

Obtención de Harina de Yuca para el Desarrollo de Productos Dulces Destinados para la Alimentación de Celíacos

Gabriela Alvarado T, MSc Fabiola Cornejo Z.

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo Velasco, Km. 30.5 Vía Perimetral, Apartado: 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador.

lgalvara@espol.edu.ec, fcornejo@espol.edu.ec

Resumen

Los alimentos a base de trigo que pueden considerarse de consumo cotidiano para cualquier persona, pueden ser una amenaza contra la salud para otras, pues contienen un componente llamado gluten, al cual los celíacos son intolerantes. Siendo la yuca un cultivo tradicional en el Ecuador sin gluten y ante la necesidad de la situación planteada, en la presente investigación se desarrolló un polvo base a partir de la mezcla de las harinas de yuca, arroz y maíz, el cual sustituyó a la harina de trigo en la formulación de productos dulces como muffins y galletas. Para lograr dicho objetivo, se desarrolló el proceso de obtención y caracterización de la harina de yuca. Después, se elaboró el polvo base a partir de la mezcla de las tres harinas y se estableció su tiempo de vida útil. Luego, se determinaron dos formulaciones para las galletas y muffins, utilizando dos aditivos mejoradores de textura: SSL (Estearoil Lactilato de Sodio) y DATEM (ésteres de monoglicéridos del ácido diacetil tartárico). De acuerdo a los resultados de las pruebas sensoriales, se seleccionó el aditivo DATEM en una concentración de 0.5% para ambos productos, pues las formulaciones con dicho aditivo tuvieron mayor aceptación entre los panelistas.

Palabras Clave: Celiaquía, gluten, harina de yuca, isotermas, secado.

Abstract

The wheat-based foods that can be considered daily consumer to any person may be a health threat to others, because they contain a component called gluten, which the celiacs are intolerant. Being cassava a traditional crop in Ecuador without gluten and given the necessity of the proposed situation, the present investigation develops a powder base from the mixture of flours of cassava, rice and maize, which replaced the flour wheat in the formulations of products like muffins and sweet biscuits. To achieve this, the process of obtaining and characterization of cassava flour were developed. Then, the powder base was produced from the three flour mixture and determined its shelf life. Then, two formulations were determined to cookies and muffins, using two additives texture improvers: SSL (Sodium Stearoyl Lactylate) and DATEM (Diacetyl tartaric acid esters of monoglycerides). According to the results of sensory tests, DATEM additive was selected at a concentration of 0.5% for both products, as the formulations with this additive were more accepted by the panelists.

1. Introducción

Desde hace mucho tiempo, la yuca ha sido considerada como un cultivo promisorio con una amplia variedad de aplicaciones especialmente en el campo alimentario. Al no ser la yuca una fuente de gluten, puede ser consumida sin problemas, por personas que tienen la enfermedad conocida como celiaquía o intolerancia al gluten. El gluten se encuentra en el trigo, avena, cebada y centeno o cualquier alimento que contenga estos cereales [5].

Esta enfermedad se caracteriza por la dificultad para digerir este compuesto, lo cual se manifiesta con una serie de desórdenes intestinales, y con ello diarrea, gases estomacales, cólicos abdominales, pérdida de apetito y debilidad.

Es de vital importancia para el enfermo celíaco ceñirse de por vida a los alimentos que puede ingerir, pues la ingestión de pocas cantidades de gluten puede producir lesión de las vellosidades intestinales, afectando la capacidad para absorber los nutrientes. Por esto, la enfermedad altera al proceso digestivo de absorción, y así existen deficiencias nutricionales, con la posterior pérdida de peso. Es decir que, finalmente, termina siendo un problema de malnutrición [2,5].

En este contexto, las personas que padecen de este trastorno tienen pocas opciones alimenticias. Por lo tanto, se requieren soluciones tecnológicas creativas para hacer disponibles a los celíacos productos alimenticios con las propiedades deseables, pero sin riesgo para su salud.

2. Materiales y Métodos

2.1. Materia Prima

Se utilizaron yucas adquiridas en un mercado local en el norte de la ciudad de Guayaquil. La materia prima fue lavada con agua y luego pelada de manera manual. Inmediatamente se lavó con agua fría para retirar los restos de cáscara y se procedió a triturarla. Además, se realizó un control de las especificaciones físicas, químicas y organolépticas. Todos los análisis se hicieron por triplicado para luego promediar las medidas.

2.1.1. Especificaciones físicas. El peso se determinó mediante una balanza electrónica, la determinación del diámetro y la altura se realizó con el calibrador Vernier y el rendimiento se halló relacionando los pesos de la cáscara de cada muestra y de la pulpa.

Tabla 1. Características físicas de la yuca

N° muestra	Dimensiones		Peso (g)	Rend. (%)
	Altura (mm)	Diámetro (mm)		
1	153,50	51,40	510,0	85,49
2	160,70	60,30	522,0	84,87
3	148,20	52,70	503,0	85,88
Promedio	154,13	54,80	511,67	85,41

2.1.2. Especificaciones químicas. La variación de pH se halló en forma directa mediante el método AOAC, utilizando un potenciómetro de electrodo, previamente calibrado a temperatura ambiente, el cual se introdujo en una mezcla de 90 ml de agua destilada y 10 g de yuca fresca triturada. Los sólidos solubles se midieron en muestras previamente homogeneizadas, por medio de un refractómetro con una escala entre 0 y 30 grados Brix, por lectura directa. Los resultados fueron expresados como % de sólidos solubles. Para determinar la humedad inicial de la yuca, se empleó el Método AOAC, el cual utiliza una balanza de determinación de humedad equipada con una lámpara infrarroja, donde se lee directamente el contenido de humedad. Mientras que, para medir la actividad de agua, empleó el Aqualab Water Activity meter. En la tabla 6, se observa el pequeño rango de variación en los parámetros químicos que se produce en la yuca.

Tabla 2. Características químicas de la yuca

N° muestra	Ph	° Brix	Humedad (%)	AW
1	6,35	7	65,76	0,985
2	6,33	6,8	64,89	0,972
3	6,31	7	65,32	0,980
Promedio	6,33	6,93	65,32	0,979

2.2. Proceso experimental

2.2.1. Proceso de elaboración de harina. En la Figura 1 se describen las etapas de la elaboración de harina de yuca mediante un diagrama de flujo.

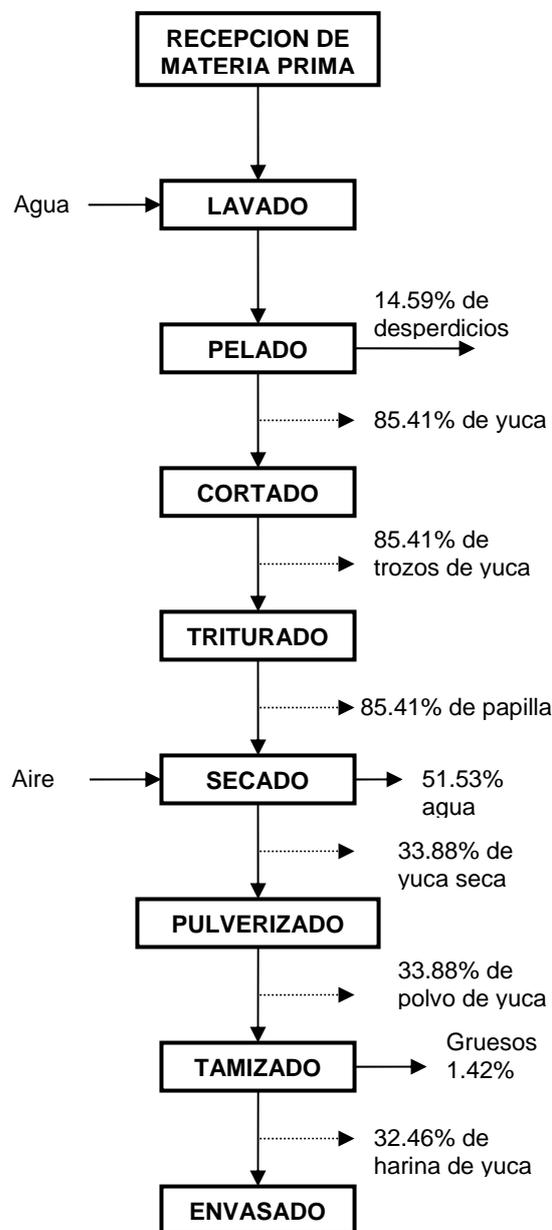


Figura 1. Diagrama de Flujo del Proceso de elaboración de harina

Recepción: En esta etapa, se llevó a cabo una inspección visual de la materia prima, y se determinó el peso de la misma para establecer parámetros de rendimiento para el proceso mismo.

Lavado: la limpieza de las yucas se realizó con agua. Esta etapa es importante porque, si las raíces tienen tierra adherida, el producto final resultará con alto contenido de cenizas, especialmente de sílice, lo cual reduce su calidad.

Pelado: para elaborar harina, se eliminó la cáscara manualmente con cuchillos.

Cortado: Se cortó la yuca en trozos pequeños y uniformes.

Triturado: para que las raíces se sequen más rápidamente es necesario aumentar la superficie expuesta al aire caliente, por lo que se procedió a triturar la yuca para obtener una papilla.

Secado: Se llevó a cabo mediante un secador horizontal experimental. La papilla obtenida en la etapa anterior se dispuso en bandejas de aluminio, de 9.5 cm de largo, 9 cm de ancho y 0.8 cm de profundidad, las cuales fueron llevadas al secador a temperatura de $50 \pm 2^\circ \text{C}$ con una velocidad del aire de 4.19 m/s. El tiempo requerido para que el producto llegara a peso constante fue de 4 horas. Después de esta operación se colocó el material tratado en recipientes para su posterior análisis fisicoquímico.

Pulverizado: La reducción de tamaño del material seco se realizó mediante un molino-tamiz.

Tamizado: Se hizo pasar el polvo fino por una serie de mallas para determinar su granulometría.

Envasado: La harina de yuca obtenida se envasó en fundas de polietileno.

2.2.2. Curvas de Secado. Los datos del proceso de secado (humedad del sólido vs. tiempo) hasta peso constante fueron obtenidos pesando periódicamente las muestras a intervalos de 5 minutos durante las tres primeras horas de secado y cada 10 y 15 minutos durante la última hora con una balanza.

El porcentaje de sólidos secos (W_s) del material fresco antes del proceso experimental fue determinado de acuerdo al método de la lámpara infrarroja establecido por la AOAC. Este valor permanece constante durante el secado. Luego, se determinó el contenido de humedad final de las muestras secas mediante un balance.

Para obtener los valores de humedad en base seca (x_t), se aplicó la ecuación 1.

$$x_t = \frac{W - W_s}{W_s} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

x_t = Humedad en base seca de la muestra

W = Peso de la muestra

W_s = Peso de sólidos secos

Luego, se halló la isoterma de desorción de la yuca mediante el programa Water Analyser, la cual se muestra en la Figura 2. Utilizando el modelo de BET, se determinó que el valor de la monocapa era de 0.1109 g de agua/ g s.s.

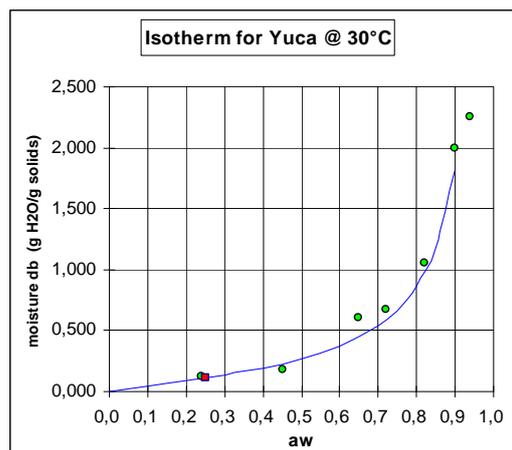


Figura 2. Isoterma de desorción de la yuca

Por otro lado, en la tabla psicrométrica, con una temperatura y humedad relativa del aire del ambiente de 30°C y 85% respectivamente, y yendo de manera horizontal hasta la temperatura de secado de 50°C , se encontró que la HR fue de 0.29. Con este dato, se entró por la gráfica de la isoterma de desorción en el eje de las x (AW), y se determinó que la humedad de equilibrio para la yuca x^* fue de 0.1816 g de agua/ g s.s. Con este valor, se calcularon las humedades libres (x) correspondientes a cada una de las humedades en base seca determinadas experimentalmente, mediante la ecuación 2.

$$x = x_t - x^* \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

x = Humedad Libre

x_t = Humedad en base seca de la muestra

x^* = Humedad de equilibrio de la muestra

Posteriormente, se calcularon las humedades medias, promediando los valores de humedad libre obtenidos. Finalmente, la velocidad de secado se obtiene relacionando la cantidad de agua que se elimina durante un tiempo determinado en el área de secado definida. Es decir, se calcula un diferencial de x media y del tiempo para calcular la velocidad de secado mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{W_s}{A} \times \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right) \quad (\text{Ecuación 3})$$

En la figura 3, se presentan los valores de humedad del sólido en base seca (Kg. $\text{H}_2\text{O}/\text{Kg. ss}$) a lo largo del tiempo (h) durante el proceso de secado de la yuca a $50 \pm 2^\circ \text{C}$.

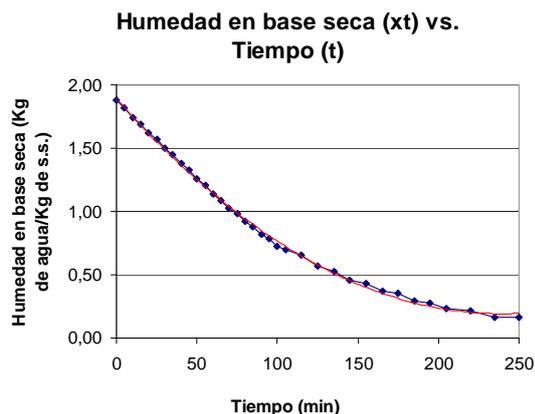


Figura 3. Humedad en base seca (xt) en función del tiempo (t) durante el secado de yuca

Como se observa en la figura 3, durante las dos primeras horas del proceso, se presentó una disminución significativa de la humedad del sólido. Esta disminución está incluso por debajo de la mitad del valor de humedad inicial del sólido. Por otra parte, la caída de humedad del sólido es mucho más moderada (menor pendiente) a partir de la segunda hora de secado.

En la Figura 4 se muestra la gráfica de Humedad libre en función del tiempo (min).

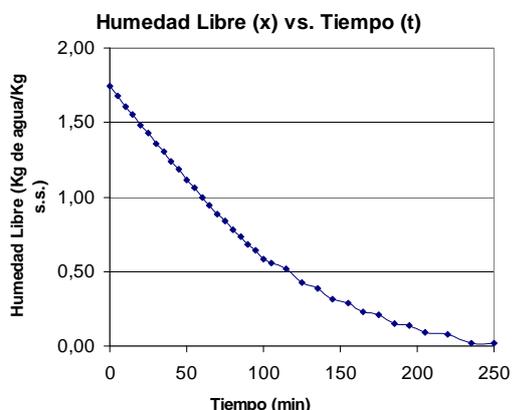


Figura 4. Humedad Libre en función del tiempo

En la figura 5, se observan los cambios que experimenta la velocidad de secado en función de la humedad libre del sólido, durante el proceso de secado de la yuca. La gráfica obtenida, es una curva característica de secado que refleja el paso del sólido por distintos períodos a medida que la humedad libre del sólido se reduce desde un valor inicial de 1.7419 g de agua / g s.s. hasta el valor final de 0.0202 g de agua/ g s.s.

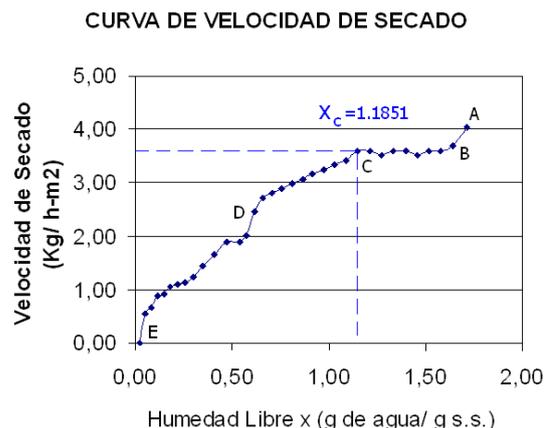


Figura 5. Curva de Velocidad de Secado

Al analizar la curva de secado, se concluye que en el periodo AB la velocidad de secado disminuye rápidamente, desde un valor inicial de humedad libre de 1.7419 hasta 1.6787 g de agua/ g s.s. En este periodo, se ajusta la temperatura del material a las condiciones de secado y la velocidad de secado fue de 4.04 hasta 3.68 Kg. /h-m².

El periodo BC representa el período de velocidad constante, el cual es independiente de la humedad del sólido lo cual originó que la humedad libre descendiera desde 1.6787 g de agua/ g s.s hasta 1.1851 g de agua/ g s.s. En promedio, este valor fue de de 3.60 Kg/h-m². Durante este período del sólido está tan húmedo que existe una película de agua continúa sobre toda la superficie de secado y el líquido se comporta como si el sólido no existiera.

Luego, la velocidad de secado comienza a decaer lentamente, dando comienzo al periodo de velocidad CD, que se inicia con la velocidad crítica de 3.60 Kg/h-m² correspondiente a una humedad crítica de 1.1851 g H₂O/ g ss. Este valor puede variar con el espesor del material y con la velocidad de secado y por consiguiente, no es una propiedad del material.

El periodo que sigue se llama 2do. Decreciente, el cual finaliza cuando la humedad libre se anula, es decir la velocidad de secado es cero.

2.3. Caracterización de la harina de yuca

2.3.1. Isotherma de Adsorción. Se realizó la isoterma de adsorción para predecir su estabilidad de la harina, relacionando la actividad de agua con la humedad del producto a una temperatura constante [4]. La isoterma de adsorción de humedad a 32°C, fue determinada mediante el método isopiético. En la figura 6, se puede observar que se obtuvo una isoterma de tipo II, de forma sigmoidea o tipo S. El valor de la monocapa de BET fue 0.0562 g de agua/g s.s. con un R² de 0.9932646.

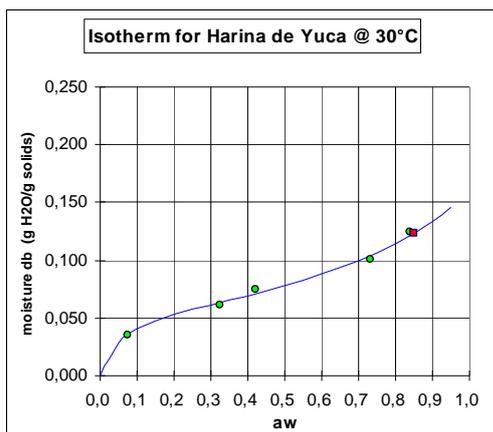


Figura 6. Isotherma de adsorción de harina de yuca a 32°C

2.3.2. Granulometría. El tamizado se realizó por medio de un juego de tamices marca Tyler de varios micrajes. El 98.1% de la harina, pasó la malla 70, por lo tanto, cumple con el requisito de tamaño de partícula de la norma INEN 517 que exige que el 95% de las partículas deben pasar la malla No. 70 con apertura de 210 μm (0.210 mm).

2.3.3. Características Físico-químicas. El pH y la humedad y las cenizas de la harina fueron determinados por métodos de la AOAC al igual que la materia prima. La determinación de cenizas, se realizó por calcinación en mufla, y la de densidad, se realizó midiendo el volumen que ocupa una determinada masa al ser compactada en un beaker. Estos análisis se realizaron por triplicado y los resultados promedios de la harina estudiada se resumen en la tabla 3.

Tabla 3. Características físico-químicas de la harina de yuca

Humedad	12.8%
pH	6.1
Cenizas	2.51 %
Densidad	0.428 g/ml

3. Resultados y Análisis

Con la finalidad de ofrecer una alternativa de alimentación a las personas que padecen de la enfermedad celíaca para que puedan elaborar sus propios productos, se propuso evaluar la funcionalidad de un polvo base libre de gluten que pueda sustituir a la harina de trigo.

3.1. Elaboración de Mezcla Base

Esta mezcla base constituye un producto con alto potencialidad de comercialización ante la situación descrita.

3.1.1. Fórmula. La mezcla base consta de tres harinas provenientes de alimentos permitidos para los celíacos (yuca, arroz y maíz) [3]. Al no trabajar con harina de trigo, la elasticidad en las masas y las características de los productos finales no son las mismas [6], por lo que se realizaron pruebas experimentales utilizando dos aditivos al 0.5%: SSL (E-481) Y DATEM (E-472e).

Tabla 15. Composición porcentual de la mezcla base + aditivo

Ingredientes	Porcentaje (%)
Harina de arroz	46.3
Harina de yuca	23.2
Harina de maíz	30.0
Aditivo	0.5
Total	100.0

3.1.2. Predicción de Vida Útil. Se estudió la ganancia de humedad del polvo base a través de una película plástica de polietileno y se construyó su isoterma a 30°C mediante el programa Water Analyser como se muestra en la Figura 7.

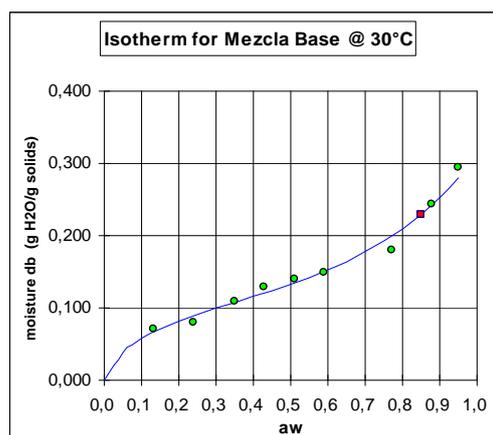


Figura 7. Isotherma de adsorción de la mezcla base

En primer lugar, se determinaron los requerimientos del producto. La humedad inicial del polvo base fue de 9.98 g de agua/100 g de s.s. El valor de la Monocapa de BET fue de 10.04 g de agua/100 g s.s. con un R^2 de 0.974910.

Luego, se definió un indicador de calidad basado en la humedad crítica. Mediante evaluación sensorial, la primera característica de calidad que se perdió fue la textura, puesto que a una humedad de 0.148 g de agua/g de s.s., la mezcla de harinas comenzó a apelmazarse. Este punto, en el que el producto ya no se consideró aceptable, fue definido como humedad crítica (m_c) [4].

Adicionalmente, se determinó el valor de la humedad equilibrio, considerando que la Humedad relativa del ambiente de la ciudad de Guayaquil es de 85%. Estos datos se muestran a continuación en la tabla 4.

Tabla 4. Contenidos de humedad en base seca (g agua /g de s.s.)

Humedad inicial (m_0)	0.0998
Humedad crítica (m_c)	0.148
Humedad de equilibrio (m_e)	0.229

Se calculó que el área del empaque necesaria para 500g de producto, es de 375 cm². Para determinar el tiempo de vida del producto se aplica la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{\ln \tau}{\left(\frac{k}{x}\right) \times \left(\frac{A}{w_s}\right) \times \left(\frac{P_0}{b}\right)} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

θ = tiempo de vida útil en días

$\ln \tau$ = Contenido de humedad no completado (tendencia de permeabilidad del empaque)

K/x = Permeabilidad máx. del alimento en g H₂O/día m² mm Hg.

A = Área del empaque (m²)

w_s = Peso de sólidos secos (g)

P_0 = Presión de vapor de agua a 30°C (mm Hg.)

b = Pendiente de la isoterma

El valor de gamma crítico ($\ln \tau$) se calcula mediante la ecuación 5, que predice un cambio de peso en alimentos secos empacados:

$$\ln \tau = \ln \left(\frac{m_e - m_0}{m_e - m_c} \right) \quad (\text{Ecuación 5})$$

El valor de b (pendiente de la isoterma) se obtiene mediante la ecuación 6.

$$b = \frac{m_c - m_0}{aw_c - aw_0} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Reemplazando en la fórmula, se obtiene que el valor de $\ln \tau$ es de 0.466912. Luego, se calculó el valor b cuyo resultado fue de 0.175273. Finalmente, aplicando la ecuación ya mencionada, se obtuvo que utilizando un empaque de polietileno, la vida útil del polvo base es de 200 días (7 meses aproximadamente).

3.2. Pruebas Sensoriales

Las formulaciones para galletas y muffins fueron desarrolladas mediante la realización de ensayos a nivel experimental, utilizando fórmulas convencionales con diferentes proporciones de los ingredientes. Se trabajó con dos formulaciones que contenían dos aditivos diferentes e igualmente convenientes, lo cual hace difícil definir por cuál decidirse, por lo que, por medio de una prueba sensorial de escala hedónica, se pudo obtener la solución al problema y conocer la preferencia que existe por una determinada formulación.

Se utilizó una prueba de aceptación a 30 panelistas empleando una escala hedónica de 5 puntos [1], donde

“me gusta mucho” posee una calificación de 5 y “me disgusta mucho” tiene una calificación de 1.

Se determinó que sí existieron diferencias significativas en las formulaciones con DATEM y SSL de ambos productos. Se seleccionaron las formulaciones que incluían al aditivo DATEM como componente (fórmula 2) porque tuvieron mayor aceptación entre los jueces.

4. Agradecimiento

A la empresa Granotec por proporcionar las muestras de los aditivos utilizados en las formulaciones de los productos horneados de manera desinteresada y a la Msc. Fabiola Cornejo por su dirección durante el desarrollo de este trabajo.

5. Referencias

- [1] Anzaldúa Morales, Antonio; La Evaluación Sensorial de los Alimentos, Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España, 1994, Págs. 67 – 75.
- [2] Aparicio Meix, Juan; Hernández Rodríguez, Manuel. Pediatría. 2da edición. Publicado por Ediciones Díaz de Santos, 1994. 1463 páginas. Pág. 617-622.
- [3] Astiasarán Anchia, Iciar. Alimentos y nutrición en la práctica sanitaria. Publicado por Ediciones Díaz de Santos, 2003. 505 páginas. Página 110-111.
- [4] Barboza G; Vega H, Deshidratación de Alimentos, Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España, 2000, Págs. 27- 35, 130 – 135.
- [5] HERRERA B., Agustín; HERRERA de Pablo, Esther; MÁRMOL G., Rafael. La enfermedad celíaca y su gastronomía. Publicado por Carena Editors, S.I., 2006. 299 páginas. Páginas 28-266.
- [6] LÓPEZ Alegret, Pedro; BOATELLA R., Joseph. Química y Bioquímica de los Alimentos II. Ediciones Universitat Barcelona, 2004. Pág 93-94.

6. Conclusiones

El alto nivel de aprobación expresado a través de los resultados de las evaluaciones sensoriales, demostraron que el polvo base obtenido constituye una interesante propuesta comercial especialmente para las personas que padecen de la enfermedad celíaca. Para la elaboración de diferentes productos horneados, debe incluirse el aditivo DATEM en la formulación de la mezcla base, el mismo que fue seleccionado porque de acuerdo a los resultados de la evaluación sensorial, mejora la textura y suavidad de las galletas y de los muffins elaborados.