificar mediante una diferencia de pesos después de haber realizado dicha incineración. ^{56, 57}

MATERIAL:

- Mufla (Heraeus)
- Balanza analítica (Sartorius analytic A210P)
- Desecador
- Crisoles de porcelana

PROCEDIMIENTO:

Los crisoles se ponen a peso constante en la mufla a una temperatura de 500-550 °C y se pesan de 2 a 3 g de muestra en cada uno. Se incineran con un mechero trabajando en la campana hasta lograr la carbonización completa de la muestra; luego se llevan a la mufla a una temperatura de 500-550 °C hasta que se obtengan cenizas blancas o grises homogéneas. Se retiran los crisoles y se dejan enfriar en un desecador hasta temperatura ambiente y se pesan.

CÁLCULOS:

$$\% \text{Cenizas} = \frac{\text{Pf} - \text{Po}}{m} \times 100$$

Pf = Peso del crisol con las cenizas (g)

Po = Peso del crisol vacío (g)

m = Peso de la muestra (g)

C. PROTEÍNA CRUDA

FUNDAMENTO:

Esta determinación se realiza por medio del método de Kjeldahl, el cual se basa en la oxidación de la materia orgánica mediante una mezcla digestiva a base de ácido sulfúrico, ácido fosfórico y sulfato de cobre pentahidratado, formándose una sal fija de sulfato ácido de amonio. Después se destila y hay liberación de amoníaco de la sal por la adición de hidróxido de sodio al 40% que se recupera en

una solución de ácido bórico; aquí se forma borato de amonio que puede ser cuantificado por una titulación ácido-base con ácido clorhídrico valorado. Una vez obtenido el contenido de nitrógeno en la muestra, se calcula la proteína utilizando un factor específico.^{56, 57}

MATERIAL Y REACTIVOS:

- Aparato digestor (Digestion System DS40, Tecator)
- Aparato de destilación (Kjeltec auto 1030 analyzer, Tecator)
- Tubos de digestión (Tecator, 75 ml)
- Balanza analítica (Sartorius analytic A210P)
- Mezcla digestiva
- Peróxido de hidrógeno al 30%
- Sulfato de potasio RA
- Hidróxido de sodio al 40%
- Ácido bórico con indicadores
- Ácido clorhídrico 0.01N valorado

PROCEDIMIENTO:

Se pesan de 20 a 80 mg de muestra según el contenido de proteína de la misma y se colocan en el tubo de digestión junto con 0.5 g de sulfato de potasio. En la campana se agregan 3 ml de mezcla digestiva, se digieren a 370°C durante 15 minutos y se retiran los tubos; una vez fríos se adiciona 1.5 ml de peróxido de hidrógeno al 30% y se regresan al digestor. La digestión finaliza cuando no se presenten manchas negras y la solución sea transparente.

Se dejan enfriar los tubos y se procede con la destilación: se agregan 25 ml de agua destilada y fría y se destilan todos los tubos en el aparato, anotando los mililitros de ácido clorhídrico utilizados en cada valoración. Se recomienda utilizar un blanco de dextrosa anhidra para realizar los cálculos.

CÁLCULOS:

$$\% \text{Nitrógeno} = \frac{(P - B) (N) (\text{meq})}{m} \times 100$$

$$\% \text{Proteína} = (\% \text{Nitrógeno}) (6.25)$$

P = ml de titulación de la muestra

B = ml de titulación del blanco

N = normalidad del ácido

meq = miliequivalentes del ácido (0.014)

m = peso de la muestra (g)

D. GRASA CRUDA

FUNDAMENTO:

Esta determinación se basa en la solubilidad de las grasas en éter etílico el cual se calienta y volatiliza y, al hacer contacto con una superficie fría, se condensa y pasa a través de la muestra arrastrando consigo sustancias solubles en el éter; finalmente el éter se evapora y en el vaso queda el residuo conocido como grasa cruda.^{56, 57}

MATERIAL Y REACTIVOS:

- Equipo de desengrasar tipo Goldfish (Labconco)
- Balanza analítica (Sartorius analytic A210P)
- Estufa de vacío (Lab-line Duo-Vac oven, mod. 3520)
- Cartuchos de celulosa de 22x80 mm
- Vasos de borde esmerilado
- Éter etílico RA

PROCEDIMIENTO:

Se colocan de 2 a 5 g de muestra seca dentro del cartucho de celulosa, la cual se tapa con algodón, se coloca en el portadetal y éste, a su vez, en el seguro metálico del aparato. Se colocan aproximadamente 50 ml de éter en el vaso esmerilado puesto con anterioridad a peso constante y se enrosca en el aparato de extracción. Se instala el aparato y se calienta de forma moderada para permitir una extracción eficiente. Se sabe que la extracción ha finalizado cuando se deja caer una gota del disolvente que cae en el seno de disolución, sobre un trozo de papel y al evaporarse no deja residuo de grasa.

Se retira el portadetal con el cartucho y se sustituye por un recipiente de recuperación; se continúa el calentamiento para evaporar el éter y dejar el residuo de grasa. Una vez libre de solvente, el vaso se coloca en la estufa de vacío a 60-65 °C durante 2 horas y se deja enfriar en desecador. Se repite la operación hasta que el vaso esté a peso constante.

CÁLCULOS:

$$\%Grasa = \frac{Pf - Po}{m} \times 100$$

Pf = Peso del vaso con el extracto etéreo (g)

Po = Peso del vaso vacío a peso constante (g)

m = Peso de la muestra (g)

E. CARBOHIDRATOS ASIMILABLES

FUNDAMENTO:

Éstos comprenden a los carbohidratos asimilables y digeribles para el hombre (azúcares, almidones y derivados).

CÁLCULOS:

Se obtiene de forma teórica por diferencia al restar al 100% del peso original, el resultado de la suma de los porcentajes de los otros componentes.

$$\%CHO = 100 - \sum (\%Hum + \%Cen + \%Prot + \%Grasa + \%Fibra)$$

Como en este caso no hay fibra, el valor se considera como cero.

2. COLESTEROL

FUNDAMENTO:

El ácido p-toluen-sulfónico en medio acético reacciona con el colesterol para formar un complejo que, con anhídrido acético y ácido sulfúrico concentrado, se torna de color verde, cuya intensidad es proporcional a la cantidad de colesterol presente.

MATERIAL:

- Test-combinación Cat. No. 12405, Lakeside
- Espectrofotómetro (Sequoia-Turner)

PROCEDIMIENTO:

Se basa en el método colorimétrico. Se sigue el procedimiento reportado por el fabricante.⁵⁸ Se colocan 10 ml de la muestra en los tubos con el reactivo de ácido p-toluen-sulfónico en medio acético. Se dejan reaccionar y posteriormente se agrega el reactivo para colorear (anhídrido acético y ácido sulfúrico). Se leen los tubos en el espectrofotómetro a una longitud de onda $\lambda=580$ nm. Al mismo tiempo que las muestras se prepara un tubo blanco sin muestra para comparar.

CÁLCULOS:

$$\text{Colesterol (mg / dl)} = (\text{Ep} / \text{Est})$$

Ep: Lectura del tubo experimental

Est: Lectura del tubo estándar

3. SECADO POR ASPERSIÓN

Se realizó el secado por aspersión de las mezclas de trabajo de acuerdo a los procedimientos planteados por parte del fabricante del equipo utilizado: Niro Atomizer (No. de serie: 2556).⁵⁹

CONDICIONES DEL SECADO POR ASPERSIÓN.

PARAMETRO	CONDICIÓN
Temperatura de entrada (°C)	45
Temperatura de secado (°C)	210
Temperatura de salida (°C)	75-80
%Sólidos totales iniciales	10

Es importante mantener constantes las condiciones de secado como se muestra, ya que algunos estudios han demostrado que una de las propiedades funcionales de las proteínas de la clara es la de agregación por calor (floculación)⁶⁰, por lo tanto se debe cuidar que la temperatura no se incremente para evitar problemas en el proceso de secado. Además, el tratamiento térmico previo al secado aumenta la gelación de las proteínas de la clara una vez que se disminuye el contenido de agua.⁶¹

Otro aspecto importante durante el secado y el almacenamiento de las mezclas es la posible formación de productos de oxidación del colesterol¹⁹ (7-cetocolesterol, colesterol 5 α , 6 α -epóxido, y 5 β , 6 β -epóxido),^{62, 63} cuya presencia sería una desventaja atribuible al tratamiento térmico recibido durante el secado o a condiciones adversas de almacenamiento tanto de las mezclas como de los alimentos elaborados con ellas.^{64, 65, 66} Sin embargo, otros estudios han demostrado que la ovoalbúmina (proteína de la clara) tiene un efecto antioxidante debido a enlaces covalentes que establece con algunos polisacáridos del huevo.⁶⁷

Por lo anterior, se puede inferir que las mezclas con mayor proporción de clara tendrán menor propensión a la oxidación del colesterol. (Existen métodos de inhibición de la autooxidación del colesterol, como la utilización de algunas mezclas de tocoferoles;^{68, 69} sin embargo, esa área de la investigación no forma parte de este estudio.)

4. PROPIEDADES FÍSICAS

Los dos parámetros físicos que se evaluaron fueron densidad aparente y humedad; esta última se determinó por el método oficial del AOAC.

A. DENSIDAD APARENTE

FUNDAMENTO:

Se define como el peso de un volumen dado del polvo, se expresa en g/ml.^{50,54}

Es una propiedad importante desde el punto de vista económico, comercial y funcional.

MATERIAL:

- Probeta de 100 ml
- Balanza analítica (Sartorius analytic A210P)

PROCEDIMIENTO:

La muestra en polvo (10 g) se coloca en una probeta de 100 ml y luego el polvo se deja caer 20 veces desde una altura de 10 cm. Posteriormente se mide el volumen alcanzado por el polvo en la probeta (sin comprimir) y se pesa.

CÁLCULOS:

$$\delta = \frac{m}{V}$$

δ = Densidad aparente (g/ml)

m = Masa (g)

V = Volumen (ml)

5. PRUEBAS DE RECONSTITUCIÓN

A las tres muestras secadas por aspersión se les determinaron las pruebas de reconstitución siguiendo las técnicas de polvos instantáneos.

A. HUMECTABILIDAD

FUNDAMENTO:

La humectabilidad es el tiempo en que tarda una cantidad de polvo en humedecerse cuando se pone en contacto con el agua. Es una medida de la capacidad del polvo para ser humedecido con agua a una temperatura dada.

MATERIAL:

- Vaso de precipitados de 100 ml
- Cronómetro
- Mechero
- Balanza analítica (Sartorius analytic A210P)
- Termómetro

PROCEDIMIENTO:

Se pesan 10 g de muestra en polvo por duplicado, se colocan en un vaso de precipitado que contiene 75 ml de agua a 20 ± 2 °C y se mide el tiempo que se requiere para que todo el polvo se humecte.

B. SOLUBILIDAD

FUNDAMENTO:

La determinación del valor de solubilidad es fundamentalmente empírica y depende de factores como el método de secado, la temperatura de secado y la acidez.⁴⁶

MATERIAL:

- Centrífuga (Dynac, Clay Adams)
- Estufa de vacío (Lab-line Duo-vac oven, mod. 3520)
- Balanza analítica (Sartorius analytic A210P)
- Charolas de aluminio

PROCEDIMIENTO:

Se pesan 4 g de muestra, se transfieren a un tubo de centrifuga de 50 ml, se agregan 32 ml de agua a 50 °C, se agitan durante 10 segundos y se colocan en un baño de agua a 50 °C durante 5 minutos. Se centrifuga la suspensión a 2000 r.p.m. durante 10 minutos y se deja enfriar en el refrigerador durante 2 horas. Una vez a temperatura ambiente, el tubo se agita hasta obtener una suspensión homogénea; se transfieren 2 ml de esta suspensión a una charola de aluminio previamente puesta a peso constante y se pesa. Se evapora a sequedad en la estufa y, posteriormente, se transfieren a una estufa de vacío hasta que se encuentre a peso constante.

La suspensión del tubo se vuelve a centrifugar a 2000 r.p.m. durante 10 minutos; se transfieren 2 ml del sobrenadante a una charola de aluminio puesta a peso constante y se pesan; se evaporan a sequedad y luego se dejan en la estufa de vacío hasta peso constante.

CÁLCULOS:

$$\% \text{Solubilidad} = \frac{(T1)(S2)}{(T2)(S1)} \times 100$$

T1 = Peso de la suspensión tomada en la primera centrifugación (g)

T2 = Peso de la suspensión tomada en la segunda centrifugación (g)

S1 = Peso de sólidos totales en T1 (g)

S2 = Peso de sólidos totales en T2 (g)

C. VOLUMEN DE SEDIMENTACIÓN

FUNDAMENTO:

El volumen de sedimentación es la relación entre el volumen de equilibrio y el volumen total de la suspensión.⁶⁹

MATERIAL:

- Balanza analítica (Sartorius analytic A210P)
- Probeta de 100 ml

PROCEDIMIENTO:

Se pesan 10 g de muestra y se colocan en una probeta de 100 ml que se afora con agua; se agita cada 2 horas y, una vez que han transcurrido 24 horas, se toma la lectura del volumen de sedimentación.

CÁLCULOS:

$$\text{Vol. Sedimentación} = \frac{\text{Vol. Sedimentación final}}{\text{Vol. Sedimentación inicial}}$$

V.S. inicial: Medida que alcanza el sedimento de la muestra antes de iniciar agregar el agua.

V.S. final: Medida que alcanza el sedimento de la muestra después de la agitación y dejar reposar 24 horas.

Lo ideal es que el Volumen de Sedimentación sea igual a 1.

6. PRUEBAS REOLÓGICAS

A. ÁNGULO DE REPOSO

FUNDAMENTO:

Es una medida relativa de la fricción de las partículas de polvo y es una medida del ángulo que forma la superficie lateral del cono con la horizontal. El ángulo de reposo es pequeño cuando se trata de partículas finas, angulares o pegajosas. Los valores óptimos en un polvo de buena calidad están entre 30 y 40°C.⁷⁰

MATERIAL:

- Embudo de flujómetro (Diámetro interno de 7 cm)
- Soporte universal
- Base sólida con radios conocidos

PROCEDIMIENTO:

Se pesan 10 g de muestra en polvo y se pasan a través del embudo desde una altura de 10 cm sobre la base sólida. Se miden la altura y el radio del cono.

CÁLCULOS:

$$\text{Tng} = (H / r)$$

$$\text{Ángulo} = \text{Tng}^{-1}$$

H = Altura del cono (cm)

r = Radio del cono (cm)

Tng = Tangente del ángulo

B. VELOCIDAD DE FLUJO**FUNDAMENTO:**

La velocidad de flujo permite saber que tan fácilmente fluye un polvo, considerándose el tiempo que tarda en pasar una cantidad conocida de polvo a través de un embudo de flujómetro.

MATERIAL:

- Embudo de flujómetro (Diámetro interno 7 cm)
- Soporte universal
- Base sólida
- Cronómetro

PROCEDIMIENTO:

Se pesan 10 g de muestra, se hacen pasar por un embudo y se mide el tiempo que tarde en caer.

CÁLCULOS:

$$\text{Vel. Flujo} = \frac{m}{t}$$

m = Peso de la muestra (g)

t = Tiempo (s)

7. PRUEBAS DE ESTABILIDAD

A. ÍNDICE DE ACIDEZ

FUNDAMENTO:

La acidez es una expresión convencional del contenido en tanto por ciento de los ácidos grasos libres en una muestra. Puede ser medida mediante una valoración con álcali, cuyo punto final depende del indicador seleccionado y el resultado obtenido se puede expresar en términos de un ácido en particular. En este caso se pretendía realizar el cálculo en términos del ácido oléico según la norma oficial.

MATERIAL Y REACTIVOS:

- Matraz Erlenmeyer de 250 ml
- Pipetas graduadas de 1 y 10 ml
- Bureta graduada de 50 ml
- Solución valorada de hidróxido de sodio 0.1N
- Solución indicadora de fenolftaleína

PROCEDIMIENTO:

Pesar con precisión 1 g de muestra en el matraz. Disolver en 10 ml de agua, agregar 5 gotas del indicador y 20 ml de agua hervida y fría. Titular con la solución valorada de NaOH hasta que se dé el vire del indicador.

CÁLCULOS:

$$\% \text{Ácido} = \frac{(V)(N)(\text{meq})}{m} \times 100$$

V = ml solución valorada NaOH

N = Normalidad NaOH

meq = Miliequivalentes del ácido oléico

m = Peso muestra (g)

B. DETERMINACIÓN DE pH

FUNDAMENTO:

La determinación potenciométrica de pH es precisa y el sistema de electrodos más empleado es el par de electrodo de referencia de calomel con cloruro potásico saturado y el electrodo de vidrio. La calidad del electrodo es un factor primordial en la medición de pH.

MATERIAL Y REACTIVOS:

- Vasos de precipitado de 100 ml
- Piseta con agua destilada
- Potenciómetro (Coring)
- Soluciones buffer

PROCEDIMIENTO:

Para la preparación de la muestra, en el caso de polvos, se recomienda preparar una solución al 25% y agitar durante 30 minutos para obtener una completa solubilización. Para la determinación de pH se estandariza el aparato de acuerdo con su manual de operación y se procede a realizar la determinación en la muestra.

8. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

A. MESÓFILOS AEROBIOS

FUNDAMENTO:

Cuando se requiere determinar la concentración de microorganismos en una muestra, se emplean medios de cultivo y condiciones que favorezcan su desarrollo. El medio que se utiliza para la determinación de mesófilos aerobios es el Agar soya-tripticaseína por el método de cuenta en placa.

MATERIAL Y REACTIVOS:

- Cajas petri 100 x 15 mm
- Pipetas graduadas de 10, 5 y 1 ml
- Tubos de ensaye 20 x 150 mm
- Asas para siembra
- Matraces Erlenmeyer de 250 y 500 ml
- Mechero
- Campana de flujo laminar (Veco)
- Autoclave
- Incubadora (Dry type, Bacteriological Incubator)
- Agar soya-tripticaseína
- Caldo soya-tripticaseína
- Solución reguladora de fosfatos pH 7.2
- Solución diluída reguladora de fosfatos pH 7.2

PROCEDIMIENTO:

La muestra se diluye en forma rápida y homogénea bajo condiciones estériles (10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3}) en solución reguladora de fosfatos estéril con pH 7.2. Se coloca 1 ml de cada dilución en cajas petri estériles e, inmediatamente, se agregan de 20-25 ml del medio de cultivo agar soya-tripticaseína, previamente fundido y enfriado a 45 °C. Se mezcla con movimientos rotatorios y se deja solidificar a temperatura ambiente; se incuba en posición invertida durante 48 horas a una temperatura de 30-35 °C.

Se seleccionan las placas donde aparezcan de 30 a 300 colonias. Se cuentan las colonias de 2 cajas por cada dilución representativa y se multiplica por el factor de dilución. El número de microorganismos se indica con relación al peso o el volumen del material de ensayo.

CÁLCULOS:

$$\text{UFC / ml} = \text{UFC} \times \text{dilución}^{-1}$$

UFC = Unidades formadoras de colonias

B. COLIFORMES

FUNDAMENTO:

Estos microorganismos fermentan la lactosa con producción de gas en 48 horas cuando se incuban a 32-35 °C. Por lo anterior, una de las formas de realizar la demostración y recuento de organismos coliformes es mediante el empleo de tubos de fermentación que contengan caldo lactosado y se computa su número con base en las tablas del número más probable (NMP).

MATERIAL Y MEDIOS:

- Tubos de ensaye 20 x 150 mm
- Tubos de Durham
- Asas microbiológicas de siembra
- Pipetas graduadas de 10, 5 y 1 ml
- Mechero
- Campana de flujo laminar (Veco)
- Autoclave
- Incubadora (Dry type, Bacteriological Incubator)
- Caldo lauril triptosa
- Caldo lactosa bilis verde brillante
- Solución reguladora de fosfatos pH 7.2
- Solución diluida reguladora de fosfatos pH 7.2

PROCEDIMIENTO:

Se pesan 10 g de muestra y se transfieren a un matraz que contenga 90 ml de la solución diluyente; se continúan las diluciones de la muestra. Se inocula 1 ml por dilución a cada uno de los tres tubos con 10 ml de caldo lauril sulfato triptosa y se incuban los tubos por 48 ± 2 horas a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Los tubos con formación de gas se inoculan en caldo lactosa bilis verde brillante y se incuban 48 ± 2 horas a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se observa la formación de gas; la determinación del número de microorganismos se hace de acuerdo a la tabla de número más probable (NMP).

CÁLCULOS:

Se reporta número más probable (NMP) de coliformes por gramo, de acuerdo a las tablas de NMP (ver cuadro 1).

C. E. COLI

FUNDAMENTO:

Después de un período de crecimiento en caldo lactosado, la presencia de *E. coli* se confirma empleando medios de enriquecimiento como son agar MacConkey y agar Levine-eosina azul de metileno (ver cuadro 2). En el primero, la degradación de lactosa a ácido es indicado por el viraje del indicador rojo neutro a rojo oscuro; debido al contenido de sales biliares, se seleccionan las bacterias intestinales y la flora restante gram negativo se ve inhibida por la violeta cristal.

El medio Levine-eosina es un medio selectivo ya que todos los microorganismos gram positivo son inhibidos por el contenido de colorantes.

MATERIAL Y MEDIOS:

- Cajas petri de 100 x 15 mm
- Matraces Erlenmeyer de 500 ml
- Pipetas graduadas de 10, 5 y 1 ml
- Asas de siembra microbiológica
- Mechero
- Campana de flujo laminar (Veco)
- Autoclave
- Incubadora (Dry type, Bacteriological Incubator)
- Caldo lactosado
- Agar MacConkey
- Agar levine-eosina azul de metileno

PROCEDIMIENTO:

Se pesan 10 g de muestra, se colocan en 100 ml de caldo lactosado estéril y se incuban a 30-35 °C durante 24 horas o hasta que comience el desarrollo. A partir del crecimiento se aísla en agar MacConkey y se incuba a 35 °C durante 24 horas. Las colonias de color rojo ladrillo, eventualmente con zonas precipitadas, son características de *E. coli* (ver cuadro 2). Si el cuadro de colonias no es determinante, se siembra sobre agar levine-eosina azul de metileno y se incuba de 24 a 48 horas a una temperatura de 35 °C. Las colonias de *E. coli* se caracterizan por dar un color negro azulado a trasluz y brillo metálico a la luz incidente.

Se reporta presencia o ausencia de *E. coli* en 10 g de muestra.

D. SALMONELLA

FUNDAMENTO:

Los métodos para aislamiento e identificación de *Salmonella* consideran cuatro pasos sucesivos:

- Cultivo en medio de enriquecimiento no selectivo (caldo lactosado).
- Cultivo en medio de enriquecimiento selectivo (caldo cistina-selenito y caldo tetrionato).
- Utilización de medios selectivos a base de agar (agar verde brillante, agar xilosa-desoxicolato y agar sulfito de bismuto).
- Verificación y comprobación de colonias seleccionadas mediante pruebas bioquímicas determinativas en caso de presencia presuntiva.

MATERIAL Y MEDIOS:

- Cajas petri de 100 x 15 mm
- Tubos de ensaye 20 x 150 mm
- Matraces Erlenmeyer de 500 ml
- Pipetas graduadas de 10, 5 y 1 ml
- Asas para siembra microbiológica
- Mechero
- Campana de flujo laminar (Veco)
- Autoclave
- Incubadora (Dry type, Bacteriological Incubator)
- Caldo lactosado
- Caldo selenito-cistina
- Caldo tetrionato
- Agar verde brillante
- Agar xilosa-lisina desoxicolato
- Agar sulfito-bismuto

PROCEDIMIENTO:

Se colocan 10 g de muestra y 90 ml de caldo lactosado estéril y se incuban a 30-35 °C durante 24 horas hasta que comience el desarrollo. Si se observa crecimiento, se siembra 1 ml de cultivo en 9 ml de los siguientes medios de enriquecimiento: caldo selenito-cistina y caldo tetrionato. Se mezcla e incuba de 12 a 24 horas a 35 °C; posteriormente se transplanta con ayuda de un asa a los siguientes medios de cultivo selectivos: agar verde brillante, agar xilosa-lisina desoxicolato, agar bismuto sulfito (Wilson Blair). Se incuba durante 48 horas a 35 °C y se observan las colonias que presenten las características específicas.

Las colonias sospechosas se pueden confirmar inoculando sobre el medio agar fierro triple azúcar donde se incuban durante 1-2 días. La formación de ácido (coloración amarilla), producción de gas y ennegrecimiento eventual, son características del género *Salmonella* (ver cuadro 3).

Se reporta presencia o ausencia de *Salmonella* en 10 g de muestra.

E. S. AUREUS

FUNDAMENTO:

El agar selectivo para *Staphylococcus* según Vogel-Johnson es un medio de cultivo para la identificación precoz de *Staphylococcus* manita positivos, puesto que la capacidad de coagulación del plasma aparece casi siempre de manera simultánea con la capacidad de fermentación sobre la manita.

Se permite hacer una estimación de su contenido debido a la tolerancia que presenta a concentraciones elevadas de cloruro de sodio y su poca sensibilidad frente a los agentes bacteriostáticos cloruro de litio y telurito.

MATERIAL Y MEDIOS:

- Cajas petri 100 x 15 mm
- Tubos de ensaye 20 x 150 mm
- Matraces Erlenmeyer de 500 ml
- Pipetas graduadas de 10, 5 y 1 ml
- Asas para siembra microbiológica
- Mechero
- Campana de flujo laminar (Veco)
- Autoclave
- Incubadora (Dry type, Bacteriological Incubator)
- Solución reguladora de fosfatos pH 7.2
- Solución diluida reguladora de fosfatos pH 7.2
- Caldo soya tripticaseína
- Medio Vogel-Johnson

PROCEDIMIENTO:

Se pesan 10 g de la muestra en polvo y colocan en 90 ml de la solución diluida reguladora de fosfatos pH 7.2, realizar las diluciones correspondientes. Se coloca 1 ml de cada dilución de la muestra en tubos que contengan 4.5 ml de caldo soya tripticaseína e incubar a 35 °C durante 48 horas.

Posteriormente, se inocula por estría de los tubos con desarrollo a placas de Vogel-Johnson de manera que se puedan obtener colonias aisladas. Se incuba a 35 °C durante 48 horas. Se observa si existe crecimiento de colonias negras (por reducción del telurito), convexas y brillantes (ver cuadro 4). En este caso, se realiza la prueba de la coagulasa para confirmar su presencia.

Se reporta presencia o ausencia del microorganismo en 10 g de muestra.

F. HONGOS Y LEVADURAS

FUNDAMENTO:

Para la determinación y cuenta total de hongos y levaduras se utiliza el medio agar papa dextrosa (PDA), el cual se acidifica con ácido tartárico estéril para inhibir el crecimiento bacteriano.

MATERIAL Y MEDIOS:

- Cajas petri 100 x 15 mm
- Tubos de ensaye 20 x 150 mm
- Matraces Erlenmeyer de 500 ml
- Pipetas graduadas de 10, 5 y 1 ml
- Asas para siembra micológica
- Mechero
- Campana de flujo laminar (Veco)
- Autoclave
- Incubadora (Dry type, Bacteriological Incubator)
- Solución diluida reguladora de fosfatos pH 7.2
- Agar papa dextrosa
- Ácido tartárico al 10%

PROCEDIMIENTO:

Se pesan 10 g de la muestra en un matraz Erlenmeyer que contenga 90 ml de la solución diluida reguladora de fosfatos pH 7.2; se realizan las diferentes diluciones igual que en el procedimiento de mesófilos aerobios, se coloca 1 ml de cada dilución por duplicado en cajas petri estériles y se agregan de 12 -15 ml de PDA fundido a 45-48 °C y acidificado con una solución estéril de ácido tartárico al 10%.

Se homogeniza y deja solidificar; se invierten las cajas petri y se incuba una serie de cada dilución a 22 °C durante 5 días para la cuenta de hongos; la otra serie se incuba a 35°C durante 48 horas para la cuenta de levaduras.

CÁLCULOS:

$$\text{UFC / ml} = \text{UFC} \times \text{dilución}^{-1}$$

UFC = Unidades formadoras de colonias

Se cuentan las colonias de hongos y levaduras y se multiplica por el inverso de la dilución correspondiente. Se reportan la cuenta de hongos y la cuenta de levaduras en placas de PDA por gramo de muestra.

Cuadro 1: Tabla de Número Más Probable ⁷¹

Positivos			NMP / g												
3	3	3		3	3	3		3	3	3		3	3	3	
0.1	0.01	0.001		0.1	0.01	0.001		0.1	0.01	0.001		0.1	0.01	0.001	
0	0	0	<3.0	1	0	0	3.6	2	0	0	9.1	3	0	0	23.0
0	0	1	3.0	1	0	1	7.2	2	0	1	14.0	3	0	1	39.0
0	0	2	6.0	1	0	2	11.0	2	0	2	20.0	3	0	2	64.0
0	0	3	9.0	1	0	3	15.0	2	0	3	26.0	3	0	3	95.0
0	1	0	3.0	1	1	0	7.3	2	1	0	25.0	3	1	0	43.0
0	1	1	6.1	1	1	1	11.0	2	1	1	20.0	3	1	1	75.0
0	1	2	9.2	1	1	2	15.0	2	1	2	27.0	3	1	2	120.0
0	1	3	12.0	1	1	3	19.0	2	1	3	34.0	3	1	3	160.0
0	2	0	6.2	1	2	0	11.0	2	2	0	21.0	3	2	0	93.0
0	2	1	9.3	1	2	1	15.0	2	2	1	28.0	3	2	1	150.0
0	2	2	12.0	1	2	2	20.0	2	2	2	35.0	3	2	2	210.0
0	2	3	16.0	1	2	3	24.0	2	2	3	42.0	3	2	3	290.0
0	3	0	9.4	1	3	0	16.0	2	3	0	29.0	3	3	0	240.0
0	3	1	13.0	1	3	1	20.0	2	3	1	36.0	3	3	1	460.0
0	3	2	16.0	1	3	2	24.0	2	3	2	44.0	3	3	2	1100.
0	3	3	19.0	1	3	3	29.0	2	3	3	53.0	3	3	3	>1100

Cuadro 2: CARACTERÍSTICAS COLONIALES Y BIOQUÍMICAS DE *E. COLI*

MEDIO DE CULTIVO	MORFOLOGÍA COLONIAL
Agar MacConkey	Colonias grandes rojas que pueden estar rodeadas de una zona precipitada de bilis.
Agar Levine-eosina azul de metileno	Colonias pequeñas azul/negro en la parte central y con brillo metálico verdoso a la luz reflejada.

Cuadro 3: CARACTERÍSTICA COLONIALES Y BIOQUÍMICAS DE *SALMONELLA SP.*

MEDIO DE CULTIVO	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS
Agar verde brillante	Colonias pequeñas transparentes incoloras rosas o blancas opacas, frecuentemente rodeadas de una zona rosa o roja.
Agar xilosa lisina desoxicolato	Colonias rojas con o sin centro negros.
Agar sulfito de bismuto	Colonias negras o verdes.
Agar hierro triple azúcar	Superficie alcalina (roja), picadura ácida (amarilla); con o sin producción de ácido sulfúrico (negro).

Cuadro 4: CARACTERÍSTICAS DE *STAPHYLOCOCCUS AUREUS*

MEDIO DE CULTIVO	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS
Agar Vogel Johnson	Colonias negras rodeadas de una zona amarilla.

9. PRUEBA BIOLÓGICA: RELACIÓN DE EFICIENCIA PROTEÍNICA

FUNDAMENTO:

Se acepta que el incremento en peso de los animales bajo condiciones estandarizadas, provee una medida confiable de valor nutricional del alimento que ingieren. Dado que existen factores que pueden afectar la determinación, las condiciones de investigación deben estar bien definidas.

MATERIAL:

- Balanza granataria
- Balanza para animales de laboratorio
- Parrilla de calentamiento
- Vasos de precipitados de 250 ml
- Agitadores de vidrio
- Pipetas graduadas de 10, 5 y 1 ml
- Recipiente de plástico
- Mortero con pistilo
- Comederos y bebederos para rata
- Caseína
- Glucosa
- Mezcla de sales
- Celulosa en polvo
- Fuente de proteína
- Mezcla de vitaminas
- Sacarosa
- Dextrina
- Aceite vegetal y manteca vegetal

PROCEDIMIENTO:

a) Preparación de la dieta:

Tanto la dieta control como las dietas de estudio, deben ser isoproteínicas (10% proteína) e isocalóricas (430 Kcal / 100 g dieta) y deben guardar la proporción respecto a la dieta de referencia que se muestra en el siguiente cuadro.

COMPONENTE	%
Proteína	10
Glucosa	19
Sacarosa	22
Dextrina	25
Aceite vegetal	6
Manteca vegetal	8
Mezcla de sales	4
Mezcla de vitaminas	2
Celulosa en polvo	Completar a 100

La fuente de proteína se homogeneiza junto con todos los ingredientes sólidos excepto las vitaminas; se adiciona la mezcla de lípidos fundidos y al final se adiciona la mezcla de vitaminas. Debe estar perfectamente homogenizado.

En el caso específico de este estudio, además de probar las mezclas generadas con el huevo, se añadieron dos dietas más. Se buscó combinar la fuente de proteína animal con una vegetal, de bajo costo y altos rendimientos (harina de maíz nixtamalizado). Esto se hizo con el fin de abaratar el producto final, ya que parte del aporte proteínico se hizo por parte de la harina de maíz nixtamalizado y no únicamente del huevo. La proporción entre el huevo y la harina fue de 50:50. También se utilizó una dieta con fuente de proteína a partir de caseína, ya que es una de las proteínas más estudiadas y con resultados experimentales conocidos.

b) Distribución de animales:

Al inicio del experimento las ratas se pesan en forma individual, dato que corresponde al peso inicial (P_i) del experimento. Para una adecuada distribución de los animales por lote, se procede a repartirlos en jaulas individuales de acuerdo a la distribución de "Culebra-japonesa". El número de animales por lote utilizado en el experimento fue de 6 ratas.

c) Desarrollo de la prueba:

Una vez que se tienen los diferentes lotes, se le coloca a cada animal su respectivo alimento (pesado) y agua *ad libitum* y, a partir del primer día, se mantienen dichas condiciones. Se pesan los animales y el alimento dos o tres veces por semana; el estudio dura 21 días y, al final de este periodo el peso corresponde al peso final (Pf).

CÁLCULOS:

Para obtener el valor de REP, se efectúa la siguiente operación:

$$\text{REP} = \frac{\text{Pf} - \text{Pi}}{(\Sigma \text{AI}) (f)}$$

ΣAI : Corresponde a la suma del alimento ingerido durante toda la prueba (gramos).

f: Es un factor que corresponde al contenido de proteína de la dieta, expresado en fracción decimal (%proteína / 100).

Los resultados se evaluaron por medio de análisis de varianza para determinar las diferencias significativas.

10. DIGESTIBILIDAD

FUNDAMENTO:

La relación entre la cantidad de nitrógeno ingerido y el nitrógeno desechado en las heces es un estimador del nitrógeno absorbido por el animal. Es importante conocerlo, para establecer que tan asimilable es la proteína de la muestra.

MATERIAL:

- Material y reactivos necesarios para la determinación de proteína cruda (Kjeldahl)
- Recipientes de plástico con tapa
- Coladera
- Brocha
- Mortero con pistilo
- Estufa

PROCEDIMIENTO:

Se colectan las heces de las ratas a partir del décimo día de la prueba biológica hasta su término; se secan en estufa para evitar que se desarrollen hongos. Al final del experimento se toma el peso de las heces, se homogenizan en el mortero y se les determina la cantidad de nitrógeno. También se necesita la determinación de nitrógeno ingerido por los animales durante el periodo de colección de heces. Con estos datos se calculan los valores de nitrógeno ingerido y nitrógeno fecal para cada animal. Luego se calcula la digestibilidad de cada dieta.

CÁLCULOS:

$$D = \frac{N_{ing} - N_{fecal}}{N_{ing}} \times 100$$

N_{ing}: Nitrógeno ingerido por el animal durante la recolección de heces.

N_{fecal}: Nitrógeno excretado por el animal.

Los resultados se evaluaron por medio de análisis de varianza para determinar las diferencias significativas; se utilizó $\alpha=10\%$.

11. EVALUACIÓN SENSORIAL

A. ELECCIÓN DE RECETAS:

Se escogieron alimentos en cuya preparación se utilizó huevo en polvo. Son productos utilizados de forma común en la dieta y de fácil preparación. Se hicieron distintas pruebas hasta encontrar la receta que diera las características buscadas en los alimentos, utilizando las mezclas preparadas de huevo e ingredientes que se encuentran en los hogares y cuyo costo no fuera muy elevado. A continuación se presentan las recetas seleccionadas, en las que se utilizan unidades de medida caseras, ya que el uso propuesto para el producto sería con estas condiciones:

Galletas de huevo:

- 3 tazas de harina de trigo
- 1 ¼ tazas de azúcar
- 1 cucharada sopera de agente leudante (Royal)
- 1 taza de margarina derretida
- 1 cucharada sopera de huevo en polvo
- ½ taza de agua hervida

Se mezclan todos los ingredientes en un tazón, se forman las galletas en una charola para horno previamente engrasada y enharinada, y se hornean durante 30 minutos en horno precalentado a 180 °C.

Atole de maíz sabor chocolate

- 6 tazas de agua hervida
- 1 taza de harina de maíz nixtamalizado
- 1 raja de canela
- 1 taza de jarabe de chocolate
- 1 cucharada sopera de huevo en polvo
- ½ taza de azúcar

Se mezclan los ingredientes y se cocinan a fuego lento hasta que espese y se forme el atole.

Postre de fresa

- 4 tazas de agua hervida
- 2 tazas de Maizena
- 1 cucharada sopera de huevo en polvo
- 1 taza de mermelada de fresa
- 2 gotas de colorante vegetal rojo

Se mezclan los ingredientes y se cocinan a fuego lento hasta que suelte el hervor. Se deja enfriar para que cuaje y se refrigera.

Natilla de vainilla

- 3 cucharadas soperas de Maizena
- 1 taza de azúcar
- 1 ½ tazas de leche
- 1 ½ tazas de agua hervida
- 1 cucharada sopera de huevo en polvo
- 1 cucharada sopera de extracto de vainilla

Se mezclan los ingredientes y se cocinan a fuego lento. Se mueve constantemente. Se retira del fuego cuando haya espesado. Se deja enfriar y se refrigera.

B. ELABORACIÓN DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL: PRUEBA HEDÓNICA

Se estudió el comportamiento sensorial en dos poblaciones que se consideran como consumidores potenciales de las mezclas preparadas. La primera población correspondió a 15 niños cuyas edades variaban entre 2 y 7 años de edad, mientras que la segunda población correspondió a 13 adultos que consumen huevo por lo menos tres veces a la semana en su dieta habitual. A cada consumidor se le presentaron, de forma aleatoria, las tres preparaciones de cada alimento. Se calificaron las respuestas en escalas hedónicas.

Para los adultos se utilizó una escala estructurada de nueve puntos⁵⁵, mientras que para los niños se utilizó una escala de cinco puntos representada con diagramas faciales⁷², ya que son los más recomendados para la elaboración de pruebas afectivas con niños⁷³. Se eligieron las claves de las muestras utilizando una tabla de números aleatorios:⁵⁵

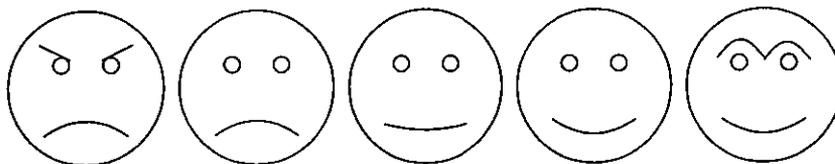
NÚMEROS ALEATORIOS ASIGNADOS A LAS MUESTRAS

MUESTRA	MEZCLA A	MEZCLA B	MEZCLA C
Galletas	411	822	985
Natilla	308	848	587
Postre de fresa	684	320	926
Atole de chocolate	997	234	773

Una vez realizada la prueba con las dos poblaciones, la escala hedónica se convierte en numérica (0-10) de acuerdo con el número de puntos de la escala. Los resultados se tabulan por juez-consumidor (filas) y por producto (columnas).

El análisis de datos se realizó mediante un análisis de varianza de una vía para determinar la diferencia entre la variable de estudio (mezcla de huevo en polvo). No se determinó la diferencia entre los jueces debido a que no era el interés del estudio. El valor de F teórico se obtuvo con un nivel de significancia del 5% de tablas ⁵⁵, para determinar la diferencia significativa entre las muestras.

La escala facial utilizada para llevar a cabo la prueba con los niños fue:⁷²



La escala hedónica para los adultos fue ⁵⁵:

- Pésimo
- Muy malo
- Malo
- Algo malo
- Regular
- Algo bueno
- Bueno
- Muy bueno
- Excelente

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TABLA 1: RESULTADOS DEL ANÁLISIS PROXIMAL Y DETERMINACIÓN DE COLESTEROL DE LAS FRACCIONES FRESCAS DEL HUEVO.

En esta tabla se observan los resultados del análisis proximal de las fracciones frescas del huevo. Para los fines de este estudio, los puntos más importantes de resaltar son:

- El elevado contenido de humedad en las tres fracciones.
- El elevado contenido lipídico en la yema.
- El contenido proteínico de la clara.
- El elevado contenido de colesterol en la yema.
- La inexistencia de grasa y colesterol en la clara.

Las partes siguientes de la investigación fueron basadas en estas características, ya que son la base para preparar las mezclas y secarlas por aspersion; pues se buscó que el producto final fuera de bajo contenido de humedad, grasa y colesterol; y de un elevado contenido proteínico.

TABLA 1

	ENTERO	YEMA	CLARA
Humedad	75.15 ± 0.48	43.35 ± 1.06	87.93 ± 0.05
Cenizas	0.93 ± 0.01	1.92 ± 0.02	0.74 ± 0.01
Proteína	13.55 ± 1.36	20.99 ± 0.42	10.48 ± 0.02
Grasa	8.28 ± 0.04	29.63 ± 0.26	0.01 ± 0.00
CHO's	2.09	4.11	0.84
Colesterol (mg / 100 g)	409.12 ± 4.56	1238.45 ± 3.30	~ 0

Para facilitar la comparación de los resultados, se presentan las gráficas 1 y 2 que se anexan. También se incluye una breve descripción y discusión de cada gráfica.

Gráfica 1:

El componente mayoritario del huevo fresco es el agua (75.15 %); por lo tanto, un tratamiento de secado disminuiría el volumen total ocupado por el producto, además de presentar ventajas de conservación.³⁶ El contenido de proteína no es muy alto (13.55 %), sin embargo, su elevada calidad nutricia hace del huevo un alimento de alto rendimiento nutritivo para sus consumidores.⁷

Se observa que la fracción lipídica en la yema crece considerablemente (29.62 %), de aquí la importancia de la yema en las características físicas (capacidad emulsionante) y sensoriales del producto ⁷⁴. También cabe destacar que el contenido de proteína es proporcionalmente más elevado que en el huevo entero y la clara; por tanto, algunas de las propiedades funcionales del huevo se basan prioritariamente en las proteínas de la yema.^{75, 76, 77, 78}

Con relación a la clara, se puede mencionar que el componente mayoritario es el agua (87.93%); sin embargo, el aspecto más importante de este análisis es la determinación de grasa en la clara (0.01 %); de aquí la base de este trabajo. Al aumentar la cantidad de clara en las mezclas, el contenido de colesterol (material lipídico) deberá disminuir en el producto final. Destaca que la composición general de la clara consiste fundamentalmente en proteínas y agua, por lo que al disminuir el contenido de humedad de la muestra, la ración incrementada será la proteínica (albúminas y globulinas principalmente).¹²

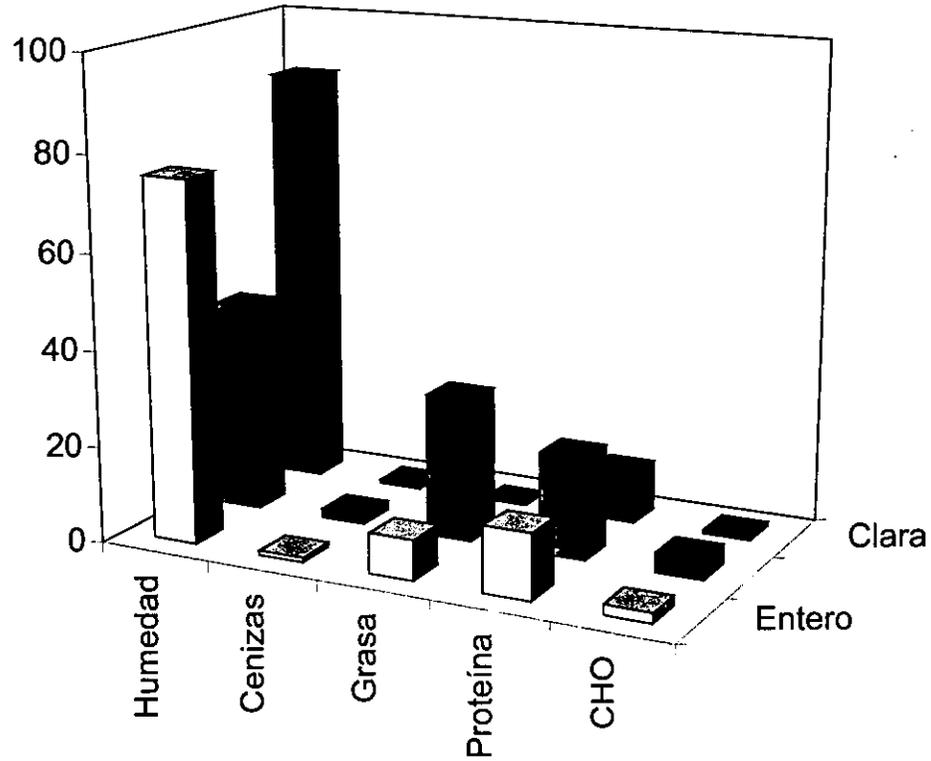
De forma general, estos valores coinciden con los valores reportados en la bibliografía.¹¹

Gráfica 2:

En cuanto al contenido de colesterol en las fracciones frescas, se observa que existe sólo una cantidad despreciable de colesterol en la clara, que coincide con lo esperado teóricamente. La cantidad de colesterol encontrada en la yema es muy elevada (1238.45 mg / 100 g); sin embargo, el contenido disminuye considerablemente en el huevo entero (409.12 mg / 100 g), aunque sigue siendo un aporte significativo de colesterol a la dieta. Esta disminución se debe al aporte nulo de colesterol por parte de la clara, que es la propiedad que se intenta explotar en este trabajo.

Es importante mencionar que existen investigaciones previas que indican que el método utilizado para la determinación de colesterol (colorimétrico) da resultados de sobre-estimación del contenido de colesterol en las muestras; sin embargo, estos mismos estudios coinciden que es un método óptimo para realizar comparaciones del contenido de colesterol entre muestras semejantes.^{78, 79}

GRÁFICA 1
**ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS
FRACCIONES FRESCAS**



GRÁFICA 2
**DETERMINACIÓN DE COLESTEROL EN
FRACCIONES FRESCAS**

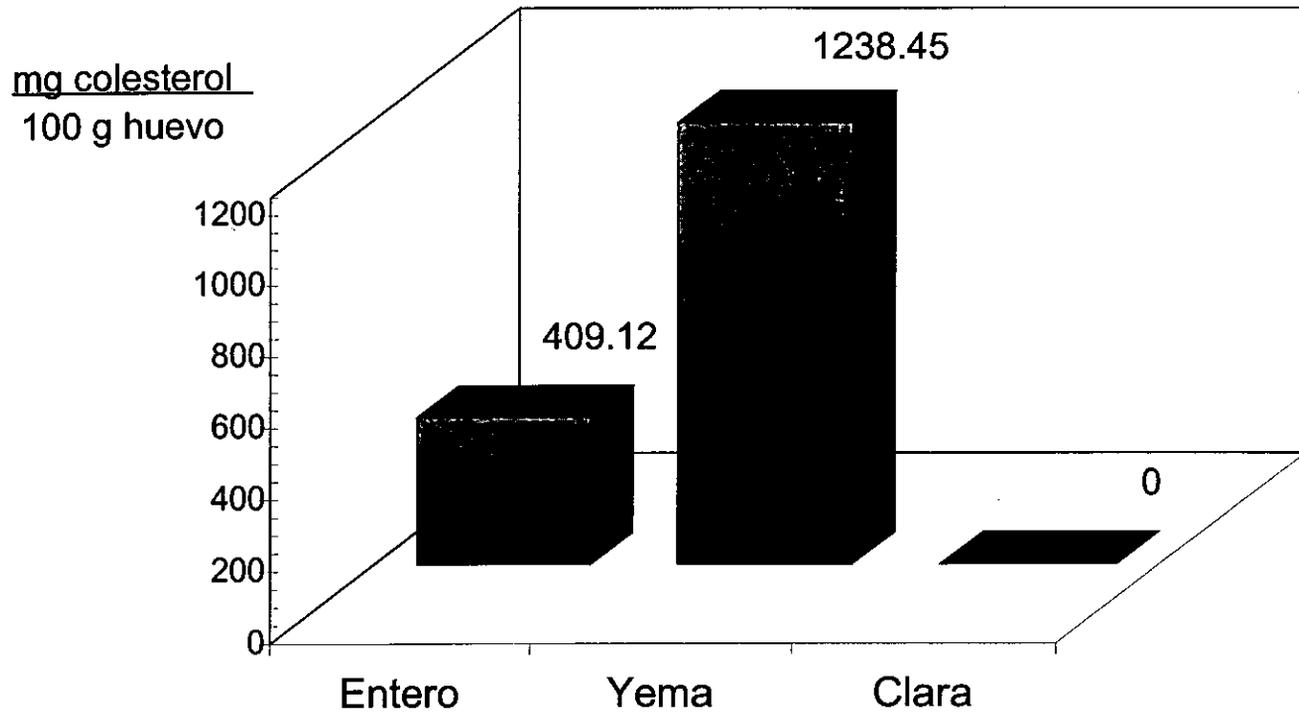


TABLA 2: RESULTADOS DEL ANÁLISIS PROXIMAL Y DETERMINACIÓN DE COLESTEROL DE LAS MEZCLAS SECAS

En la tabla 2 se presentan los resultados del análisis químico proximal y colesterol de las mezclas secas.

En cuanto a las mezclas secas se observó que los componentes mayoritarios fueron proteínas y grasa en los tres casos. El nivel lipídico descendió conforme se aumentó la proporción de clara y el proteínico aumentó en el mismo sentido. Esto es lógico ya que la clara no dio aporte lipídico y si fue considerable su aporte proteínico.

TABLA 2

	MEZCLA A (Huevo entero, 100)	MEZCLA B (2)	MEZCLA C (3)
Humedad	2.58 ± 0.02	2.62 ± 0.02	2.54 ± 0.03
Cenizas	3.65 ± 0.01	4.21 ± 0.01	4.34 ± 0.02
Proteína	48.93 ± 0.42	58.35 ± 0.39	63.56 ± 0.27
Grasa	34.15 ± 0.17	24.39 ± 0.03	19.88 ± 0.01
CHO's	10.69	10.43	9.68
Colesterol (mg / 100 g)	2162.32 ± 138.62	1919.54 ± 41.44	1723.51 ± 27.54

Para facilitar la comparación de los resultados, se presentan las gráficas 3 y 4 que se anexan.

Gráfica 3:

Se observó que, en la mezcla A (huevo entero) el componente mayoritario fue la fracción proteínica, sin embargo, la fracción grasa también fue bastante significativa. Algunos estudios han determinado que las propiedades sensoriales que el huevo en polvo confiere a los alimentos se deben básicamente a la fracción lipídica del huevo.⁸⁰ Esta mezcla será la utilizada como referencia de

comparación de los resultados obtenidos de las otras dos mezclas, ya que son los resultados que se esperarían de cualquier huevo entero deshidratado a nivel comercial.

En la mezcla B (2 claras: 1 yema) se observó una clara disminución de la fracción lipídica (~30%) con respecto a la referencia, así como un aumento de la fracción proteínica (~19%). Los demás componentes permanecieron aparentemente estables y no hubo variaciones significativas.

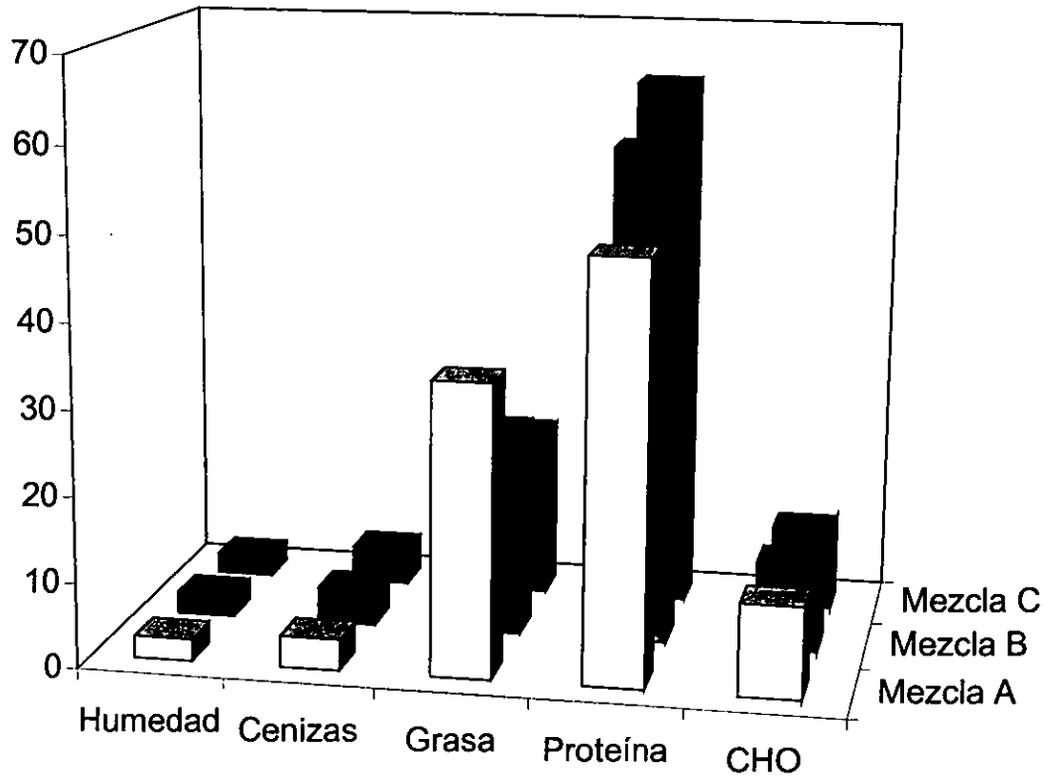
En la mezcla C (3 claras: 1 yema) se observaron cambios significativos en la proporción de algunos componentes con relación a la mezcla A (huevo entero). El contenido de grasa disminuyó (~40%), mientras que el contenido de proteína aumentó (~30%). Al igual que en el caso anterior, los demás componentes permanecieron prácticamente constantes.

Gráfica 4:

En cuanto al contenido de colesterol, se observó que en los tres casos se obtuvieron valores muy elevados. Esto es lógico si se toma en cuenta que se trata de productos con valores muy bajos de humedad (~2 %). Sin embargo, al comparar el valor de referencia de la mezcla A (huevo entero) se observó que efectivamente la cantidad de colesterol tendió a disminuir en las siguientes preparaciones: en la mezcla B (2:1) se obtuvo una reducción del 11.22 % y en la C (3:1), del 20.29 %.

En la bibliografía se reporta un contenido de colesterol de 1918 mg/100 g de huevo entero deshidratado comercial¹¹, que corresponde al valor encontrado en la mezcla B (2:1).

GRÁFICA 3
**ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS
MEZCLAS SECAS**



GRÁFICA 4
**DETERMINACIÓN DE COLESTEROL EN
MEZCLAS SECAS**

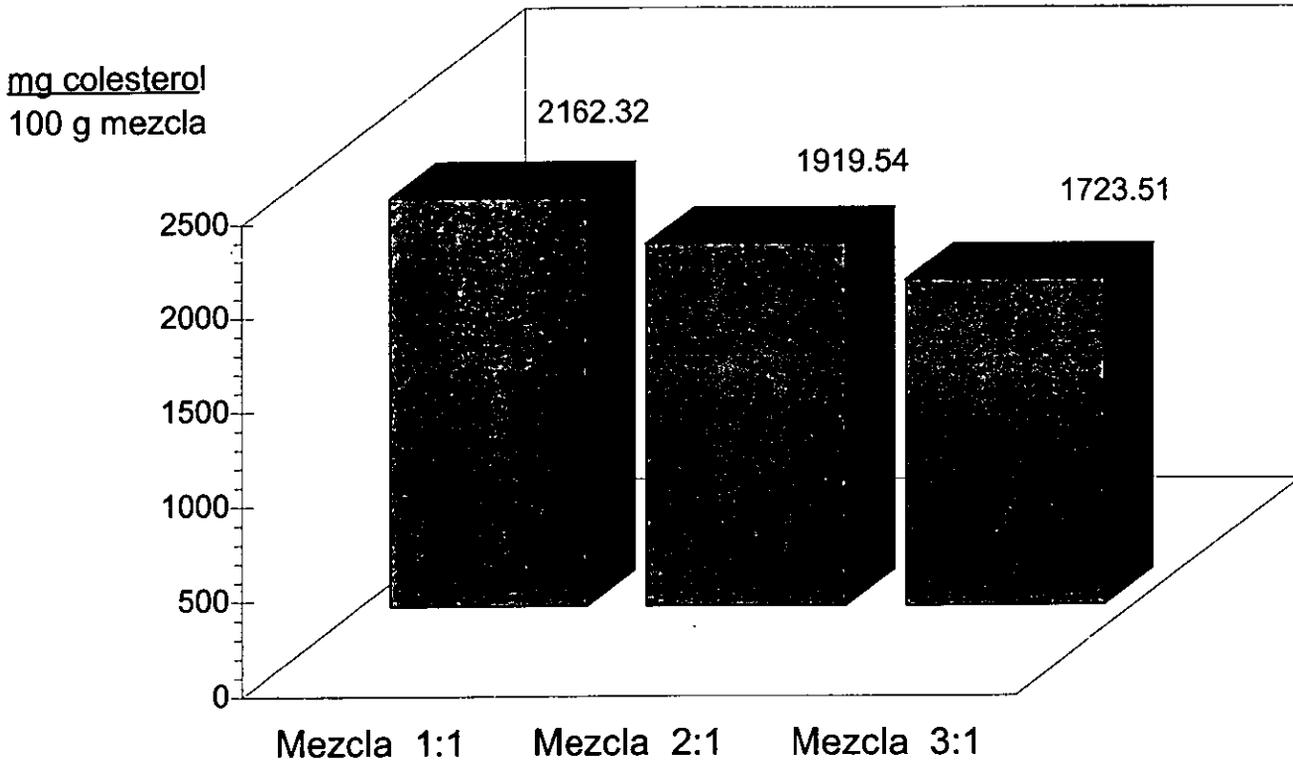


TABLA 3: RESULTADOS DEL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LAS MEZCLAS SECAS Y COMPARACIÓN CON LOS PARÁMETROS OFICIALES.

Al comparar los resultados obtenidos en las pruebas microbiológicas con aquellos reportados en la norma oficial,⁸¹ se observó que las tres mezclas entraron en la categoría de huevo deshidratado grado A; sin embargo es importante recordar que falta analizar otros parámetros antes de poder concluir que los productos cumplen con las condiciones restantes descritas en la norma oficial. Sin embargo, con base exclusivamente en sus características microbiológicas, se puede decir que se trata de alimentos inocuos para el consumo humano.

TABLA 3

	EXPERIMENTAL			NORMA OFICIAL	
	MEZCLA A (1:1)	MEZCLA B (2:1)	MEZCLA C (3:1)	GRADO A	GRADO B
Mesófilos aerobios (UFC / g)	3750	4150	6800	25000	50000
Coliformes (NMP / g)	3.6	<3	3.6	10	10
Hongos y Levaduras	Ausente	Ausente	Ausente	10	10
<i>Staphylococcus aureus</i>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
<i>Salmonella sp.</i> (25 g)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
<i>E. coli</i> (0.1 g)	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

TABLA 4: RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE VELOCIDAD DE FLUJO Y ÁNGULO DE REPOSO DE LA MEZCLAS SECAS

Se observó que los resultados obtenidos para velocidad de flujo fueron bastante similares entre las muestras. Se observó que la mayor velocidad se obtuvo en la mezcla C (3:1), lo que indicó que la disminución de la fracción de yema se tradujo en un incremento en la velocidad de flujo del polvo.

Los resultados del ángulo de reposo indicaron que las tres mezclas se pueden clasificar como polvos de flujo ligero.⁴⁷ Sin embargo, la diferencia que existe entre ellos indicó que el flujo más ligero corresponde a la mezcla C (3:1), lo que coincide con lo encontrado en los resultados de velocidad de flujo.

TABLA 4

MUESTRA	VELOCIDAD DE FLUJO (G/S)	ÁNGULO DE REPOSO
Mezcla A	1.92 ± 0.13	$36.87^\circ \pm 1.75$
Mezcla B	2.31 ± 0.34	$33.18^\circ \pm 0.82$
Mezcla C	2.33 ± 0.19	$31.43^\circ \pm 1.96$

TABLA 5: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE RECONSTITUCIÓN DE LAS MEZCLAS SECAS

Con respecto a los resultados de humectabilidad, se observó que la mezcla con mayor contenido de clara fue la que tardó más en lograr la humectación completa. Esto se puede deber a que el tratamiento térmico recibido durante el secado por aspersión aumentó la capacidad de gelificación de las proteínas de la clara, impidiendo así la entrada de las moléculas de agua para humectar.⁶¹

En los resultados del volumen de sedimentación se observó que el valor más grande corresponde a la mezcla A (huevo entero). Esto es lógico, ya que el sedimento se constituye básicamente de glóbulos de grasa y esta mezcla es la que tiene mayor proporción de grasa. Sin embargo, las tres muestras se encuentran alejadas de la suspensión ideal (V.S. = 1); esto hace que no tengan una apariencia agradable porque se observa claramente la separación de las fases.

Al relacionar los resultados de volumen de sedimentación con los de solubilidad, se observó que la mayor solubilidad se encontró en la mezcla C (3:1), que coincide con el valor más bajo del volumen de sedimentación y, por lo tanto, el más alejado de la suspensión ideal. Esto se debe esencialmente a que la disminución del contenido de grasa en esta mezcla aumenta la solubilidad de la misma porque no se forman las dos fases (grasa y acuosa) necesarias para tener una suspensión.

TABLA 5

MUESTRA	HUMECTABILIDAD (min)	VOLUMEN DE SEDIMENTACIÓN	SOLUBILIDAD (%)
Mezcla A	13.25 ± 0.82	0.68 ± 0.03	79.80 ± 0.78
Mezcla B	14.99 ± 0.65	0.60 ± 0.06	82.68 ± 1.02
Mezcla C	21.49 ± 1.00	0.50 ± 0.07	89.23 ± 0.15

TABLA 6: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ESTABILIDAD DE LAS MEZCLAS SECAS

No fue posible la determinación de acidez, debido a las características básicas de las mezclas, las que son confirmadas por los resultados de pH. El valor más elevado correspondió a la mezcla C (3:1), lo que se debió a que las proteínas de la clara (ovoalbúmina fundamentalmente) se conforman en gran parte por aminoácidos básicos.¹²

TABLA 6

MUESTRA	ACIDEZ	
Mezcla A	<0.01%	8.18 ± 0.012
Mezcla B	<0.01%	8.30 ± 0.008
Mezcla C	<0.01%	8.39 ± 0.008

* Nota: Las características básicas de las muestras no permitieron la determinación del porcentaje de acidez. Se reporta con respecto a la norma⁸¹, y con relación a la cantidad de ácido oléico.

TABLA 7: RESULTADOS DE LAS PRUEBAS FÍSICAS DE LAS MEZCLAS SECAS

En los resultados de densidad aparente, se observó que los valores obtenidos para las tres mezclas son prácticamente iguales, lo que significa que aún cuando sí hay diferencias en la densidad de las mezclas, éstas son prácticamente despreciables. Con relación a la cantidad de humedad en las mezclas, estos resultados fueron reportados en la tabla 2 con la composición química de las mezclas.

TABLA 7

MEZCLA	DENSIDAD APARENTE g/cm ³
Mezcla A	0.22 ± 0.00
Mezcla B	0.24 ± 0.01
Mezcla C	0.25 ± 0.01

**TABLA 8: RESULTADOS DEL ANÁLISIS PROXIMAL
DE LA HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO
UTILIZADA EN LA ELABORACIÓN DE LAS DIETAS
PARA LA PRUEBA BIOLÓGICA.**

Estas determinaciones fueron necesarias, ya que para la elaboración de las dietas para la prueba biológica resultaba indispensable conocer la composición de esta harina que se utilizó como fuente de proteína complementaria a las mezclas de huevo. Se observó que el componente mayoritario fueron los carbohidratos (71.12%). Un punto importante es que por tratarse de un alimento vegetal, tiene un aporte de fibra que no se encuentra en las mezclas de huevo.

Se eligió este alimento como fuente complementaria de proteína para la prueba biológica, ya que es un alimento de gran consumo en el país; además de que es mucho más barato que otras harinas (trigo, arroz) y esto ayudaría a que, si se comercializara la mezcla, el costo no sería tan elevado y sería más accesible para personas de escasos recursos económicos.

TABLA 8

COMPONENTE	CONTENIDO (g/100g muestra)
Humedad	6.35 ± 0.12
Cenizas	1.43 ± 0.02
Proteína	8.87 ± 0.17
Grasa	4.56 ± 0.06
Fibra	7.76 ± 0.47
Carbohidratos	71.03

TABLA 9: FORMULACIONES DE LAS DIETAS UTILIZADAS EN LA PRUEBA BIOLÓGICA.

Se muestra la composición de las dietas utilizadas para el desarrollo de la prueba biológica e incluye el contenido de proteína global determinado en las dietas. Se observa que en términos generales no existe gran diferencia entre estos valores. Además, se debe recordar que los cálculos necesarios para la prueba biológica incluyen un ajuste de acuerdo al contenido de proteína de las dietas.

TABLA 9

INGREDIENTE	Caseína	Mezcla A	Mezcla B	Mezcla C	Maíz A	Maíz G
Fuente de proteína A*	10.60	20.43	17.14	15.73	10.22	7.87
Fuente de proteína B**	--	--	--	--	55.37	55.37
Sacarosa	22.00	21.32	21.40	21.49	8.29	8.40
Dextrosa	19.00	18.41	18.47	18.56	6.15	6.20
Dextrina	25.00	24.23	24.32	24.42	8.32	8.55
Manteca	8.00	4.03	5.61	6.21	3.44	5.64
Aceite	6.00	3.02	4.21	4.66	3.40	3.23
Sales	4.00	3.18	3.28	3.32	2.80	2.75
Vitaminas	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Celulosa	3.40	3.37	3.55	3.60	--	--
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.00	100.00
% Proteína	9.93 ± 0.23	9.60 ± 0.30	10.26 ± 0.16	10.51 ± 0.08	9.09 ± 0.23	10.29 ± 0.08

Datos en gramos para preparar 100g de dieta. La fuente de proteína B se utilizó únicamente en las últimas dos dietas que llevan dos fuentes de proteína.

* Mezcla de huevo en polvo

** Harina de maíz nixtamalizado

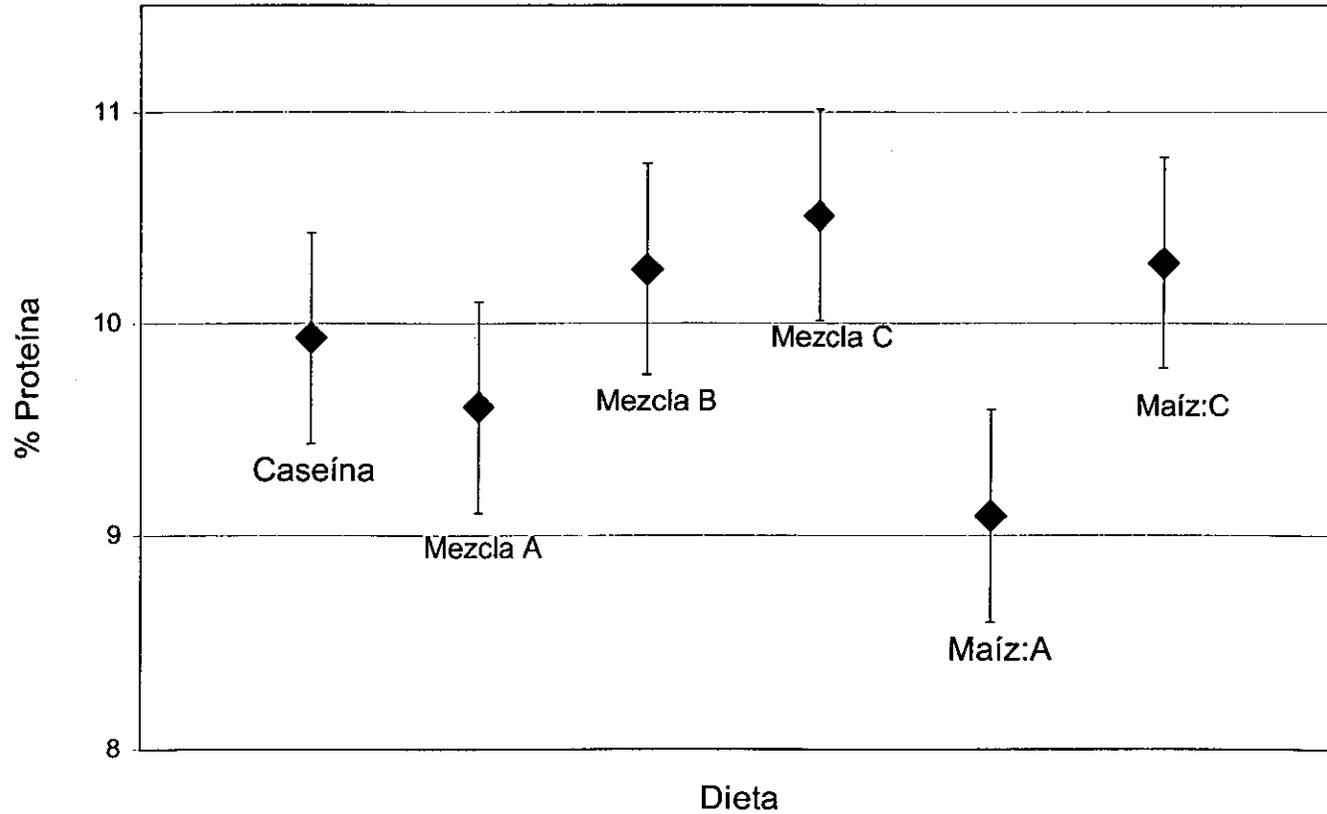
No se realizó la prueba con una dieta Maíz:B, ya que la mezcla de interés es la mezcla C por ser la que presenta la menor cantidad de colesterol. La dieta de Maíz:A se realizó porque se utilizó como referencia para observar el resultado de la prueba biológica al combinar las dos fuentes de proteína.

Gráfica 5:

En esta gráfica que se anexa, se presentan los resultados del contenido proteínico de las dietas utilizadas para la elaboración de la prueba biológica. Se muestra de forma esquemática el contenido de proteína de las dietas. Se observa que en una de las dietas (Maíz: A) el contenido de proteína es bajo, pero esto se corrige más adelante con los cálculos de la prueba biológica, ya que no se trata de una diferencia que altere el resultado del experimento.

GRÁFICA 5

CONTENIDO PROTEÍNICO EN DIETAS



**TABLA 10: RESULTADOS DE
LA PRUEBA BIOLÓGICA (R.E.P.),
COEFICIENTE DE VARIABILIDAD Y DIGESTIBILIDAD.**

En esta tabla se presentan los resultados de la prueba biológica (R.E.P). También se presentan los resultados del coeficiente de variabilidad y la digestibilidad de las dietas; el primero debe tener un valor menor de 15% (considerando que se trabajó con animales vivos) para decir que el estudio es válido. Como se puede observar, todos los resultados indicaron que se obtuvieron resultados aceptables. En cuanto a los valores de la prueba biológica y la digestibilidad, se elaboraron también gráficas para facilitar su comparación.

TABLA 10

DIETA	R.E.P.	C.V.	DIGESTIBILIDAD (%)
Caseína	2.72 ± 0.22	8.05	90.82 ± 0.69
Mezcla A	3.93 ± 0.32	8.13	91.29 ± 1.11
Mezcla B	3.31 ± 0.17	5.26	90.54 ± 1.28
Mezcla C	3.29 ± 0.19	5.66	90.38 ± 0.85
Maíz : A	3.14 ± 0.22	6.92	86.18 ± 1.69
Maíz : C	2.80 ± 0.24	8.51	88.09 ± 1.29

Se anexan las gráficas 6 Y 7 con los datos de los resultados de la prueba biológica y determinación de digestibilidad.

Gráfica 6:

En esta gráfica, se observaron grandes diferencias entre los resultados de las distintas dietas. El valor más bajo correspondió a la caseína (2.7) que es un valor menor al reportado, y el más alto a la dieta de huevo entero (3.9). Este valor es mayor al esperado, ya que en la bibliografía se reportan resultados de R.E.P. = 3⁷. Los resultados de las mezclas B y C no presentaron diferencias significativas ($\alpha=10\%$), lo que indica que la disminución de la proporción de clara desde 2:1 hasta 3:1 no afectó las características nutricias de las mezclas.

Al comparar los resultados obtenidos de las dietas con maíz, se observó que la dieta de Maíz: A tuvo un valor mucho mayor (3.14) que el obtenido de la dieta Maíz: C (2.8). Esto es lógico, ya que se observó que el huevo entero es el que presenta mejores resultados. Sin embargo, es importante mencionar que aún el resultado obtenido de la dieta Maíz: C, es mayor al encontrado con la dieta de caseína, por lo que se puede decir que todas las dietas estudiadas dan resultados que indican una elevada calidad de las proteínas que las conforman.

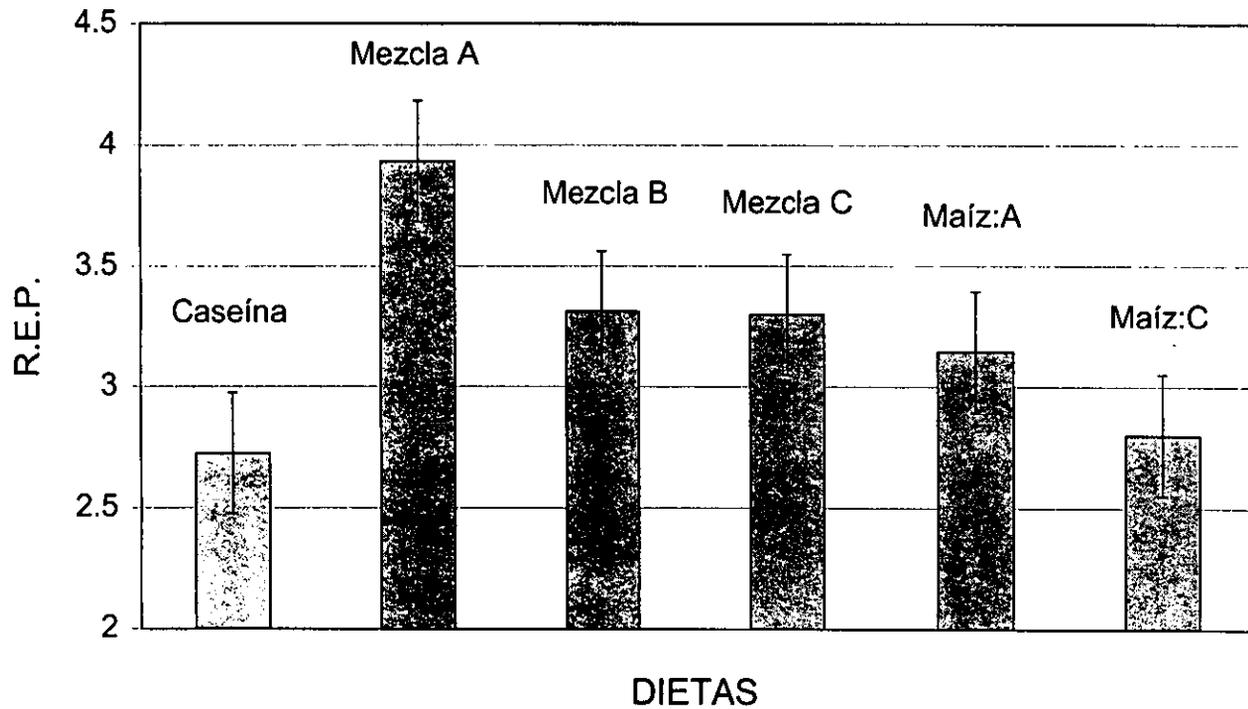
Gráfica 7:

En cuanto a los resultados de digestibilidad mostrados en esta gráfica, se observó que las diferencias entre las primeras cuatro dietas no son significativas, siendo el mejor resultado el obtenido de la dieta de huevo entero (91.29 %). Con relación a las dietas que incluyen maíz, se observó un claro descenso en la digestibilidad debido a la incorporación de la harina de maíz nixtamalizado. Sin embargo, los resultados obtenidos no son suficientemente bajos como para decir que se tengan problemas de digestibilidad al utilizar estas mezclas. Esto se debe a que el valor más bajo encontrado fue en la dieta Maíz:A, con un valor de 86.18% de digestibilidad; que difícilmente podría considerarse como un resultado deficiente.

En la tabla 11 se presentan los resultados obtenidos del análisis de varianza ($\alpha=10\%$) sobre los valores de la prueba biológica y digestibilidad.

GRÁFICA 6

PRUEBA BIOLÓGICA: R.E.P.



GRÁFICA 7

DIGESTIBILIDAD DE LAS DIETAS

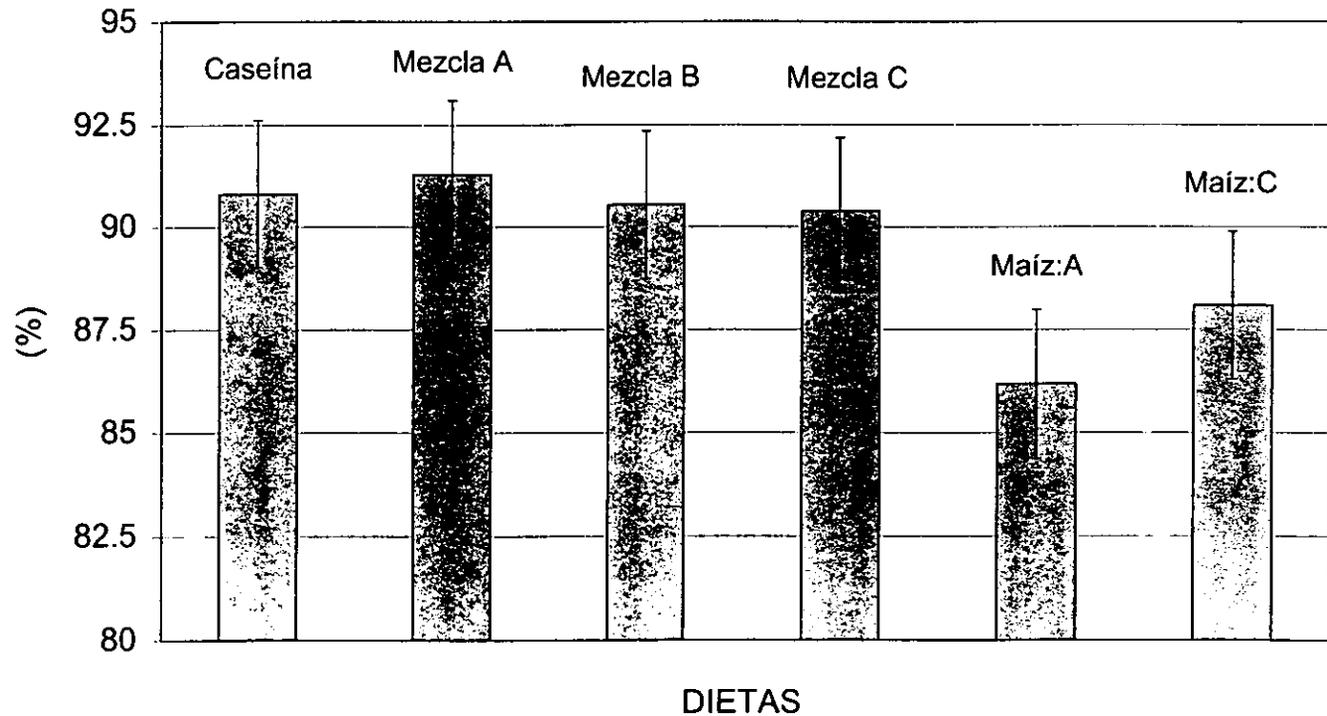


TABLA 11: RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL

Los resultados recolectados en las encuestas fueron transformados a valores numéricos de acuerdo con el número de puntos de cada escala. Una vez transformados, se hizo un tratamiento estadístico por medio de un análisis de varianza para determinar las posibles diferencias significativas.

Esta tabla resume los resultados obtenidos de los análisis de varianza empleados para el análisis de los datos recopilados en la evaluación sensorial. Se observó que ninguna de las muestras estudiadas presentó diferencias significativas en las poblaciones estudiadas.

Por lo tanto, se puede decir que la utilización de las mezclas de huevo no representó diferencias significativas, por lo que se pueden sustituir en la elaboración de alimentos preparados (postres, bebidas y productos homeados).

TABLA 11

	NIÑOS		ADULTOS	
	Fexp vs Fteo	Dif. Significativa	Fexp vs Fteo	Dif. Significativa
Galleta	0.041 < 5.18	No	1.724 < 5.61	no
Natilla	0.011 < 5.18	No	0.122 < 5.61	no
Postre de fresa	0.001 < 5.18	No	1.913 < 5.61	no
Bebida de chocolate	0.005 < 5.18	No	0.301 < 5.61	no

CONCLUSIONES

- Los resultados de la composición proximal de las mezclas frescas de huevo mostraron que se obtuvieron contenidos disminuidos de grasa y elevados de la fracción proteínica en las mezclas B y C con relación a la mezcla A.
- Con las condiciones de secado utilizadas, fue posible obtener productos estables, con menos del 5% de humedad en las mezclas finales.
- El proceso sugerido (adición de claras) es adecuado para lograr una disminución en el contenido de colesterol, lo cual se confirmó con las mediciones de este componente en las mezclas.
- Las condiciones operacionales utilizadas permitieron que se lograra que los productos obtenidos cumplan con los parámetros establecidos por la norma oficial en cuanto a su calidad microbiológica.
- En las tres mezclas, se logró un polvo altamente soluble en agua; sin embargo presentaron un bajo nivel de humectabilidad y ninguna de las mezclas presentó una suspensión ideal.
- Reológicamente, las tres mezclas se comportan como un polvo de flujo ligero y rápida velocidad de fluido. Las pruebas de estabilidad indicaron que las tres mezclas son polvos de pH elevado y características básicas.
- Aún cuando los valores de la prueba biológica indicaron que el mejor resultado de eficiencia proteínica se encontró en el huevo entero, las mezclas B y C dieron resultados que mostraron un muy alto nivel de este parámetro comparado con la caseína.

- Las combinaciones de las mezclas con maíz mostraron muy buenos resultados de calidad proteínica y son más baratas que el producto solo, ya que únicamente el 50% de la proteína es aportada por el huevo en polvo.
- La digestibilidad de todos los casos indicó que son altamente digeribles y, por lo tanto, de fácil asimilación.
- La evaluación sensorial mostró que no existió diferencia significativa ($\alpha=0.05$) entre productos procesados elaborados con los distintos productos.
- La combinación de resultados indicó que la adición de claras a la yema fue un proceso adecuado para la obtención de huevo seco con menor contenido de colesterol, además de que se logró una alta calidad nutricional en las mezclas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARREDONDO, J. *Productos de Huevo*. Tecnología de Alimentos, 1997, 32(1):34-35
2. BECERRA, D. *Negocio Redondo*. Tecnología de Alimentos, 1998, 33(2):20-24
3. HUI, Y.H. Encyclopedia of Food Science and Technology. John Wiley and Sons, Inc., Estados Unidos, 1992, p. 411
4. CHARLEY, H. Tecnología de Alimentos. Editorial Limusa, México, 1997, cap. 19
5. HART, F. Análisis Moderno de los Alimentos. Editorial Acribia, España, 1971, pp. 247-250
6. BÉJAR, M. Nutrición. Editorial Interamericana, México, 1972, pp. 138-144
7. Nutrition Document R.15 / Add1. PAG(WHO / FAO / UNICEF), Marzo, 1962, pp. C119-C122
8. LOWENBERY, E.; WILSON, H.; TODHUTER, W. Los Alimentos y el Hombre. Editorial Limusa, México, 1985, pp. 191-195
9. STADELMAN, W. J.; COTTERIL, O. J. Egg Science and Technology. 2ª edición, AVI Publishing Company, Inc., E.U.A., 1997, cap.5-7, 14, 16
10. WELLS, R.G.; BELYAVIN, C. G. Egg Quality. Poultry Science Symposium Series, Vol. 20, Editorial Butterworths, Inglaterra, 1987, cap. 4
11. MUÑOZ, M.; LEDESMA, J. A.; ROLDÁN, J. A.; MENDOZA, E.; CHÁVEZ, A.; PÉREZ-GIL, E.; HERNÁNDEZ, S.L.; y CHAPARRO, A. G. Tablas de Valor Nutritivo de los Alimentos de Mayor Consumo en México. Editorial Pax, México, 1996, pp. 232, 322
12. BOWERS, J. Food Theory and Applications. 2ª edición, Macmillan Publishing Company, E.U.A., 1987, cap. 7

13. CAUSERET, D.; MATRINGE, E.; LORIENT, D. *Ionic Strength and pH Effects on Composition and Microstructure of Yolk Granules*. Journal of Food Science, 1991, 56(6):1532-1536
14. LEHNINGER, A. L. Bioquímica. 2ª edición, Ediciones Omega, Barcelona, 1993, p. 277
15. NAVARRO, V.M. *Pretratamiento de Productos de Huevo*. Tecnología de Alimentos, 1995, 30(1):24-30
16. AGUIRRE TOLEDO, G.; GONZÁLEZ SOTOMAYOR, M.R. Caracterización de Fórmulas en Polvo para Niños Intolerantes a la Lactosa. Tesis Mancomunada, Universidad Nacional Autónoma de México, 1993
17. PEARSON, D. The Chemical Analysis of Foods. Churchill Livingtone, E.U.A., 1979, pp. 13-40, 479
18. WAYNE, B.; ARLENE, K.; MARK, M. *Nutritional Requirements of the Elderly*. Food Technology, 1986, 2:1-67
19. ZUNIN, P.; EVANGELISTI, F.; CABONI, M. F.; PENAZZI, G.; LERCKER, G.; TISCORNIA, E. *Cholesterol Oxidation in Baked Foods Containing Fresh and Powdered Eggs*. Journal of Food Science, 1995, 60(5):913-916
20. CASANUEVA, E. Nutriología Médica, Editorial Médica Panamericana, México, 1995, pp. 232-254
21. RINCÓN, A. M.; CARRILLO, F.; ARAUJO, C.; MARTÍN, E. *Contenido de colesterol en carne de pollo y sus productos manufacturados*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 1997, 47(1):81-84
22. HUERTA, N.; RUÍZ, J. L.; ARENAS, L.; JEREZ, N.; MÁRQUEZ, E.; MUÑOZ, B. *Contenido de colesterol en el músculo 'longissimus' de bovinos venezolanos*. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 1996, 46(4):329-333
23. POTTER, N.N. La Ciencia de los Alimentos. Edutex, S. A., México, 1978, pp. 450-456
24. AWAD, A. C.; BENNINK, M. R.; SMITH, D. M. *Composition and Functional Properties of Cholesterol Reduced Egg Yolk*. Poultry Science, 1997, 76(4):649-653
25. GRIFFIN, H. D. *Manipulation of egg yolk cholesterol: a physiologist's view*. World's Poultry Science Journal, 1992, 48(7):101-112

26. WASHBURN, K. W.; MARKS, H. L. *Changes in Egg Composition of Lines Selected for Divergence in Yolk Cholesterol Concentration.* Poultry Science, 1985, 64:205-211
27. PARASKEVOPOULOU, A.; KIOSSEOGLU, V. *Cholesterol and Other Lipid Extraction from Egg Yolk Using Organic Solvents: Effects on Functional Properties of Yolk.* Journal of Food Science, 1994, 59(4):766-768
28. CHUNG, S. L.; FERRIER, L. K. *Partial Lipid Extraction of Egg Yolk Powder: Effects on Emulsifying Properties and Soluble Protein Fraction.* Journal of Food Science, 1991, 56(5):1255-1258
29. LARSEN, J. E.; FRONING, G. W. *Extraction and Processing of Various Components from Egg Yolk.* Poultry Science, 1981, 60:160-167
30. WARREN, M. W.; BALL Jr, H. R. *Lipid Composition of Hexane and Supercritical Carbon Dioxide Reduced Cholesterol Dried Egg Yolk.* Poultry Science, 1991, 70:1991-1997
31. BRINGE, N. A.; HOWARD, D. B.; CLARK, D. R. *Emulsifying Properties of Low-fat, Low-cholesterol Egg Yolk Prepared by Supercritical CO₂ Extraction.* Journal of Food Science, 1996, 61(1):19-23 y 43
32. BRINGE, N. A.; CHENG, J. *Low-fat, Low-cholesterol Egg Yolk in Food Applications.* Food Technology, 1995, 49(5):94-104
33. SMITH, D.M.; AWAD, A. C.; BENNINK, M. R.; GIL, J.L. *Cholesterol Reduction in Liquid Egg Yolk Using β -cyclodextrin.* Journal of Food Science, 1995, 60(4):691-694 y 720
34. STEWART HARGIS, P. *Modifying egg yolk cholesterol in the domestic fowl- a review.* World's Poultry Science Journal, 1988, 44(1):17-29
35. ELKIN, R.G.; FREED, M. B.; KIEFT, K. A.; NEWTON, R. S. *Alteration of Egg Yolk Cholesterol Content and Plasma Lipoprotein Profiles Following Administration of a Totally Synthetic HMG-CoA Reductase Inhibitor to Laying Hens.* Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1993, 41(7):1094-1101
36. EARLE, R. L. Ingeniería de los Alimentos, 2ª edición, Editorial Acribia, España, 1988, cap. 7
37. MINE, Y. *Effect of Dry Heat and Mild Alkaline Treatment on Functional Properties of Egg White Proteins.* Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1997, 45(8):2924-2928

- 38.** FRAZIER, W. C. Microbiología de Alimentos. 3ª edición, Editorial Acribia, España, 1985, p.139-141, 148
- 39.** CHEFTEL, J. C. Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos. Editorial Acribia, España, 1989, pp. 229-230
- 40.** KEEY, R. B. Introduction to Industrial Drying Operations. Editorial Pergamar, E.U.A., 1978, p.5
- 41.** Anónimo. Secado por Aspersión. Tecnología de Alimentos, 1997, 32(5):34
- 42.** SINGH, R. H.; HELDMAN, D. R. Introducción a la Ingeniería de los Alimentos. Editorial Acribia, España, 1998, p.455-467
- 43.** MOSSEL, D. A. Microbiología de los Alimentos. Editorial Acribia, España, 1981, pp. 192-193
- 44.** JAMICSON, M.; JOBBER, P. Manejo de los alimentos: Técnicas de conservación de su calidad. Editorial Pax-México, México, 1975, Vol. 2
- 45.** MOREYRA, R. Fundamentos y Aplicaciones de Propiedades Físicas de Alimentos en Polvo. Tecnología de Alimentos, México, 17(3)
- 46.** HARD, E. Análisis Químico de Alimentos de Pearson. Editorial C.E.C.S.A., México, 1988, pp. 25-26
- 47.** CORNEJO BARRERA, L. Desarrollo de una Fórmula no Láctea para Niños con Intolerancia a la Lactosa. Tesis Universidad Iberoamericana, México, 1989
- 48.** JAY, J. M. Microbiología Moderna de los Alimentos. 2ª edición, Editorial Acribia, España, 1989, pp. 300-309, 331-334
- 49.** FERNÁNDEZ E., E. Microbiología Sanitaria. Editorial EDUG, México, 1981, cap. 1, p. 601
- 50.** STANIER, R. Y. Microbiología. 4ª edición, Ediciones REPLA, México, 1986, cap. 20
- 51.** PELCZAR, J. Microbiología. 4ª edición, Editorial McGraw-Hill, E.U.A., pp. 248-271, 527-528
- 52.** BANWART, G. Basic Food Microbiology. 2ª edición, Avi Publishing, E.U.A., 1989, cap. 7

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- 53.** PELLETT, P. L.; YOUNG, V. R. Nutritional Evaluation of Protein Foods. The United Nations University, Japón, 1980, pp. 1-5, 103-117
- 54.** WILSON, H. Intestinal Absortion. Editorial W.B. Saunders, E.U.A., 1962, pp. 69-77
- 55.** PEDRERO, D. L.; PANGBORN, R. M. Evaluación Sensorial de los Alimentos. Editorial Alhambra Mexicana, México, 1989, pp. 103, 139-144, 221, 249
- 56.** WINTON, L.; WINTON, B. Análisis de Alimentos. Editorial Continental, México, 1967, pp. 64-81
- 57.** AOAC 1984. Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, Washington, Estados Unidos, 1984
- 58.** Manual de Operación, Test-Combinación, Cat. No., 124095, Lakeside, E.U.A.
- 59.** Manual de Operación, Niro Atomizer, Copenhague, Dinamarca, No. de serie 2556.
- 60.** MINE, Y.; NOUTOMI, T.; HAGA, N. *Thermally Induced Changes in Egg White Proteins*. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1990, 38(12):2122-2125
- 61.** KATO, A.; IBRAHIM, H. R.; TAKAGI, T.; KOBAYASHI, K. *Excellent Gelation of Egg White Preheated in the Dry State is Due to the Decreasing Degree of Aggregation*. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1991, 38:1868-1872
- 62.** NOUROOZ-ZADEH, J. *Determination of the Autooxidation Products from Free or Total Cholesterol: A New Multistep Enrichment Methodology Including the Enzymatic Release of Esterified Cholesterol*. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1990, 38:1667-1673
- 63.** ZUBILLAGA, M. P.; MAERKER, G. *Quantification of Three Cholesterol Oxidation Products in Raw Meat and Chicken*. Journal of Food Science, 1994, 56(5):1194-1196,1202
- 64.** LI, S. X.; CHERIAN, G.; SIM, J. S. *Cholesterol Oxidation in Egg Yolk Powder During Storage and Heating as Affected by Dietary Oils and Tocopherol*. Journal of Food Science, 1996, 61(4):721-725
- 65.** FONTANA, A.; ANTONIAZZI, F.; CIAVATTA, M. L.; TRIBELLONE, E.; CIMINO, G. *H-NMR Study of Cholesterol Autooxidation in Egg Powder and Cookies Exposed to Adverse Storage*. Journal of Food Science, 1993, 58(6):1286-1290

- 66.** NABER, E. C.; BIGGERT, M. D. *Analysis for and Generation of Cholesterol Oxidation Products in Egg Yolk by Heat Treatment*, Poultry Science, 1985, 64:341-347
- 67.** NAKAMURA, S.; KATO, A.; KOBAYACHI, K. *Enhanced Antioxidative Effect of Ovalbumin due to Covalent Binding to Polysaccharides*. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1992, 40(11):2033-2037
- 68.** JIANG, Y. H.; McGEACHIN, R. B.; BAILEY, C. A. *α -Tocopherol, β -Carotene, and Retinol Enrichment of Chicken Eggs*. Poultry Science, 1994, 73:1137-1143
- 69.** RANKIN, S. A.; PIKE, O. A. *Cholesterol Autooxidation Inhibition Varies Among Several Natural Antioxidants in an Aqueous Model System*. Journal of Food Science, 1993, 58(3):653-655
- 70.** REMINGTON. *Farmacía*. 17ª edición, Editorial Médica Panamericana, Argentina, 1987, Tomo 2, pp.423-424, 439-442
- 71.** Subsecretaría de Salubridad y Asistencia, *Técnicas Generales para Análisis Microbiológico de Alimentos S.S.A.* Dirección General de Laboratorios de Salud Pública, México, 1978, pp. 18-19, 28, 37-40
- 72.** CHEN, A. W.; RESURRECCION, A. V. A. *Age Appropriate Hedonic Scales to Measure Food Preferences of Young Children*. Journal of Sensory Studies, 1996, 11:141-163
- 73.** KIMMEL, S. A.; SIGMAN-GRANT, M.; GUINARD, J. X. *Sensory Testing with Young Children*. Food Technology
- 74.** DRYER-HURDON, J. N.; NNANNA, I. A. *Cholesterol Content and Functionality of Plasma and Granules Fractionated from Egg Yolk*. Journal of Food Science, 1993, 58(6):1277-1281
- 75.** ANTON, M.; GANDEMER, G. *Composition, Solubility and Emulsifying Properties of Granules and Plasma of Egg Yolk*. Journal of Food Science, 1997, 62(3):484-487
- 76.** MINEKI, M.; KOBAYASHI, M. *Microstructure of Yolk from Fresh Eggs by Improved Method*, Journal of Food Science, 1997, 62(4):757-761
- 77.** DAVEY, E. M.; ZABIK, M. E.; DAWSON, L. E. *Fresh and Frozen Egg Yolk Protein Fractions: Emulsion Stabilizing Power, Viscosity, and Electrophoretic Patterns*. Poultry Science, 1969, 48:251-260

- 78.** JIANG, Z.; FENTON, M.; SIM, J. S. *Comparison of Four Different Methods for Egg Cholesterol Determination.* Poultry Science, 1991, 70:1015-1019
- 79.** FLETCHER, D. L.; BRITTON, W. M.; CASON, J. A. *A Comparison of Various Procedures for Determining Total Yolk Lipid Content.* Poultry Science, 1984, 63:1759-1763
- 80.** GARDNER, F. A.; BECK, M. L.; DENTON, J. H. *Functional Quality Comparison of Whole Egg and Selected Egg Substitute Products.* Poultry Science, 1982, 61:75-78
- 81.** Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, Norma Oficial Mexicana NOM-F-330-S-1979, *Huevo entero deshidratado o en polvo*, Dirección General de Normas, México, 24 de julio de 1979
- 82.** CHUNG, S. L.; FERRIER, L. K. *Conditions Affecting Emulsifying Properties of Egg Yolk Phosvitin.* Journal of Food Science, 1991, 56(5):1259-1262