

Aplicación de un Diseño Experimental de Mezclas en el Desarrollo de una “Barra Energética” con base en el Salvado de Palmito de Pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K)

H. Saltos, A. Bayas.
Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos,
Fax: 593 32453439 Ambato, Ecuador.
saltosha@yahoo.com.

Resumen

*Este estudio trata sobre el desarrollo de una barra energética con base en el salvado de palmito de pejibaye (*Bactris gasipaes* H.B.K). Aplicando un diseño experimental de mezclas se emplearon diversas proporciones de material fibroso de la cáscara de palmito, que primero fuera ablandado mediante un proceso fermentativo del hongo *Pleurotus ostreatus*, llevado a cabo durante 20 días, a 25°C y 80% de humedad relativa. Se ensayaron diez mezclas experimentales en las que se incluyó entre 4-6% del residuo fibroso, de dos granulometrías, 180 µm y 250 µm; siendo que en las mezclas se incorporaron adicionalmente los siguientes tres componentes: avena-maní, nueces-coco rallado y aditivos (margarina, lecitina de soya, panela y miel de maíz). En las barras energéticas procesadas se evaluaron el color, olor, sabor y textura, mediante catas en las que se aplicaron escalas hedónicas de cinco puntos. A través del análisis de superficie de respuesta, realizado con los resultados de la evaluación sensorial, se determinaron las mezclas óptimas, las mismas que luego fueron objeto de un estudio de vida útil. Las barras elaboradas con las mejores mezclas presentaron la siguiente composición química: proteína 8,21%; humedad 3,47%; lípidos totales 24,2%; cenizas 1,05%; fibra dietética total 9,36%; carbohidratos 53,71% y valor calórico de 465,48 (Kcal/100g). Además, el tiempo de vida útil estimado ha resultado ser de 30 días a 37°C.*

Palabras claves: *Diseño experimental. Mezclas. Palmito. Barra energética*

Abstract

*Energy bars were developed using palmito pejibaye flour (*Bactris gasipaes* H.B.K) as source of fiber. Applying an experimental design of mixtures, different proportions of each of four components, including such a palmito flour, were evaluated in order to obtain the most desirably mixture. The flour was primarily obtained from palmito waste by means of a fermentation process in which *Pleurotus ostreatus* fungus was maintained during 20 days at 25°C, 80% relative humidity environment. Later on, the product was both dried and pulverized. Ten mixtures were used to process energy bars as experimental treatments. Two replicates were applied to evaluate all of them on a randomly basis by 40 people on four organoleptic attributes: color, taste, odor and texture. Response surface analysis allowed determining the best mixtures which showed the following composition: protein, 8.21%; humidity, 3.47%; lipids, 24.2%, ashes, 1.05%, fiber, 9.29%, carbohydrates, 53.71%, 456.48 calories.*

Keywords: *Experimental design. Mixtures. Palmito. Energy bars*

1. Introducción

En muchos productos alimenticios, tales como salsas, néctares o yogures, es muy importante encontrar la mejor mezcla de los ingredientes utilizados en su elaboración. El diseño experimental de mezclas permite aplicar el criterio que la suma de las proporciones de los componentes es el 100% y que por supuesto la modificación de un porcentaje afecta los otros (1).

Consecuentemente en tales casos, los factores experimentales son precisamente los componentes de la mezcla; y los resultados son funciones de tales proporciones y pueden optimizarse mediante la técnica de la superficie de respuesta (2). En la industria alimentaria, del mismo modo que en la industria farmacéutica, han venido aplicándose con éxito los diseños experimentales de mezclas para evaluar de manera consistente y económica la influencia de cada uno de los componentes de la mezcla en el producto final (3). También se han aplicado en pruebas de valoración sensorial para optimizar las proporciones de frutas diversas en bebidas de frutas y en otros productos (4).

El volumen de residuo del palmito que se genera en las industrias ecuatorianas exportadoras de palmito procesado es alto, pues Ecuador es uno de los principales exportadores mundiales y vende al exterior sobre las veinte mil toneladas de palmito al año (CORPEI, 2004). Sin embargo de que estos desechos contienen sustancias con alto contenido de fibra, que puede ser de interés en la industria alimentaria, los principales destinos son los vertederos y rellenos. El aprovechamiento del tallo viene repartido así: palmito aprovechable, 50%; alimento animal, 16% y desecho, 34%

La creciente necesidad de aumentar la ingesta de fibra dietética ha propiciado el desarrollo de procedimientos tecnológicos para obtener mejores concentrados de fibra. No obstante, se debe tener en cuenta que sus características dependen del tipo de subproducto industrial empleado (5). En este estudio se ha utilizado el material fibroso de la cáscara de palmito de pejibaye (*Bactris gasipaes. H.B.K*), en la elaboración de barras alimenticias energéticas, debido a que el producto sería de fácil distribución, y puede ser consumido directamente, sin preparación especial.

2. Materiales y Métodos

Materia Prima. El salvado de palmito se elaboró a partir de los residuos producidos en la industria agrícola exportadora INAEXPO C.A,

localizada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, en el Km. 8 y 1/2 de la vía a Quinindé. Para ello las cáscaras fueron sometidas a cocción y luego a prensado en un trapiche, con la finalidad de extraer la humedad que es alrededor del 60%. Luego se ha fermentado con el hongo comestible *Pleurotus ostreatus* y la masa fermentada se ha secado por seis horas a 60 °C, hasta alcanzar una humedad de alrededor del 12%. Finalmente, el material fibroso fermentado y secado, es sometido a molienda para reducir su tamaño. Los ingredientes usados en la elaboración de barras alimenticias energéticas fueron: salvado de palmito (material fibroso fermentado), avenamaní; nueces-coco rallado; y aditivos (margarina, lecitina de soya, panela y miel de maíz). Para la elaboración de las barras se aplicó el proceso tecnológico presentado en la figura 1.

Parámetros fisicoquímicos. Se aplicaron las metodologías descritas en el manual de métodos de la AOAC, "Oficial Methods of Analysis", 18th Edition: 997.02 Recuento de Mohos y levaduras en alimentos; 991.14 Recuento de Coliformes y *Escherichia coli* en alimentos; 923.03 Cenizas en Harinas, 925.10. Sólidos Totales y humedad en harinas; 991,36 Grasa; 2001.11 Proteína (cruda) y la Norma NTE INEN ISO/IEC 17025:200.

Diseño experimental. Se aplicó un diseño de mezclas pudiéndose apreciar los tratamientos en la tabla 1, los mismos que fueron corridos en dos réplicas.

Tabla1. Tratamientos experimentales. Mezclas de componentes

Mezclas	Aditivos	Salvado Palmito	Avena-Maní	Coco-Nueces
1	0,52	0,08	0,31	0,09
2	0,52	0,08	0,24	0,16
3	0,50	0,04	0,32	0,14
4	0,52	0,07	0,32	0,09
5	0,52	0,04	0,32	0,12
6	0,51	0,08	0,32	0,09
7	0,50	0,08	0,32	0,10
8	0,50	0,04	0,30	0,16
9	0,52	0,04	0,28	0,16
10	0,50	0,08	0,26	0,16

Se llevaron a cabo catas en las que participaron 40 personas, a través de las cuales se evaluaron

4 atributos sensoriales con diferentes escalas hedónicas. Para el diseño y evaluación estadística de los resultados se utilizó el software Statgraphics Centurión (2009).

Con las mejores barras alimenticias energéticas, identificadas para las dos granulometrías del salvado de palmito, se procedió a establecer el perfil sensorial, utilizando para ello seis atributos: color, olor, sabor, friabilidad, crocancia y textura. Los panelistas expresaron su criterio sobre la base de escalas hedónicas similares a la siguiente, que corresponde al

atributo friabilidad, es decir que tan desmenuzable al tacto les parecía el producto.

1	2	3	4	5
Muy poco	Poco	Neutro	Alto	Muy alto

El promedio de las valoraciones de todos los panelistas y atributos sensoriales se graficó en un diagrama estrella (ver Fig.4).

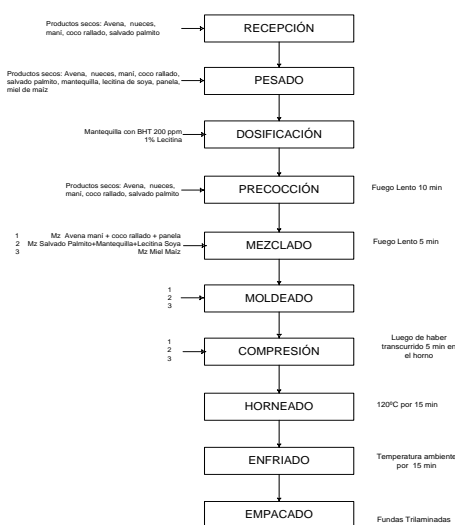


Figura 1. Diagrama de flujo, obtención de barras alimenticias energéticas

3. Resultados y discusión

Salvado de palmito. Los residuos de palmito fermentado fueron cocinados, secados a 60 °C y finalmente molidos para obtener una harina. En la tabla 2 se observa la composición química. Es interesante señalar que el proceso de fermentación permitió un incremento de fibra

soluble, de 2,37% a 7,37%; mientras que la fracción insoluble se redujo de 76,10% a 68,41%. Además permitió realizar la molienda para obtener un salvado de palmito con granulometría adecuada para el procesamiento de las barras energéticas. Nótese que el salvado de palmito tiene gran cantidad de fibra, alrededor de 75,78 (g), y una actividad de agua de 0,552, que facilita su conservación.

Tabla2. Composición, residuo palmito fermentado

Componente (g/100g)	Residuos
Proteína	7,82
Humedad	6,94
Lípidos Totales	3,18*
Cenizas	2,65
Fibra total	75,78*
Fibra soluble	7,37
Fibra insoluble	68,41

*Lab Bromatológico, EPN

Elaboración: Angélica M. Bayas A. “LACONAL”- FCIAL/UTA

Valoración de las mezclas. Los parámetros derivados del diseño de mezclas presentan diversas características. Aquí se presentan los casos del color y textura para las barras

elaboradas con salvado de granulometría 180 μm ; esto debido a que resultaron ser los únicos estadísticamente significativos al 5%.

El color se ajusta a una relación polinomial de la forma siguiente.

$$\text{COLOR} = -11.25 \cdot \text{MAditivos} + 691.292 \cdot \text{SalvPalmito} + 125.792 \cdot \text{MAveMani} + 173.071 \cdot \text{MCocoNuez} - 1151.31 \cdot \text{MAditivos} \cdot \text{SalvPalmito} + 186.604 \cdot \text{MAditivos} \cdot \text{MAveMani} - 183.083 \cdot \text{MAditivos} \cdot \text{MCocoNuez} - 1042.17 \cdot \text{SalvPalmito} \cdot \text{MAveMani} - 1014.0 \cdot \text{SalvPalmito} \cdot \text{MCocoNuez} - 318.887 \cdot \text{MAveMani} \cdot \text{MCocoNuez} \quad (1)$$

$$R^2 = 98.8261 \%$$

$$R^2 \text{ (ajustado)} = 97.5218 \%$$

Debido a que el análisis de varianza de la tabla 3 indica que el valor-p para este modelo es menor que 0.05, hay una significativa relación estadística entre el color de las barras energéticas y los componentes utilizados, al 95.0% de nivel de confianza. Además, el estadístico R^2 nos indica que el modelo explica el 98.83% de la variabilidad en color.

Tabla 3. Análisis de varianza de modelos

FV	SC	GL	CM	RV	Prob
Media	101531	1	101531		
Bloques	8.45	1	8.45	0.22	0.6413
Lineal	815.051	3	271.694	0.68	0.5755
Cuadrático	587.742	6	97.957	109.52	0.000*
Error	8.05	9	0.8944		
Total	102217	20			

En el modelo (1), el signo positivo asociado con los efectos combinados o de interacción, sugiere sinergia, es decir que respuestas mayores resultan cuando se mezclan esos componentes. Por el contrario, el signo negativo implica efecto antagónico entre los componentes, o sea que se producen respuestas menores. En consecuencia, notemos por ejemplo que el salvado de palmito con el componente “aditivos” posee efecto antagónico con los demás componentes, mientras que los aditivos actúan sinérgicamente con los componentes de la mezcla Avena-Maní y Coco-Nuez. La figura 2 muestra la superficie de respuesta estimada a través del modelo, en tanto que la tabla 4 muestra la mezcla óptima respecto a esta característica organoléptica.

Tabla 4. Respuesta optimizada, color

Componente	Bajo	Alto	Óptimo
Aditivos	0,5	0,52	0,52
Salv Palmito	0,04	0,08	0,04
Maní-Avena	0,24	0,32	0,32
Coco-Nueces	0,09	0,16	0,12

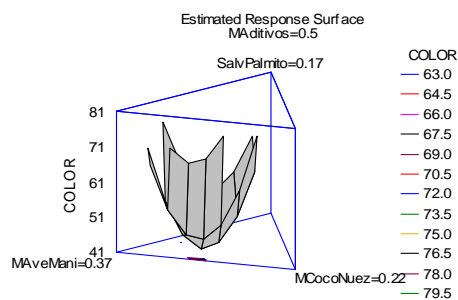


Figura 2. Superficie de respuesta, color.

La textura también se explica con un modelo altamente significativo (valor-p=0,000), el cual es el siguiente:

$$\text{TEXTURA} = -171.5 \cdot \text{MAditivos} + 262.917 \cdot \text{SalvPalmito} + 33.7917 \cdot \text{MAveMani} + 76.4286 \cdot \text{MCocoNuez} + 49.2917 \cdot \text{MAditivos} \cdot \text{SalvPalmito} + 292.229 \cdot \text{MAditivos} \cdot \text{MAveMani} + 154.917 \cdot \text{MAditivos} \cdot \text{MCocoNuez} - 242.938 \cdot \text{SalvPalmito} \cdot \text{MAveMani} - 352.083 \cdot \text{SalvPalmito} \cdot \text{MCocoNuez} + 37.2202 \cdot \text{MAveMani} \cdot \text{MCocoNuez} \quad (2)$$

$$R^2 = 96.1961 \%$$

$$R^2 \text{ (ajustado)} = 91.9696 \%$$

Este modelo ajusta el 96.1961% de la variabilidad en la textura del producto. La figura 3 muestra la superficie de respuesta estimada a

través del mismo, en tanto que los valores óptimos se indican en la última columna de la tabla 5.

Tabla 5. Respuesta optimizada, textura.

Componente	Bajo	Alto	Óptimo
Aditivos	0,5	0,52	0,51
Salvd			0,04
Palmito	0,04	0,08	
Maní-Avena	0,24	0,32	0,30
Coco-Nueces	0,09	0,16	0,16

Nótese que en este caso el salvado de palmito posee efecto sinérgico con Aditivos, pero efecto antagónico con los componentes Avena-Maní y Coco-Nuez.

Optimización de múltiples respuestas. El diseño experimental de mezclas nos permite analizar globalmente al producto, considerando las cuatro características organolépticas evaluadas, con base en las diferentes corridas realizadas. La preferencia global corresponde a la que proporciona una “función deseable” más

Tabla 6. Resultados maximizados, con cuatro atributos sensoriales

Corrida	Color	Olor	Sabor	Textura	Deseabilidad prevista	Deseabilidad observada
1	66,0	64,0	62,0	60,0	0,2657	0,0
2	67,0	68,0	65,0	52,0	0,4055	0,2136
3	68,0	69,0	84,0	62,0	0,6494	0,5523
4	63,0	65,0	68,0	51,0	0,3001	0,0
5	80,0	74,0	80,0	52,0	0,4600	0,5521
6	73,0	65,0	72,0	58,0	0,3334	0,4247
7	66,0	66,0	66,0	55,0	0,4156	0,2364
8	71,0	72,0	78,0	68,0	0,6903	0,6777
9	70,0	74,0	78,0	59,0	0,5416	0,5803
10	82,0	70,0	78,0	61,0	0,5419	0,7166
11	68,0	60,0	74,0	58,0	0,2471	0,0
12	66,0	68,0	72,0	53,0	0,4017	0,2886
13	69,0	71,0	76,0	56,0	0,6495	0,4650
14	65,0	63,0	72,0	49,0	0,2829	0,0
15	83,0	73,0	81,0	49,0	0,4488	0,0
16	74,0	65,0	79,0	57,0	0,3197	0,4822
17	68,0	66,0	77,0	55,0	0,4025	0,3738
18	73,0	70,0	73,0	64,0	0,6916	0,5877
19	72,0	69,0	75,0	57,0	0,5359	0,4968
20	81,0	65,0	88,0	60,0	0,5389	0,6568

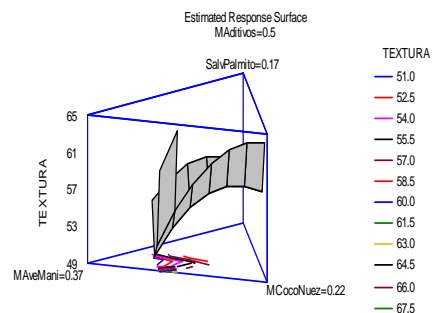


Figura 3. Superficie de respuesta, textura.

alta (9) (10). Este procedimiento ayuda a determinar la combinación de los factores experimentales que simultáneamente optimizan varias respuestas. Los hace maximizando la función de ‘deseabilidad, que en el presente caso ha correspondido a las corridas 8 y 18 (mezcla 8), según puede apreciarse en la tabla 6.

Perfil sensorial de los mejores tratamientos.

Para establecer el perfil sensorial se evaluaron seis atributos organolépticos: color, olor, sabor, friabilidad, crocancia y textura superficial. Los perfiles para las barras energéticas procesadas con salvado de palmito de las granulometrías 180 µm y 250 µm se presentan en la figura 4. A continuación se discuten brevemente cada uno de ellos:

Color: Se compara una tonalidad café fuerte, frente al color café pálido. El puntaje promedio más alto, 3,35, corresponde al mejor tratamiento con granulometría 250 µm, mientras el valor 2,775 se asocia con la granulometría 180 µm.

Olor: Las diferencias son mínimas para las barras energéticas procesadas con salvado de las dos granulometrías 180 y 250 µm. Nótese que los promedios han sido 3,25 y 3,22, respectivamente.

Sabor: Las barras energéticas en las que se utilizó salvado de palmito a granulometría 180 µm poseen el promedio más alto, 3,5. Refleja combinación de intensidades entre los niveles ni

débil y fuerte, que puede estar influenciado porque la barra tiene menos salvado de palmito.

Friabilidad: Las barras energéticas obtenidas con granulometrías 180 y 250 μm no son desmenuzables al tacto. El puntaje promedio ha sido igual a 2,26; para ambas.

Crocancia: Se percibe masticación ruidosa, con puntuaciones promedios no tan variables, de 3,475 y 3,575, para los productos procesados con salvado de palmito de granulometría igual a 180 y 250 μm respectivamente.

Textura: Los promedios de las puntuaciones fueron similares, 3,4, para las barras

alimenticias energéticas procesadas con salvado de palmito en las dos granulometrías ensayadas. La sensación de aspereza que prevalece es ni débil ni fuerte para todas ellas.

Con base en lo anteriormente explicado podría entonces decirse que las barras energéticas desarrolladas con salvado de palmito de pejibaye, bajo las condiciones de este estudio, poseen un color ligeramente café, olor de intensidad media, sabor agradable sin ser demasiado fuerte. Además, no son desmenuzables al tacto pero si poco ásperas; y al masticarse son ligeramente ruidosas.

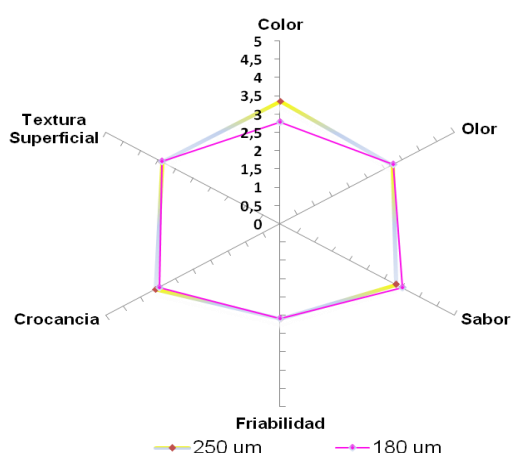


Figura 4. Perfiles de dos tipos de BAE.

Vida Útil.

Se observó la estabilidad de las grasas en las barras energéticas, almacenadas a 37°C con 96% de humedad relativa, durante 35 días. Las evaluaciones fueron efectuadas cada 5 días, para lo cual fueron tomadas 2 muestras cada vez y se obtuvieron los resultados reportados en la tabla 7.

Nótese que a las barras energéticas elaboradas con las mejores formulaciones se les agregó 200 ppm del butilhidroxitolueno, cantidad que está

de acuerdo con el *Codex Alimentarius*. Según lo señalado por Anderson *et al* (1963), los productos a base de cereales con un índice de peróxidos inferior a 20 meq/kg, no presentan rancidez oxidativa perceptible, lo cual nos indica que los dos tipos de barras pueden durar 30 días aproximadamente, en condiciones aceleradas, lo cual sugiere que a temperatura ambiente pueden durar más tiempo. (11)

Tabla 7. Índice de Peróxidos en las barras Almacenadas (meq/kg de aceite)

Tiempo (Días)	% IP (<i>miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de muestra</i>)	
	BA, (180 µm)	BA, (250 µm)
0	4.99	2.94
5	5.87	4.26
10	6.60	5.14
15	13.21	6.75
20	16.14	7.34
25	17.61	19.08
30	19.08	19.96
35	22.01	20.84

Elaboración: Angélica M. Bayas A. “UOITA”- FCIAL/UTA

4. Conclusiones

El efecto del salvado de palmito en la aceptación de las barras energéticas es significativo ($\alpha=0.05$). Los mejores porcentajes en las mezclas han resultado ser 4% y 6%, dependiendo de las granulometrías, 180 µm (ver tabla 1) y 250 µm, respectivamente.

El cultivo de *Pleurotus ostreatus*, en los residuos fibrosos de la cáscara de palmito de pejibaye (*Bactris gasipaes*. H.B.K), como ablandador del material orgánico fibroso, garantiza obtener mayor contenido de fibra dietética en dichos residuos.

El salvado de palmito contiene la siguientes composición: fibra total 75,78%; proteína 7,82%; lípidos totales 3,18%; carbohidratos 3,63%; ceniza 2,65 %; humedad 6,94%.

Los mejores tratamientos de barras energéticas presentan respectivamente los siguientes valores: contenido en fibra total; alrededor de 9,36 y 14,04%, carbohidratos 53,71 y 52,48%, lípidos totales 24,2 y 22,1%, proteína 5,21 y 8,40%; humedad 3,47 y 1,86%; y ceniza 1,05 y 1,12%. Además, los dos tratamientos proporcionan aporte calórico alto, es decir 465,48 y 442,42 Kcal/100g. Poseen una vida útil de 30 días a 37°C.

Referencias

- Juice ” *Journal of Food Science*. Vol 45 pp:809-813
- [1] Cornell J. A. (2002) *Experiments with Mixtures: Design, Models and the Analysis of Mixtures* 3rd Ed. New York&Sons
- [2] Thompson W.O. y Miers R.H. (1968) “Response Surface for Experiments with Mixtures” *Technometrics* Vol 10. pp: 739-755
- [3] Rae Cho B, et al. (2009) Development of a multidisciplinary optimization process for designing optimal pharmaceutical formulations with constrained experimental regions. *Int J Adv Manuf Technol*. Vol 44 (9-10): 841-853
- [4] Huor S. et al. (1981) “Formulation and Sensory Evaluation of a Fruit Punch Containing Watermelon Citrullus Lanatus
- [5] Aldana, J. (2004). Cultivo del hongo comestible *Pleurotus pulmonarius* sobre hojarasca de almendro (*terminalia catappa*), Roo. México
- [6] Labuza. Theodore, (1982).”*Shelf Life Dating of Foods*”, First edition. Food and Nutrition Press, INC. Westport-Connecticut USA. Pp. 25-39, 129-147.
- [7] PADILLA F. SILVIA. “Formulación y aceptabilidad de una receta de galletas de avena utilizando sucrosa para pacientes diabéticos”. Tesis. Universidad Francisco Marroquín. Escuela de Nutrición. Guatemala, Marzo, 2001.
- [8] PRIEGO, M. N. (2007). Obtención de Fibra Dietética a Partir de Sáculos de Naranja

- aplicando un Tratamiento con Vapor. Tesis. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Ciudad México.
- [9] DelCastillo E., Montgomery D., McCarville D. (1996). "Modified Desirability Functions for Multiple Response Optimization". *Journal of Quality Technology*. Vol.28 N0.3 July 1996 pp. 337-344
- [10] Saltos, H. Aníbal (2010). "*Sensometría. Análisis en el desarrollo de alimentos procesados*", pp: 389-398. Editorial Pedagógica Freire, Riobamba, Ecuador.
- [11] STATGRAPHICS Centurión (2009).
- [12] ANDERSON R H, MORAN HD, HUNTLEY TE AND HOLAHAN J L. (1963). "Responses of cereals to antioxidants". *Food Tech*; 17(12): 115-120.