

# **“DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL CONTROL DEL PARDEAMIENTO DEL BANANO TIPO CAVENDISH EN LA ELABORACIÓN DE HARINA”**

Carlos Luis Carvajal Maridueña<sup>1</sup>, Margarita Martínez Jara<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero en Estadística Informática, ESPOL, 2000

<sup>2</sup>Directora de Tesis, Ingeniera en Electrónica, ESPOL, 1989, Master en Sistemas de Información Gerencial, ESPOL, 1996, Master en Administración de Empresas, UQAM, Canadá, 1998, Profesora de la ESPOL desde 1988

## **RESUMEN**

El presente trabajo desarrolla un Diseño Experimental para el Control del Pardeamiento del Banano tipo Cavendish en el proceso de elaboración de harina a nivel de laboratorio.

Se tomo como respuesta experimental el color del producto, cuantificada a través de un colorímetro, dado que en la harina de banano el color de la misma indica el grado de oscurecimiento u oxidación sufrida en la fruta durante su procesamiento.

## **INTRODUCCIÓN**

En este trabajo se tratará de determinar que tratamientos de los factores incluidos en el Diseño Experimental influyen significativamente en la respuesta experimental y determinar el mejor tratamiento antioxidante para la optimización de recursos y tiempo del experimento, dado que es el primero que se realiza en el Programa de Tecnología en Alimentos de la ESPOL.

Toda esta determinación se realizará a través del poder de inferencia que posee el Análisis de Varianza, que será la técnica estadística que analizará el modelo matemático del Diseño Experimental bajo estudio.

## **CONTENIDO**

### **1. “DESCRIPCION DEL DISEÑO EXPERIMENTAL”**

El Diseño Experimental de estudio en esta trabajo, trató del proceso de elaboración de harina de banano a nivel de laboratorio, centrando el objetivo de este en el control del pardeamiento (oscurecimiento) de su materia prima mediante tratamientos químicos antioxidantes.

La respuesta experimental que se estudió en este experimento por las razones antes mencionadas es el color de la harina, cuantificada a través de un colorímetro.

El proceso químico antioxidante que se le aplicó al banano consistía en sumergir a la fruta en una solución de dos litros de agua que estaba influenciada por los cuatro factores considerados para este trabajo. Los factores elegidos para dicho proceso con sus respectivos niveles fueron los siguientes:

- Tipo de Antioxidante, que contendrá la solución el cual cuenta con tres niveles que son: Ácido Ascórbico, Ácido Cítrico, Metabisulfito.
- Concentración del Antioxidante con niveles de 1 y 0.5% en la solución.
- Temperatura de inmersión de la fruta en la solución con niveles de 30° y 40° centígrados.
- Tiempo de inmersión de la fruta en la solución con niveles de 5 y 10 minutos.

Dado los factores considerados para este experimento, lo que se realizó fue un Diseño Tetrafactorial que trata de aumentar la intensidad informativa de la variable de respuesta a examinar.

### **1.1. Origen del Diseño Experimental**

El Diseño Experimental antes descrito formó parte de un proyecto de investigación denominado “Fortalecimiento y Capacitación de Investigadores” de la Red Iberoamericana de las Propiedades Físicas de los Alimentos (RIPFADI-ECUADOR), con el auspicio por la Fundación de Ciencia y Tecnología (FUNDACYT).

El Diseño Experimental se desarrolló entre los meses de Enero y Julio de 1999, principalmente en la planta piloto y laboratorio de control de calidad del Programa de Tecnología en Alimentos (PROTAL) de la ESPOL, bajo la dirección de la Ing. Ángela Naupay de Yánez actual coordinadora del mismo, aunque también se contó con el apoyo científico, técnico y bibliográfico de la Red RIPFADI.

### **1.2. Componentes del Diseño Experimental**

#### **1.2.1. El Banano**

El banano utilizado para este experimento pertenece a la variedad Musa Cavendish, la cual es la más ampliamente cultivada para la exportación en todo el mundo. Para el proceso de la elaboración de harina debe encontrarse completamente verde. El tamaño del mismo debe ser grande o mediano (se considera así a aquellos bananos que miden más de 10 pulgadas o entre 8 y 10 pulgadas respectivamente) debido a que los bananos pequeños (aquellos de tamaño menor a 8 pulgadas) tienen una coloración más amarillenta, diferente del resto del racimo, lo cual produciría una desigualdad en la

coloración del producto final. Esta homogeneidad en el tamaño se dio para evitar el incremento en el error experimental causado por la desigualdad del mismo.

### 1.2.2. El Pardeamiento

En la harina de banano el color de la misma indica el grado de oscurecimiento u oxidación sufrida en la fruta durante su procesamiento, a dichos cambios se denomina pardeamiento.

El problema de pardeamiento en el banano durante la elaboración de harina es justamente el cambio desagradable (percepción de oscuro) que este produce en el color en el producto, el cual afecta no solo a esta característica sensorial del producto, sino a otras tales como su sabor y su valor nutritivo, haciendo que este tenga menor preferencia en el mercado, por tales motivos, el pardeamiento mas que cualquier alteración que pueda producir, es el motivo de la “muerte” comercial de muchos alimentos o productos, y el factor limitante más importante de su vida útil en la estantería de los supermercados.

### 1.3. Importancia del Diseño Experimental

La importancia de este trabajo radicó en iniciar a estudiantes y/o egresados del PROTAL así como de otras unidades de la ESPOL en la actividad de la investigación tecnológica y científica, en pos de la implantación de nuevos procesos o mejoramiento de los ya existentes de la elaboración de alimentos procesados tecnológicamente.

### 1.4. Observaciones Experimentales

A continuación mostraremos las observaciones experimentales obtenidas para cada uno de los tratamientos del Diseño Experimental:

Tabla I  
Observaciones Experimentales

Tratamiento	Réplica	Factores				Respuesta Experimental (0-100)
		Tipo de ácido	Concentración del ácido (%)	Tiempo de inmersión (min.)	Temperatura de inmersión (o C)	
1	1	Acido Cítrico	0.5	5	30	51.21
	2	Acido Cítrico	0.5	5	30	60.27
2	1	Acido Cítrico	0.5	5	40	52.11
	2	Acido Cítrico	0.5	5	40	59.26
3	1	Acido Cítrico	0.5	10	30	54.2
	2	Acido Cítrico	0.5	10	30	59.2

Tabla I  
Observaciones Experimentales (continuación)

Tratamiento	Réplica	Factores				Respuesta Experimental (0-100)
		Tipo de ácido	Concentración del ácido (%)	Tiempo de inmersión (min.)	Temperatura de inmersión (o C)	
4	1	Acido Cítrico	0.5	10	40	52.45
	2	Acido Cítrico	0.5	10	40	57.36
5	1	Acido Cítrico	1	5	30	53.83
	2	Acido Cítrico	1	5	30	56.73
6	1	Acido Cítrico	1	5	40	55.95
	2	Acido Cítrico	1	5	40	59.08
7	1	Acido Cítrico	1	10	30	47.01
	2	Acido Cítrico	1	10	30	56.71
8	1	Acido Cítrico	1	10	40	56.85
	2	Acido Cítrico	1	10	40	56.99
9	1	Acido Ascórbico	0.5	5	30	50.29
	2	Acido Ascórbico	0.5	5	30	57.52
10	1	Acido Ascórbico	0.5	5	40	52.07
	2	Acido Ascórbico	0.5	5	40	54.04
11	1	Acido Ascórbico	0.5	10	30	53.5
	2	Acido Ascórbico	0.5	10	30	52.52
12	1	Acido Ascórbico	0.5	10	40	52.06
	2	Acido Ascórbico	0.5	10	40	53.58
13	1	Acido Ascórbico	1	5	30	53.05
	2	Acido Ascórbico	1	5	30	51.49
14	1	Acido Ascórbico	1	5	40	46.85
	2	Acido Ascórbico	1	5	40	52.9
15	1	Acido Ascórbico	1	10	30	52.31
	2	Acido Ascórbico	1	10	30	52.88
16	1	Acido Ascórbico	1	10	40	51.75
	2	Acido Ascórbico	1	10	40	52.96
17	1	Metabisulfito	0.5	5	30	64.55
	2	Metabisulfito	0.5	5	30	60.04
18	1	Metabisulfito	0.5	5	40	62.34
	2	Metabisulfito	0.5	5	40	59.43
19	1	Metabisulfito	0.5	10	30	64.92
	2	Metabisulfito	0.5	10	30	60.76
20	1	Metabisulfito	0.5	10	40	62.18
	2	Metabisulfito	0.5	10	40	63.82
21	1	Metabisulfito	1	5	30	64.41
	2	Metabisulfito	1	5	30	54.85
22	1	Metabisulfito	1	5	40	62.2
	2	Metabisulfito	1	5	40	56.84
23	1	Metabisulfito	1	10	30	59.53
	2	Metabisulfito	1	10	30	64.14
24	1	Metabisulfito	1	10	40	61.32
	2	Metabisulfito	1	10	40	65.06

La tabla mostrada contiene en cada fila el número del tratamiento realizado, el número de réplica, sus respectivos factores y niveles, así como la observación experimental obtenida para cada tratamiento del diseño experimental.

Las observaciones experimentales en la tabla I, son las que se analizarán estadísticamente, para conocer cuales de los factores considerados en este estudio influyen significativamente en la respuesta experimental y poder optimizar el proceso de control del pardeamiento del banano en la elaboración de harina.

## 2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 2.1. La Tabla ANOVA

La tabla que se presenta a continuación se la denomina Tabla de Análisis de Varianza, la cual es un compendio que contiene todos y cada uno de los resultados que se obtienen en dicho análisis.

Tabla II  
Tabla de Análisis de Varianza del Experimento

Fuente De Variación	Sumas Cuadráticas	Grados De libertad	Medias Cuadráticas	Estadístico $F_0$	Valor P
A	781,394	2	390,697	22,869	0
B	0,872	1	0,872	0,051	0,823
C	10,783	1	10,783	0,631	0,435
D	24,069	1	24,069	1,409	0,247
AB	25,354	2	12,677	0,742	0,487
AC	22,245	2	11,122	0,651	0,53
AD	10,924	2	5,462	0,32	0,729
BC	11,87	1	11,87	0,695	0,413
BD	2,121	1	2,121	0,124	0,728
CD	5,274	1	5,274	0,309	0,584
ABC	5,995	2	2,998	0,175	0,84
ABD	31,217	2	15,608	0,914	0,415
ACD	21,669	2	10,834	0,634	0,539
BCD	10,001	1	10,001	0,585	0,452
ABCD	5,758	2	2,879	0,169	0,846
Error	410,023	24	17,084		
TOTAL	1379,569	47			

de donde los factores representados a través de las letras A, B, C y D, así como sus respectivas interacciones en el análisis son:

A = Tipo de Antioxidante

B = Concentración del Antioxidante

C = Temperatura de Inmersión de la solución antioxidante

D = Tiempo de Inmersión del banano en la solución antioxidante

Podemos observar a través de los valores P de los factores y mencionar que el único que obtuvo diferencia significativa estadística entre las medias de sus tratamientos es el factor Tipo de Antioxidante, es decir que

se rechaza la hipótesis de igualdad de medias entre los tratamientos de ese factor.

En el resto de factores, incluyendo los formados por las interacciones de los mismos (en cuales también se incluye el factor Tipo de Antioxidante para las mismas), se determina que no existen diferencias entre los tratamientos de los mencionados factores, es decir que se acepta la hipótesis de la igualdad de medias de sus tratamientos, lo que conlleva como resultado que ninguno de los factores antes descritos afectan significativamente al pardeamiento del banano durante la elaboración de harina del mismo.

Otro resultado importante que se obtuvo es el coeficiente  $R^2$ , el cual fue 0.72, esta cantidad representa la proporción de la variabilidad en los datos que es explicada por el modelo en el Análisis de Varianza, a través de sus cuatro factores, es decir que un 28% de la variabilidad en el color de la harina se encuentra ya sea en las variables controlables del proceso no consideradas en el modelo o en las variables incontrolables del proceso.

## 2.2. Comparación Múltiple de Medias: LSD

Como solo se obtuvo diferencia significativa estadística dentro de las medias de los tratamientos del factor Tipo de Antioxidante, se determinará cuales tratamientos de dicho factor difieren significativamente entre sí, los cuales junto con sus respectivas medias son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla III  
Medias de los tratamientos del factor Tipo de Antioxidante

#	Tratamiento	Media
1	Ácido Ascórbico	55.575625
2	Ácido Cítrico	52.485625
3	Metabisulfito de Sodio	61.649375

Observando el valor de las medias de cada tratamiento podríamos decir que el Antioxidante que mas controla el pardeamiento del banano es Metabisulfito de Sodio, este resultado debe corroborarse con las determinación de la existencia de diferencia significativa estadística entre las medias de los tratamientos del factor antes mencionado, esta se la realizó a través del método de comparación múltiple de medias denominado Mínima Diferencia Significa (LSD).

Para la aplicación de este método con un 95% de confianza se utilizaron los datos de la siguiente tabla:

Tabla IV  
Datos utilizados en la aplicación del método LSD

Media Cuadrática del Error	12.48
Valor porcentual $t_{0.025,24}$	2.01
Valor LSD	7.10
Diferencia absoluta entre las medias de los tratamientos 1 y 2	3.09
Diferencia absoluta entre las medias de los tratamientos 1 y 3	6.07
Diferencia absoluta entre las medias de los tratamientos 2 y 3	9.16

En la utilización del método LSD, se rechaza la prueba de igualdad de medias entre tratamientos, si la diferencia entre las medias de las mismos es mayor que el valor LSD, entonces se determina que solo existe diferencia significativa estadística entre los tratamientos Acido Cítrico y Metabisulfito de Sodio en el control de pardeamiento del banano.

### 2.3. Comprobación de Idoneidad del Modelo

Si los supuestos de normalidad e independencia de los errores observacionales que se realizan para la implantación del modelo del Diseño Experimental en estudio se cumplen, la prueba de Análisis de Varianza, se constituye en una herramienta apropiada para el contraste de hipótesis de igualdad de medias entre los tratamientos de los factores.

La comprobación de los supuestos antes descrito se los realiza a través de los residuos y las observaciones experimentales, las cuales son mostradas a continuación:

Tabla V  
Observaciones, Estimaciones y Residuos Experimentales

Observaciones	Estimados	Residuos
51.210	55.740	-4.530
60.270	55.740	4.530
52.110	55.685	-3.575
59.260	55.685	3.575
54.200	56.700	-2.500
59.200	56.700	2.500
52.450	54.905	-2.455
57.360	54.905	2.455
53.830	55.280	-1.450
56.730	55.280	1.450
55.950	57.515	-1.565
59.080	57.515	1.565

Tabla V  
Observaciones, Estimaciones y Residuos Experimentales (continuación)

Observaciones	Estimados	Residuos
47.010	51.860	-4.850
56.710	51.860	4.850
56.850	56.920	-0.070
56.990	56.920	0.070
50.290	53.905	-3.615
57.520	53.905	3.615
52.070	53.055	-0.985
54.040	53.055	0.684
53.500	53.010	0.340
52.520	53.010	-0.490
52.060	52.820	-0.760
60.040	62.295	-2.255
62.340	60.885	1.455
59.430	60.885	-1.455
64.920	62.840	2.080
60.760	62.840	-2.080
62.180	63.000	-0.820
63.820	63.000	0.569
64.410	59.630	4.780
54.850	59.630	-4.780
62.200	59.520	2.680
56.840	59.520	-2.680
59.530	61.835	-2.305
64.140	61.835	2.305
61.320	63.190	-1.870
65.060	63.190	1.870
53.580	52.820	0.528
53.050	52.270	0.542
51.490	52.270	-0.780
46.850	49.875	-3.025
52.900	49.875	3.025
52.310	52.595	-0.285
52.880	52.595	0.198
51.750	52.355	-0.605
52.960	52.355	0.420
64.550	62.295	2.255

### 2.3.1.1. Comprobación del Supuesto de Independencia

La verificación del cumplimiento de independencia de los errores de las observaciones experimentales, se realiza a través de la gráfica entre los valores estimados y los residuos de las observaciones(gráfico 1).

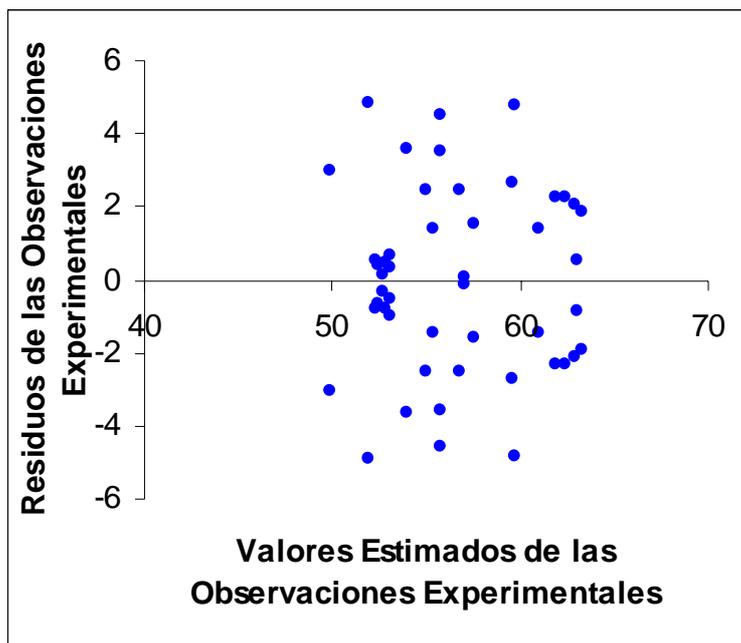


Gráfico 1 Residuos vs Valores Estimados de las Observaciones

Observando el gráfico anterior se concluyo que los residuos no siguen ningún patrón, ni están relacionados con los valores estimados de las observaciones experimentales, numéricamente esto también fue comprobado al ser la correlación entre estas dos variables cero, razones suficientes para concluir que el supuesto de independencia de los errores de las observaciones experimentales no fue violado.

### 2.3.1.2. Comprobación del supuesto de Normalidad

Mediante la aplicación de la prueba de Kolmogorov-Smirnov a los residuos, se obtuvo un nivel de significancia de 0.99, es decir que los mencionados datos provienen de una Distribución Normal (0,6.3705), lo que nos da como resultado la aceptación de la hipótesis que los residuos provienen de la distribución antes descrita.

## CONCLUSIONES

1. Dado el cumplimiento de los supuestos de normalidad e independencia de los errores observacionales del modelo del Diseño Experimental de este estudio, el Análisis de Varianza se constituye en una herramienta apropiada para el contraste de hipótesis de igualdad de medias entre los tratamientos de los factores.
2. A través de los niveles de significancia obtenidos para cada factor, Tipo de Antioxidante obtuvo un valor p igual a cero, es decir que se rechaza la

hipótesis de igualdad de medias entre sus tratamientos y se concluye que este factor es el único que afecta significativamente al pardeamiento del banano durante la elaboración de harina.

3. Al realizar las pruebas de comparación múltiple entre las medias de los tratamientos del factor antes mencionado, a través del método de Mínima Diferencia Significativa, se obtuvo que existe diferencia significativa estadística entre Metabisulfito de Sodio y Ácido Cítrico, conllevando este resultado a concluir que para una nueva realización del experimento, el antioxidante Ácido Ascórbico o Metabisulfito de Sodio pueden utilizarse como parámetros del mismo al no existir diferencia significativa estadística entre ellos y ser lo que mayor valor le dan a la respuesta experimental.
4. El coeficiente  $R^2$  del Análisis de Varianza fue de 0.72, con lo que un 28% de la variabilidad en el color de la harina se encuentra ya sea en las variables controlables del proceso no tomadas en cuenta en el modelo o en las variables incontrolables del proceso y se concluye que no se obtuvo un proceso robusto a través del Diseño Experimental en estudio de este trabajo, es decir no se obtuvo un proceso minimamente afectado por las variables incontrolables o por lo menos alguna variable controlable no fue considerada en el mismo.

## REFERENCIAS

1. C. Carvajal, "Diseño Experimental para el Control del Pardeamiento del Banano Tipo Cavendish en la Elaboración de Harina" (Tesis, Instituto de Ciencias Matemáticas, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2000)
2. G. Vargas, Informe de Prácticas Profesionales (Programa de Tecnología en Alimentos, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1999)
3. A. Mitra, Fundamentals of Quality Control and Improvement (Second Edition, Prentice Hall, Estados Unidos, 1998)
4. J. Braverman – Z. Berk, Introducción a la Bioquímica de Alimentos (Primera Edición, Editorial Manuel Moderno, México, 1990), pp. 166-186, 283-291
5. D. Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos (Tercera Edición, Grupo Editorial Ibero América)