



317
CAR
p. 2

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Instituto de Ciencias Matemáticas

**“ Diseño Experimental para el Control del
Pardeamiento del Banano tipo Cavendish en la
Elaboración de Harina ”**

T E S I S D E G R A D O

**Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO EN ESTADISTICA INFORMATICA**

Presentada por:

Carlos Luis Carvajal Maridueña



GUAYAQUIL - ECUADOR

A Ñ O

2 0 0 0



AGRADECIMIENTO

UNIVERSIDAD DEL CAYMA
CIB - ESP

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron en la realización de este trabajo, y de manera muy especial la Ing. Margarita Martínez Directora de Tesis, por su invaluable e incondicional ayuda.

AGRADECIMIENTO

CIB - ESPOL

A todas las personas que de una u otra manera colaboraron en la realización de este trabajo, y de manera muy especial la Ing. Margarita Martínez, Directora de Tesis, por su invaluable e incondicional ayuda.

DEDICATORIA

A mis padres, Carlos y Esperanza

A mi abuelita María

A mis hermanas Andrea y Karla



TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Félix Ramírez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Margarita Martínez
DIRECTORA DE TESIS

Ing. Ángela Naupay
VOCAL

Mat. Fernando Sardoja
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).


Carlos Luis Carvajal Maridueña

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, tomando 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 pardeamiento sufrido por la materia prima durante su procesamiento. En el capítulo inicial se presentan los conceptos del Diseño Experimental, así como su importancia, reseña histórica, clasificación, aplicación, componentes básicos, etc. En el siguiente capítulo se revisan aspectos concernientes al experimento, **tales** como: descripción, origen, importancia, limitaciones, componentes. El tercer capítulo describe el modelo matemático utilizado en el Diseño Experimental y las técnicas estadísticas para el análisis y comprobación de los supuestos del mismo. Finalmente, el último capítulo presenta y analiza los resultados obtenidos del Diseño Experimental, terminando este trabajo con la presentación de las conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	IV
DECLARACIÓN EXPRESA	V
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE GRÁFICOS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
INTRODUCCIÓN	1
1. “DISEÑO EXPERIMENTAL”	2
1.1. ¿QUÉ SON LOS EXPERIMENTOS?	2
1.2. ¿QUÉ ES DISEÑO EXPERIMENTAL?	3
1.3. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.	6
1.3.1. Elemento Experimental	7
1.3.2. Unidad Muestral	7
1.3.3. Respuesta Experimental	7
1.3.4. Factor	8
1.3.5. Niveles..	8
1.3.6. Tratamiento	8
1.3.7. Interacción..	9
1.3.8. Validez Experimental..	9

1.3.9. Confiabilidad Experimental..	9
1.3.10. Error Experimental..	9
1.3.11. Réplica ..	11
1.4. BREVE RESEÑA HISTÓRICA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL..	11
1.5. COMPONENTES BÁSICOS DE UN DISEÑO EXPERIMENTAL ..	13
1.5.1. La Replicación ..	13
1.5.2. La Aleatorización ..	14
1.5.3. El Bloqueo..	16
1.6. PROCEDIMIENTOS PARA REALIZACIÓN DE UN DISEÑO EXPERIMENTAL . .	17
1.7. CLASIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS EXPERIMENTALES..	20
1.7.1. Diseños Experimentales que disminuyen la interferencia de información ..	21
1.7.2. Diseños Experimentales que aumentan la intensidad de la información..	22
1.8. APLICACIONES DEL DISEÑO EXPERIMENTAL ..	24
2. “EL EXPERIMENTO” ..	28
2.1. INTRODUCCIÓN ..	28
2.2. DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO..	28
2.3. ORIGEN DEL EXPERIMENTO ..	31
2.4. OBJETIVOS DEL EXPERIMENTO ..	32
2.5. LIMITACIONES DEL EXPERIMENTO ..	33
2.6. INCONVENIENTES DEL EXPERIMENTO..	34
2.7. IMPORTANCIA DEL EXPERIMENTO ..	35
2.8. EQUIPO DE TRABAJO DEL EXPERIMENTO ..	35
2.9. ACTIVIDADES DEL EXPERIMENTO ..	36
2.10. PRESUPUESTO PARA LA REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO..	37
2.11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL EXPERIMENTO ..	39
2.12. COMPONENTES DEL EXPERIMENTO ..	41
2.12.1. El Banano ..	41
2.12.1.1. La Harina de Banano..	43
2.12.2. El Pardeamiento ..	44
2.12.2.1. Tipos de Pardeamiento..	45
2.12.2.2. Métodos de Medición del Pardeamiento..	49
2.12.2.3. Métodos de Control del Pardeamiento ..	51
2.13. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA HARINA DE BANANO ..	53
2.14. PROCESO DE OBTENCIÓN DE LAS OBSERVACIONES EXPERIMENTALES .	56
2.15. OBSERVACIONES EXPERIMENTALES..	58
3. “EL MODELO ESTADISTICO UTILIZADO EN EL DISEÑO EXPERIMENTAL” ..	61
3. 1. INTRODUCCIÓN ..	61

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla I Composición Química de Banano Verde en 100 gramos	42
Tabla II Composición Química de la Harina de Banano Verde en 100 gramos	44
Tabla III Observaciones Experimentales	59
Tabla IV Tabla de Análisis de Varianza Teórica	77
Tabla V Tabla de Análisis de Varianza del Experimento	86
Tabla VI Medias de los tratamientos del factor Tipo de Antioxidante	89
Tabla VII Datos utilizados en la aplicación del método LSD	90
Tabla VIII Observaciones, Estimaciones y Residuos Experimentales..	92

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1 .1 Pasos para la realización de un Diseño Experimental..	18
Gráfico 2.1 Cronograma de Actividades del Experimento	40
Gráfico 4.1 Observaciones Experimentales	89
Gráfico 4.2 Histograma de los Residuos	94
Gráfico 4.3 Gráfico de Probabilidad Normal de los Residuos..	94
Gráfico 4.4 Estimaciones vs Residuos Experimentales..	96

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tratará un Diseño Experimental para el Control del Pardeamiento del Banano tipo Cavendish en el proceso de elaboración de harina a nivel de laboratorio, tomando como respuesta experimental el color del producto, dado que en la harina de banano el color de la misma indica el pardeamiento sufrido por la materia prima durante su procesamiento.

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 si esta diferencia será estadística, o será estadística y práctica a la vez, para poder obtener parámetros óptimos en el proceso antes mencionado, 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.

CAPÍTULO I

1. “DISEÑO EXPERIMENTAL”

1.1. ¿Qué son los Experimentos?

Los experimentos son los medios por los cuales las teorías son desarrolladas, probadas o refutadas, por **tales** razones han sido fundamentales en el progreso de la ciencia. Los investigadores realizan experimentos eventualmente en todos los campos del saber, **tales** como: ingeniería, medicina, psicología, biología, tecnología, etc.

Para tener una idea más formal y clara de lo que es un experimento citaremos algunas definiciones:

- Un experimento es una prueba o ensayo cualesquiera (8).

- Un experimento es un proceso de medición u observación cualesquiera (6).
- Un experimento es un proceso por medio del cual se obtiene una observación (7).
- Un experimento es un método planeado de preguntas conducidas a dar soporte o refutar una hipótesis opcional o descubrir nueva información acerca de un producto, proceso o servicio (1).

Los experimentos necesitan ser diseñados, pues solos, estos no suceden. Es obvio que los experimentos no suceden por un proceso de la creación divina, pero muchos se emprenden sin un diseño formal. El incidente de no diseñar experimentos conduce casi siempre a una pérdida de tiempo y recursos. Por tal motivo esta circunstancia no debe darse y, el diseñar experimentos nos llevará a la obtención de resultados válidos, conclusiones importantes y de gran utilidad para otros experimentos.

1.2. ¿Qué es Diseño Experimental?

El término “Diseño Experimental” se refiere a un conjunto de procedimientos y técnicas que son utilizados por los investigadores

para convertir en conocimiento los datos producidos por un cierto proceso a través del análisis estadístico.

El Diseño Experimental consiste en planear y realizar un conjunto de pruebas y ensayos en el cual el investigador introduce deliberadamente ciertos cambios en un proceso, dentro del cual, algunas variables de este son controlables (es decir pueden ser vigiladas y corregidas por el experimentador), mientras que otras son incontrolables (lo que quiere decir que no pueden ser vigiladas o corregidas por el experimentador, aunque pueden ser controlables para fines de un experimento) y realiza un análisis estadístico a los datos obtenidos del mismo para determinar el efecto de dichos cambios.

Entre los objetivos del Diseño Experimental pueden incluirse:

- Determinar que variables tienen mayor influencia en la variable de respuesta.
- Determinar el mejor valor de las variables controlables que influyen en la variable de respuesta de modo que estas contengan casi siempre un valor cercano al valor nominal deseado.

- Determinar el mejor valor de las variables controlables que influyen sobre la variable de respuesta de modo que la variabilidad (variación o cambios) de estas sea pequeña.
- Determinar el mejor valor de las variables controlables que influyen sobre la variable de respuesta de modo que se minimicen los efectos de las variables incontrolables.

Un principio básico para el Diseño Experimental es: “mantener *el diseño y el análisis tan simple como sea posible, mientras que satisfaga el nivel requerido de validez científica*”. Esto es, Usted no debería esforzarse en un diseño complejo con muchos tratamientos experimentales, interacciones de varios factores y análisis estadísticos difíciles, cuando un experimento básico, simplemente diseñado, producirá la información requerida.

Al diseñar un experimento, el investigador necesita tener presente los recursos disponibles para el experimento, incluyendo apremios de costo y tiempo. El objetivo del Diseño Experimental debe ser el de proporcionar la cantidad de información máxima mientras se permanezca dentro de las limitaciones existentes. Estos conceptos de eficacia y de eficiencia estadística de los recursos son básicos en cualquier buen Diseño Experimental.

El Diseño Experimental tiene un cometido importante en el desarrollo y en la depuración de procesos para mejorar su rendimiento. En muchos casos, el objetivo puede ser desarrollar un proceso consistente o robusto; esto es que un proceso sea minimamente afectado por las variables incontrolables.

La interpretación de los datos en el diseño de experimentos no debe ser tomada a la ligera. Debemos reconocer la diferencia entre la significación práctica y la estadística, no hay seguridad de que una diferencia sea suficientemente grande desde el punto de vista práctico, por el solo hecho de que dos condiciones experimentales producen respuestas medias estadísticamente diferentes, hay que tener en cuenta también el peso económico de los recursos que se requieren para la realización de un determinado tratamiento.

1.3. Conceptos Fundamentales del Diseño Experimental

Para un mejor conocimiento de lo que es un Diseño Experimental hay que tener en claro ciertos conceptos fundamentales que mostraremos a continuación:

1.3.1. Elemento Experimental

Es la unidad básica de la experimentación, es una cantidad de material (en la producción de bienes), un individuo o un tipo de servicio (en un sistema de servicios) a la cual se asigna y se aplica un tratamiento. Por ejemplo, si se quiere medir el efecto que producirá un tratamiento al aplicarlo a una producción en lotes de 2000 Kg., cada lote será una unidad experimental.

1.3.2. Unidad Muestral

Es una fracción de la unidad experimental sobre la cual los efectos de los tratamientos van hacer observados(medidos). En muchas ocasiones, las unidades experimentales y las unidades muestrales coinciden, pero en otras no. Siguiendo el ejemplo anterior, si para la medición del efecto del tratamiento se toman 100 Kg. de cada lote, entonces los 100Kg. será la unidad muestral.

1.3.3. Respuesta Experimental

Es la variable de interés del estudio, sobre la cual se trata de verificar la influencia o no de las tratamientos considerados para el experimento, es también conocida como: **variable** de salida o variable de respuesta.

1.3.4. Factor

Es la variable cuyo efecto sobre la respuesta experimental es el interés del estudio. Por ejemplo: temperatura, tiempo, medicamento, etc. Los factores cuantitativos son aquellos cuyos niveles son de tipo ordinal, mientras que los factores cualitativos son los poseen niveles de tipo nominal.

1.3.5. Niveles

Son los diferentes valores nominales u ordinales que puede tomar un factor. Ejemplo: un factor temperatura puede tener niveles **tales** como 30°C, 40°C, 50°C, etc.

1.3.6. Tratamiento

Un tratamiento es la combinación de niveles del o los factores aplicados a las unidades experimentales, para poder observar el efecto que estos producen o no sobre la respuesta experimental, un factor es igual a un tratamiento si el factor solo posee un nivel. Ejemplo: un tratamiento sería que a un paciente se le suministre un medicamento una vez al día, mientras que otro tratamiento es que se le suministre al paciente el mismo medicamento tres veces al día.

1.3.7. Interacción

Se dice que existe una interacción entre dos factores o más, cuando la relación natural entre la variable de respuesta y un nivel de un factor es influenciada por un nivel de uno o más factores.

1.3.8. Validez Experimental

Es la veracidad que se tenga con respecto a los datos generados u obtenidos por el experimento. Decir que se tiene validez experimental, es haber obtenido datos validos, fieles resultados de la realidad.

1.3.9. Confiabilidad Experimental

Es la consistencia de los resultados, a través del tiempo y las réplicas.

1.3.10. Error Experimental

Cuando un experimento se repite bajo las mismas condiciones, los resultados observados no son completamente idénticos. Las fluctuaciones que ocurren de una repetición a otra se denominan *ruido*, *variaciones experimentales*, *error experimental*, o por abuso

del lenguaje simplemente **error**. En el contexto estadístico la palabra error se utiliza en sentido técnico, no despreciativo.

El error experimental se refiere a variaciones que son a menudo inevitables, puede definirse también como la variación producida por factores distorsionantes, tanto conocidos como desconocidos.

En realidad, gran cantidad de fuentes contribuyen al error experimental, además de los errores de medición, análisis y muestreo. Así por ejemplo, variables **tales** como la temperatura ambiente, la destreza y vigilancia del personal, antigüedad y pureza de los reactivos y eficiencia o estado del equipo. Mas aún, el error experimental debe distinguirse de equivocaciones **tales** como colocar mal la coma decimal al apuntar una observación, o utilizar un reactivo químico equivocado al hacer un experimento.

Al analizar los datos, sólo puede observarse la acumulación global de todos los errores que, aunque existan, no son cuantificables de forma inmediata. Por ejemplo, se pueden definir los siguientes tipos de error:

- Error de estado: debido a cambios aleatorios en el estado físico de las unidades experimentales.

- Error de medida: debido a imprecisiones en el proceso de medición o recuento.

Las cantidades grandes de error experimental aumentan la dificultad de determinar si el tratamiento ha producido un efecto o no sobre la respuesta experimental, efectos importantes pueden quedar ocultos total o parcialmente por el error experimental.

Una meta del diseño de un experimento es la reducción del error experimental, un acercamiento a reducir error experimental es tomar más cuidado en conducir el experimento, la ejecución defectuosa del experimento nos puede solo llevar a que el experimento entero que se convierta en una pérdida de recursos.

1.3.11. Réplica

Es una ejecución del experimento bajo las condiciones de tratamientos y controles, establecidas en el mismo.

1.4. Breve reseña histórica del Diseño Experimental

Los conceptos modernos del Diseño Experimental son debidos sobretodo al trabajo del matemático británico, Ronald A. Fisher. Él

fue el innovador del uso de los métodos estadísticos en el Diseño Experimental, al ser quien desarrolla y usa por primera vez el Análisis de **Varianza** como herramienta primaria para el análisis estadístico del Diseño Experimental.

A pesar de que Fisher fue el pionero, muchos otros han contribuido de manera significativa a las publicaciones sobre el Diseño Experimental. Entre ellos pueden encontrarse F. Yates, G.E.P. Box, R.C. Bose, O. Kempthorne y W.G. Cochran.

Muchas de las primeras aplicaciones de los métodos del Diseño Experimental se dieron en el área de agricultura y ciencias biológicas. Como resultado de ello, gran parte de la terminología proviene de los antecedentes agrícolas. Sin embargo las primeras aplicaciones industriales del Diseño Experimental se hicieron en la década de 1930, en las industrias textiles y de la lana británica.

Después de la segunda guerra mundial, los métodos del Diseño Experimental se introdujeron en las industrias químicas y de transformación de los Estados Unidos y Europa. Estos grupos industriales son todavía áreas muy fértiles para el uso del Diseño Experimental en el desarrollo de productos y procesos. La industria

de los semiconductores y la electrónica se ha servido también por muchos años y con considerable éxito de los métodos del Diseño Experimental.

1.5. Componentes Básicos de un Diseño Experimental

Los tres componentes básicos de un Diseño Experimental se relacionan con:

- El número de réplicas de los elementos experimentales asignados a un tratamiento (la replicación),
- El método usado para asignar elementos experimentales a los tratamientos (la aleatorización), y
- Los métodos que controlan los efectos de variables extrañas (el bloqueo).

Cada uno de estos componentes se relaciona con el error experimental, que definimos anteriormente. Estos componentes básicos son una parte decisiva de todo Diseño Experimental.

1.5.1. La Replicación

Es la repetición del experimento bajo idénticas condiciones, esto es equivalentes tratamientos y controles.

La replicación nos permite que estimemos el error experimental. Tal estimación se convierte en la unidad básica para determinar si las diferencias observadas en la respuesta experimental al aplicar los tratamientos son estadísticamente significativas. Podemos determinar solamente si un factor tiene un verdadero efecto, si podemos demostrar que la variabilidad producida por los tratamientos es perceptiblemente mayor que la que ocurre naturalmente. Esta variabilidad natural (del error) puede ser **evaluada** solamente si replicamos el experimento.

La replicación cumple otra función importante dentro del Diseño Experimental, el uso de la replicación permite al experimentador realizar una buena estimación del efecto de un factor, se toma a la media **muestral** de la respuesta como estimador de dicho efecto. A medida que la replicación aumenta, también lo hace la precisión de la estimación al reducirse la desviación estándar de la media muestral.

1.52. La Aleatorización

Es la piedra angular que fundamenta el uso de los métodos estadísticos en el Diseño Experimental. Se entiende por aleatorización el hecho de que tanto la asignación de material

experimental como el orden en que se realizan las pruebas individuales o ensayos se determinan al azar (sin preferencia o exención)

La aleatorización es:

- Sobre todo una técnica para evadir los errores de asignación que probablemente puedan presentarse del juicio personal que influencia la asignación del tratamiento.
- Una forma de control, usada para reducir el efecto que producen las variables incontrolables, al asignar los tratamientos aleatoriamente, los efectos de las variables incontrolables son cargados aleatoriamente a las unidades experimentales.
- Una herramienta que permite validar la hipótesis de que los errores **son** independientes.

La aleatorización no garantiza que los errores serán independientes, pero permite que uno proceda como si la independencia sea un hecho.

Seleccionando al azar los tratamientos a los elementos experimentales, la correlación entre el orden de las observaciones y

las respuestas experimentales a los tratamientos será reducida al mínimo. Seguirá habiendo una cierta correlación siempre y el ideal de la independencia completa nunca será logrado, pero la independencia debe todavía ser procurada.

1.5.3. El Bloqueo

El bloqueo se refiere a la asignación de los elementos experimentales en los bloques (grupos de unidades) de manera que las unidades dentro de un bloque sean relativamente homogéneas mientras que la parte mayor de la variación fiable entre unidades ahora se asocia a la variación entre bloques. Es decir, el experimentador utiliza el conocimiento de la variabilidad entre unidades para agruparlas de una manera tal que la mayoría del error experimental indeseado sea cargado al efecto del bloque. Por ejemplo: En un proceso de estudio sobre la resistencia de un tipo de tela, se aplicarán cuatro químicos a cinco rollos de tela, dado que el experimentador conoce la variabilidad que produce cada tipo de rollo, utilizará estos como bloques en el Diseño Experimental.

Nuestra meta en Diseño Experimental es generalmente agrupar unidades de una manera tal que la mayoría de los errores experimentales indeseados sean quitados con el efecto del bloque.

1.6. Procedimientos para realización de un Diseño Experimental

A continuación se presenta una guía de procedimientos adecuados para la buena realización de un Diseño Experimental, estos pasos (gráfico 1.1) no son una regla a seguir, pero su utilización será de mucha ayuda para el buen desarrollo de un trabajo de este tipo.

1. Buena comprensión y planteamiento del problema

Esto puede parecer obvio, pero para la realización de un Diseño Experimental es importante que todos los integrantes del grupo de trabajo tengan una idea clara de que es exactamente lo que se va a estudiar, un planteamiento claro del problema ante todos los miembros del grupo de trabajo contribuirá a un mejor conocimiento del fenómeno y de la solución final del problema.

2. Elección de los factores y niveles

El experimentador o el experto en la materia deberá escoger los factores y los niveles adecuados que él por su conocimiento o por su experiencia sabe que son de interés en el experimento. Es muy importante saber que factores no pueden ser controlados, cuales pueden ser controlados firmemente, como

se van controlar esos factores y como se los mantendrán en los niveles deseados.

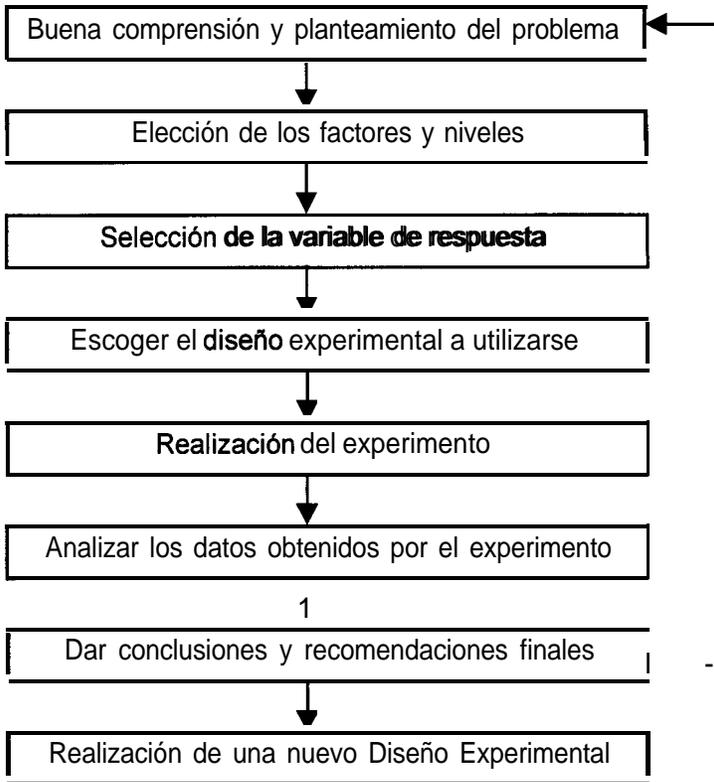


Gráfico 1 .1 Pasos para la realización de un Diseño Experimental

3. Selección de la variable de respuesta

De la buena elección de la variable de respuesta dependerá que tan útil sea la **información obtenida** acerca del proceso en estudio, porque si se elige una variable de respuesta que no aporta ninguna información sobre el proceso en estudio se habrá trabajado en vano, y por ende será una pérdida innecesaria de recursos.

4. Escoger el Diseño Experimental a utilizarse

Para la elección del Diseño Experimental a utilizarse es necesario tener en cuenta aspectos concernientes como el tamaño **muestral** (número de réplicas a realizarse), predeterminar un orden adecuado para los ensayos experimentales, determinar si hay implicado bloqueo u otra restricción de aleatorización.

5. Realización del experimento

Cuando se lleve a cabo el experimento hay que vigilar que todo el proceso se desarrolle como se planeó, que se cumplan todas las normas de aleatorización y que las demás situaciones que se **den** en el experimento se mantengan constante para que no influyan en la respuesta experimental. Esta fase es de vital importancia porque los errores en los procedimientos del experimento pueden eliminar la validez experimental, por efectos de los errores mencionados.

6. Analizar los datos obtenidos por el experimento

Para el análisis de los datos obtenidos por el experimento debe utilizarse técnicas estadísticas, de modo que los resultados y las conclusiones sean objetivas más que subjetivas. Hay tener en

cuenta que los métodos estadísticos no pueden probar que un factor o varios factores tienen un efecto particular, solo nos proporcionan directrices para la validez experimental de los resultados, asignar un nivel de confiabilidad a los resultados y obtener el probable error de la conclusión. Cabe recalcar que en la actualidad existen excelentes paquetes estadísticos (software) que nos permitirán realizar el análisis de los datos de una manera eficaz y eficiente.

7. Dar conclusiones y recomendaciones finales

Finalmente, después de haber realizado el análisis de los datos el experimentador debe dar conclusiones prácticas de los resultados y dar recomendaciones en cuanto a que se debe hacer y que no se debería hacer en la realización de otro Diseño Experimental.

1.7. Clasificación de los Diseños Experimentales

Clasificaremos a los Diseños Experimentales- de la siguiente manera:

- Diseños que disminuyen la interferencia de información (el ruido).

- Diseños que aumentan **la** intensidad de la información (la señal).

1.7.1. Diseños Experimentales que disminuyen la interferencia de información

En muchos problemas de investigación es necesario diseñar experimentos en los que pueda controlarse la variabilidad producida por diversas fuentes extrañas (ruidos).

El Diseño Experimental que disminuye la interferencia aumenta la información de un experimento reduciendo el ruido de fondo provocado por las variables incontrolables, funcionando como filtros que eliminan la interferencia indeseable, estos permiten observar con mayor claridad el efecto producido por los factores a la respuesta experimental.

El diseño para disminuir la interferencia se basa en el principio del bloqueo, es decir, hacer que todas las componentes dentro de un grupo de elementos experimentales, sean relativamente homogéneas, cuanto más homogéneas sean las unidades experimentales, resulta más fácil detectar **una** diferencia entre los tratamientos.

Este tipo de diseño se lo clasificará por el número de variabilidades problemáticas que puedan aislar del experimento de la siguiente manera:

- Diseño por bloques: son aquellos que aíslan el efecto de una fuente de variabilidad problemática en un experimento, es decir un ruido.
- Diseño de cuadrados latinos: este diseño nos ayuda a aislar el efecto de dos fuentes de variabilidad problemáticas en un experimento, en otras palabras permite analizar sistemáticamente por bloques en dos direcciones.
- Diseño de cuadrados greco-latinos: es aquel que nos permite controlar sistemáticamente tres fuentes extrañas de variabilidad, es decir nos permite realizar un análisis por bloques en tres direcciones.

1.7.2. Diseños Experimentales que aumentan la intensidad de la información

Por lo general en la investigación, la señal se relaciona con la variable de interés, en cambio el ruido consiste en todos los factores al azar en la experimentación que hacen más duro considerar la señal. En la investigación, deseamos que la señal sea más alta con relación al ruido.

En estos diseños, el foco está casi enteramente en la disposición de los factores, de sus niveles y de su afectación o no a la variable de respuesta. En un diseño que aumenta la intensidad informativa típico examinaremos un número de diversas variaciones de un tratamiento aplicados a elementos experimentales.

Entre los diseños que aumentan la intensidad informativa tenemos:

- **Diseño Unifactorial:** Es el diseño más sencillo, en el solo se mide el efecto que producirá un factor sobre la variable de respuesta. De este diseño fue que partió toda la base teórica para el desarrollo de los demás Diseños Experimentales que existen.
- **Diseños Factoriales:** Es quizás el más empleado por los investigadores, porque en un experimento no se quiere solo observar los efectos de un solo factor, sino el efecto de varios factores ya sean estos los efectos principales (efecto que produce cada uno de los factores) o los efectos que producen las interacciones de los mismos, este diseño posee varias características importantes como:
 - Primero, los diseños factoriales son eficientes. En vez de conducir una serie de estudios independientes podemos con eficacia combinar estos estudios en uno.

- Segundo, los diseños factoriales son la única manera **eficaz** de examinar efectos de la interacción.
- Finalmente, aunque es una desventaja, el número de tratamientos en un diseño factorial crece exponencialmente, a medida que se incrementa el número de factores, niveles o réplicas.

1.8. Aplicaciones del Diseño Experimental

El Diseño Experimental tiene una gran aplicación en **muchas** disciplinas. En efecto, es posible considerar a la experimentación como parte del proceso científico y una de las formas en que aprendemos acerca de la manera en que funcionan los sistemas o procesos.

El Diseño Experimental es un medio de importancia crítica para mejorar el rendimiento de un proceso de manufactura, también se emplea extensamente en el desarrollo de nuevos procesos.

La aplicación de técnicas de Diseño Experimental en una fase temprana del desarrollo de un proceso puede dar como resultado:

- Mejora en el rendimiento del proceso.
- Menor variabilidad

- Mayor apego a los requerimientos nominales u objetivos.
- Menor tiempo de desarrollo.
- Menores costos globales.

El Diseño Experimental también tiene un cometido importante en las actividades de diseño técnico (o de ingeniería), en las cuales se desarrollan nuevos productos y se mejoran otros ya existentes. Algunas aplicaciones del Diseño Experimental en el diseño técnico son:

- Evaluación de configuraciones de diseño básicas.
- Evaluación de materiales alternativos.
- Selección de parámetros de diseño de modo que el producto funcione bien en una amplia variedad de condiciones de uso real; esto es que el producto sea consistente (robusto).

El uso del Diseño Experimental en estas áreas puede dar por resultados productos con mayor confiabilidad y mejor funcionamiento en el campo, menores costos y menor tiempo de diseño y desarrollo del producto.

La capacidad de procesamiento de la información por parte de las computadoras, ha permitido en la actualidad, que el Diseño

Experimental sea aplicado en combinación con otras técnicas matemáticas, para la obtención de mejores resultados en las áreas antes mencionadas.

Citaremos un estudio en el cual, mediante Simulación Matemática de eventos discretos y continuos, se desea encontrar los factores que afecten el desempeño de un proceso, es decir que mediante la simulación se generarán escenarios del diseño experimental y se llegará a conclusiones que obtiene al hacer el análisis de **varianza** (16).

Otras técnicas matemáticas que se están utilizando en conjunto con el Diseño Experimental, para el estudio del comportamiento de los sistemas y procesos, son los Métodos Numéricos, a través de estas técnicas lo que se quiere lograr es la obtención de un Diseño Experimental óptimo en un determinado proceso o sistema, un ejemplo de ello es la utilización de los Métodos Numéricos para la obtención de un Diseño Experimental óptimo en el área de sistemas de reacciones **químicas**(17).

Las aplicaciones del Diseño Experimental no solo se realizan en las áreas de manufactura y de diseño técnico de productos, el Diseño

Experimental también es utilizado en estudio de medicina, biología, psicología y hasta psicobiología, para citar un ejemplo, existe una tesis doctoral, que trata el estudio del comportamiento del sistema nervioso de animales (ratas), al someterlas a tratamientos de hormonas, particularmente estrógeno y progesterona, observar su afectación o no al sistema nervioso central (18).

En otro tipo de estudio como es el denominado Test de Usabilidad, es utilizado el Diseño Experimental, este test es una técnica que se sirve para descubrir como trabajan un grupo de personas con el producto objeto del test, el estudio se basa en analizar los errores detectados por los usuarios de manera conjunta para determinar tendencias de las personas hacia el producto (19).

Más información acerca de Diseño Experimental pueden ser encontrada en el Internet, a través de los "Search Engine", tales como Altavista, Excite, Coopernic, Yahoo, etc., que son los programas de búsqueda de información en dicho sitio.

CAPÍTULO 2

2. “EL EXPERIMENTO”

2.1. Introducción

En este capítulo se presenta toda la información concerniente al experimento, tal como: descripción, importancia, objetivos, limitaciones, inconvenientes, componentes, así como el detalle de sus procesos y la presentación de los resultados generados por el mismo.

2.2. Descripción del Experimento

El experimento de estudio en esta tesis, trató del proceso de elaboración de harina de banano a nivel de laboratorio, centrandolo el objetivo de este en el control del pardeamiento (oscurecimiento) de su materia prima mediante un proceso químico antioxidante.

Se centró el estudio en el color del producto, dado que dicha propiedad o característica sensorial está relacionada con otras características importantes del producto desde el punto de vista tecnológico, ya que nos puede indicar el grado de madurez del alimento, valor nutritivo, condiciones de procesamiento, sabor e incluso el grado de alteración del producto. En la harina de banano el color de la misma indica el pardeamiento sufrido por la materia prima durante su procesamiento.

Otra razón por la cual el color del producto se tomó como centro de estudio del experimento, se debe a que el consumidor, la primera característica sensorial de calidad con la que cuenta para realizar su elección de compra, es el color que tenga dicho producto, claro está que las características sensoriales subsecuentes a esta, pueden ser la textura, el sabor, la envoltura, el precio, el envase, etc. (14).

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 experimento. Los factores de 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.

Todos los factores con sus niveles antes mencionados formaron un total de 24 tratamientos químicos antioxidantes que fueron utilizados en las dos réplicas experimentales realizadas.

Cabe recalcar que la determinación de los factores y de los niveles que intervinieron en el proceso antioxidante, así como del modelo del Diseño Experimental y de parámetros generales de este estudio

fue realizada por la Directora del mismo: Ing. Angela Naupay de Yáñez, en conjunto con el Coordinador General de la Red Iberoamericana de las Propiedades Físicas de los Alimentos (RIPFADI) - ECUADOR: Ing. Juan de Dios Alvarado, e informes de pruebas de laboratorio que tratan del control del pardeamiento de banano durante la elaboración de harina.

Dados 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.

2.3. Origen del Experimento

El experimento 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).

La red antes mencionada en el Ecuador la conforman la Escuela Politécnica Nacional (EPN), Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Universidad Técnica de Ambato (UTA) y la Universidad Técnica de Machala (UTM).

El experimento se desarrolló entre los meses de Enero y Julio de 1999, principalmente en la planta piloto (figura 2.1 y 2.2) 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.



Figura 2.1 Planta Piloto del PROTAL 1

2.4. Objetivos del Experimento

Los objetivos del experimento fueron:

- Conocer la influencia de los factores considerados en el proceso químico antioxidante sobre el pardeamiento del banano durante la elaboración de harina.

- Determinar parámetros óptimos del proceso químico antioxidante de control del pardeamiento del banano durante la elaboración de harina.

2.5. Limitaciones del Experimento

Las limitaciones que estuvieron presentes durante el desarrollo del experimento fueron:

- No poseer la disponibilidad total de la planta piloto y del laboratorio de control de calidad para la realización del experimento, dado que al mismo tiempo el **PROTAL** realizaba actividades de docencia en los mismos.
- No existió un presupuesto fijo para el experimento, por tal motivo recursos **tales** como los químicos utilizados en los tratamientos antioxidantes fueron financiados por el **PROTAL** y el banano en cambio fue donado por la empresa Tropifrutas S.A.
- Falta de experiencia por parte de las personas que estaban a cargo del desarrollo del experimento, limitación comprensible, por ser un experimento que formaba parte de un proyecto de investigación denominado “Capacitación y Fortalecimiento de Investigadores”.

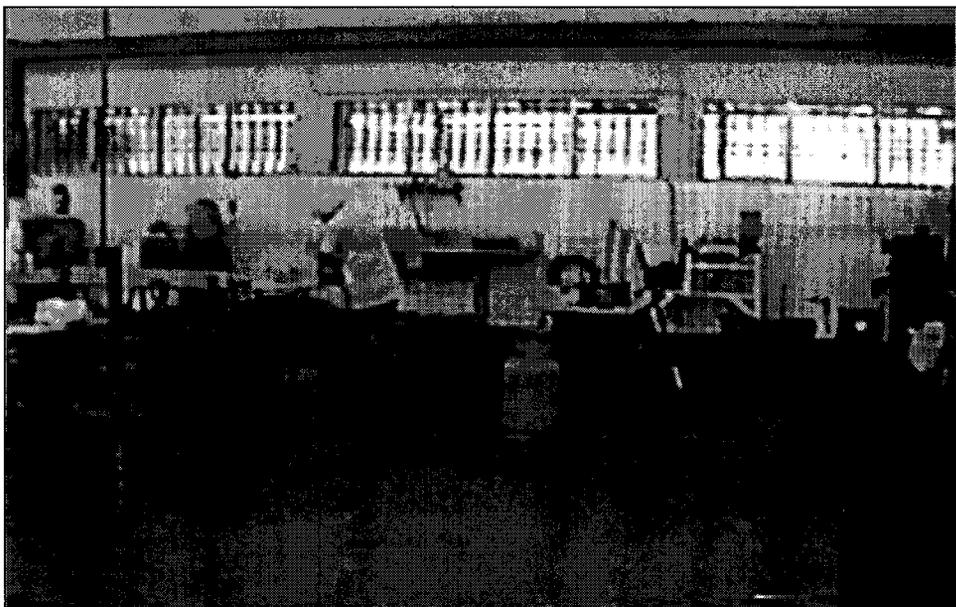


Figura 2.2 Planta Piloto del PROTAL 2

2.6. Inconvenientes del Experimento

Los inconvenientes que se presentaron durante el desarrollo del experimento fueron:

- Desde el inicio del experimento no participó un colaborador del área estadística permanente, para que instruya a las personas participantes del Diseño Experimental en los principios básicos del mismo, como es la aleatorización de las pruebas.
- Falla del método original de cuantificación de la respuesta experimental (espectrofotometría), por tal motivo dicha cuantificación se la realizó a través de un colorímetro, servicio facilitado por la EPN.

- Modificación del Diseño Experimental original, por falta de tiempo para la culminación del mismo.

2.7. Importancia del Experimento

La importancia del experimento radicó en iniciar a estudiantes o egresados del **PROTAL** así como de otras unidades de la ESPOLE 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.

2.8. Equipo de trabajo del experimento

Las personas que trabajaron en el desarrollo de este experimento fueron:

- Directora: Ing. **Ángela Naupay**.
- Experimentador: Germán Vargas.
- Estadista: Carlos Carvajal

Más el apoyo científico, técnico y bibliográfico de las universidades que conforman la red RIPFADI-ECUADOR.

2.9. Actividades del Experimento

A continuación se presentan las actividades que se realizaron en el desarrollo del experimento.

Fecha	Actividad
Enero /99	Establecimiento de los Lineamientos Generales y Objetivos del Experimento por parte de la Red RIFADI-Ecuador
Enero/99	Selección de los Equipos y Materiales necesarios para la realización del Experimento e Investigación bibliográfica del mismo
Febrero199	Establecimiento del Diseño Experimental a utilizarse
Febrero199	Definición de los parámetros del proceso de elaboración de harina de banano
Febrero199	Desarrollo de la metodología de preparación de muestra de harina de banano por Espectrofotometría
Marzo /99	Obtención de las réplicas experimentales
Mayo 199	Cuantificación del color de la harina de banano a través del colorímetro
Junio /99	Realización de Informe Final
Julio /99	Presentación del Informe Final a la Red RIFADI-Ecuador

2.10. Presupuesto para la realización del Experimento

A continuación se detalla los valores que tendría que invertir una empresa privada en la realización de una réplica de este experimento.

Costo Total del uso de Equipo por Réplica	\$255. 24
Número de Tratamientos	24
Horas de uso del Deshidratador por tratamiento	2
Horas de uso de Utensilios por tratamiento	1
Total de horas de uso del Deshidratador	48
Total de horas de uso de Utensilios	24
Total de horas de uso de Selladora al vacío	1
Total de horas de uso de Refrigeradora	384
Costo del uso de Deshidratador por hora	\$5
Costo del uso de Utensilios por hora	\$0. 01
Costo del uso de Selladora al vacío por hora	\$3
Costo del uso de Refrigeradora por hora	\$0. 03
Costo Total del uso de Deshidratador	\$240
Costo Total del uso de Utensilios	\$0. 24
Costo Total del uso de Selladora al vacío	\$3
Costo Total del uso de Refrigeradora	\$12

Costo Total de los Antioxidantes por Réplica	\$3.12
Número de gramos usados por Antioxidante	120
Valor del gramo de Metabisulfito	\$0.0027
Valor del gramo de Ácido Ascórbico	\$0.0036
Valor del gramo de Ácido Cítrico	\$0.0197
Costo Total del uso de Metabisulfito	\$0.32
Costo Total del uso de Ácido Ascórbico	\$0.43
Costo Total del uso de Ácido Cítrico	\$2.37
Costo Total del Equipo de Trabajo por Réplica	\$383
Número de horas de trabajo del experimentador	72
Número de horas de trabajo del Ing. en Estadística	50
Número de horas de trabajo del Ing. en Alimentos	50
Costo del Experimentador por hora	\$1.5
Costo del Ing. en Estadística por hora	\$2.5
Costo del Ing. en Alimentos por hora	\$3
Costo Total del Experimentador	\$108
Costo Total del Ing. en Estadística	\$125
Costo Total del Ing. en Alimentos	\$150
Costo Total del Materia Prima por Réplica	\$2.2
Número de cajas de banano utilizadas	1

Valor de la caja de banano **\$2.2**

Costo Total por Réplica del Experimento \$671.55

Los precios de los químicos antioxidantes y de la caja de banano para la elaboración de este presupuesto están cotizados al 4 de mayo del 2000, solo faltaría el costo de la cuantificación del color de la harina, el cual se calcula por Diseño Experimental y no por réplica, pero el instrumento que se utiliza para dicho trabajo (colorímetro), que es propiedad de la EPN, solo es facilitado para investigaciones científicas y no para trabajos para empresas privadas, es decir, que para la realización de este tipo de trabajo para una empresa privada habría que buscar otro método de cuantificación del color o comprar un colorímetro.

2.11. Cronograma de actividades del Experimento

A continuación se presenta el cronograma de actividades (gráfico 2.1) que se deben seguir para la realización del experimento, el tiempo de la actividad # 2 esta estimado solo para la realización de una réplica del experimento.

2.12. Componentes del Experimento

2.12.1. El Banano

El banano es una planta herbácea perteneciente a la familia de las musáceas de grandes dimensiones, su tallo puede medir de dos a tres metros, presenta flores irregulares o bien agrupadas en racimos y frutas en cápsula o bayas denominadas con su mismo nombre, que en algunos países también es llamado plátano (8).

Se desarrolla preferentemente en regiones tropicales que son húmedas y cálidas, con condiciones de temperatura ideal entre 25 y 30°C, la mínima no debe ser inferior a los 15°C, ni la máxima superior a 35°C(14).

Es una fruta que posee un gran valor energético (tabla I), por poseer bajo contenido de agua y abundantes carbohidratos.

El Ecuador es uno de los países líderes en la producción del banano en el mundo, logrando en 1999 el tercer lugar de la producción mundial, con una participación del 8%(5), de dicha producción el Ecuador exporta el 88% (10), convirtiéndose la producción y exportación de este fruto en unos de los principales

ejes de generación de ingresos, empleos y divisas, favoreciendo directa o indirectamente el crecimiento económico del país. Es por ello que las empresas dedicadas a esta actividad denominadas “bananeras” han concebido como su principal objetivo, producir bananos de primera calidad y siempre con el fin de satisfacer las necesidades del mercado nacional e internacional.

Tabla I

Composición Química de Banano Verde en 100 gramos (13)

Componente	Cantidad
Humedad (%)	68,7
Proteínas (%)	1,3
Calorías (#)	110
Grasas Totales (g.)	0.1
Carbohidratos (g.)	29,1
Calcio (Mg .)	10
Hierro (Mg.)	1,6
Fósforo (Mg.)	45
Vitamina C (Mg.)	22
Vitamina B2 (Mg.)	0,02
Vitamina B1 (Mg.)	0,04

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 con un grado de madurez 1 en la escala de Von Looseck, es decir, 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(4)**. Esta homogeneidad en el tamaño se dio para evitar el incremento en el error experimental causado por la desigualdad del mismo.

2.12.1.1. La Harina de Banano

La harina de banano es un producto obtenido de la deshidratación y molienda del banano verde, es un alimento que posee un buen sabor y es bastante nutritivo (tabla II), además de su gran valor energético debido su alto contenido en carbohidratos, es rica en minerales y vitaminas.

Se estima que de 100 libras de banano verde pelado se pueden producir aproximadamente 27 libras de harina (12).

Este producto se usa tanto para la alimentación humana como animal, en el primer caso principalmente en la infantil, ya sea para la preparación de sopas, coladas y dietas suplementarias,

especialmente en los casos de intolerancia a las harinas de cereales, así como sustituto de la harina de trigo en la fabricación de productos de panificación, así como galletas, debido a que es muy digerible y fácilmente asimilable por su alto contenido de carbohidratos.

Tabla II

Composición Química de la Harina de Banano Verde
en 100 gramos (13)

Componente	Cantidad
Humedad (%)	13
Proteínas (%)	3,9
Calorías (#)	307
Grasas Totales (g)	0.59
Carbohidratos (g)	80,6
Calcio (Mg .)	26
Hierro (Mg .)	4,4
Fósforo (Mg.)	68
Vitamina B1 (Mg.)	0,04
Vitamina B2 (Mg.)	0,03

Según el 2do Censo de Condiciones de Vida realizado por el INEC en el año 1995, la harina de banano es consumida a nivel nacional en un **0,13%** del total de los alimentos.

2.12.2. El Pardeamiento

A la formación de pigmentos oscuros en los alimentos durante su procesamiento y almacenamiento se lo denomina pardeamiento, es

un fenómeno común, que representa un problema frecuente al **tecnólogo** o ingeniero de alimentos (3).

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.

2.12.2.1. Tipos de Pardeamiento

Existen dos tipos de pardeamiento, el enzimático y el no enzimático, los cuales explicaremos a continuación:

- El Pardeamiento Enzimático: ocurre cuando los tejidos de los vegetales y las frutas entran en contacto con el oxígeno del aire, esto puede ocurrir en cualquier etapa del procesamiento

de las frutas y vegetales, **tales** como el pelado, el corte, la trituración, etc.

Otras causas desfavorables en el procesamiento **tales** como golpes y daños mecánicos hacen que aparezca la pigmentación oscura, en muchos casos café en los alimentos y vegetales (3).

La sustancia orgánica que actúa como catalizador biológico de este tipo de fenómeno, es decir, la que lleva a cabo las reacciones bioquímicas que conllevan al oscurecimiento o pigmentación oscura de los tejidos en los alimentos es conocida como enzima, de esta sustancia es que proviene el nombre de pardeamiento enzimático (2).

- El Pardeamiento No Enzimático: Existen una serie de reacciones químicas que también conllevan a la aparición de colores oscuros en los alimentos, a este tipo de pardeamiento se la denomina pardeamiento no enzimático.

Al hablar de pardeamiento no enzimático nos referimos básicamente a **3 grupos** de reacciones:



- **Reacción de Maillard:** Fue descrita por el químico francés Maillard en 1912, quien observó la aparición de un pigmento oscuro al calentar una solución de azúcares y aminoácidos. Con esa base se denominan reacciones de Maillard a todo los oscurecimientos no enzimáticos producidos por la reacción de aminoácidos o proteínas con azúcares. Aparece frecuentemente durante el calentamiento o almacenamiento prolongado de productos que contengan los anteriores grupos químicos citados.
- **Oxidación del ácido ascórbico:** Aunque el ácido ascórbico se utilice como antioxidante, el mismo se oxida, a temperaturas mayores a **60°C**, perdiendo su funcionalidad y características nutricionales.
- **Caramelización:** Se debe a la degradación de azúcares, sin presencia de aminoácidos o proteínas, calentados por encima de su punto de fusión (100°C) formándose una serie de sustancias de sabor característico y color oscuro.

Uno de los efectos laterales más importantes del pardeamiento no enzimático, es la formación de sustancias volátiles, estas imparten a los alimentos sabores

característicos que pueden resultar indeseables o bien lo contrario.

También se produce una disminución del valor nutritivo del producto, a través de disminución de la disponibilidad nutricional de aminoácidos, lo que conlleva a un perjuicio organoléptico en los alimentos, es decir, de sus características bioquímicas.

Algunos cambios pueden ser deseables en el caso de los manjares, los caramelos, el café tostado debido a que les proporciona el color propio de las reacciones de oscurecimiento.

Sin embargo, de manera general se considera a dicho pardeamiento como un fenómeno de descomposición que está ligado a cambios indeseables en el color y valor nutritivo de los alimentos durante el procesamiento y almacenamiento.

Por estas razones es que en el procesamiento de alimentos se busca evitar o controlar dichas reacciones de oscurecimiento,

ya que aún siendo favorables, los cambios pueden ser tan severos que conviertan al producto en indeseable.

Dada las características del banano y del proceso de elaboración de harina solo podrían brindar condiciones para que ocurran las dos primeras reacciones.

La composición química del banano se caracteriza por la presencia de almidones y escasez de ácidos (los cuales contrarrestan los efectos del oxígeno, por ser antioxidantes), lo que lo hace un producto extremadamente sensible al oxígeno al igual que al calor, y por ende a los dos tipos de pardeamiento descritos.

2.12.2.2. Métodos de Medición del Pardeamiento

Existen dos métodos bien definidos para la medición del pardeamiento:

- Métodos Directos: Son aquellos que se basan en la medida directa de las reacciones químicas ocurridas en el proceso, es decir, tratan de cuantificar o determinar los reactivos o los productos de las reacciones ocurridas durante los fenómenos

de oscurecimiento, midiendo entonces de manera directa el curso de la **reacción(14)**. Entre los métodos directos de medición del pardeamiento en los alimentos citamos los siguientes:

- Medida de la cantidad de oxígeno consumido: Es utilizado para determinar el pardeamiento enzimático, ya que ahí se consume oxígeno durante las reacciones de oxidación.
- Medición de la cantidad de CO_2 : Se utiliza para determinar el pardeamiento no enzimático, ya que ahí se produce CO_2 durante las reacciones de oxidación.
- Métodos Indirectos: Son aquellos que determinan el pardeamiento en forma indirecta, estos métodos son basados en las propiedades físicas de los alimentos, principalmente a través de la medida del color de los mismos. Un método indirecto fue el utilizado para la medición de la influencia de los tratamientos antioxidantes en el experimento, como fue la cuantificación del color de la harina a través de un colorímetro.

2.12.2.3. Métodos de Control del Pardeamiento

Debido a que generalmente esta relación de descomposición afecta negativamente a la calidad de los alimentos, por el desarrollo de color desagradable, especialmente en frutas y vegetales como el banano, se han planteado varias formas de control de este fenómeno. A continuación se describen los métodos de control tanto del pardeamiento enzimático como del no enzimático, utilizados en el experimento.

- Control del Pardeamiento Enzimático: Los métodos de control del pardeamiento enzimático utilizados fueron:
 - Minimizar el contacto con oxígeno: Este método resulta muy eficaz para la prevención del pardeamiento enzimático, es usado por lo general en combinación con otros métodos, ya que apenas exista oxígeno en el medio, la reacción se llevará a cabo; además, las frutas contienen oxígeno en el interior de sus tejidos, lo cual ayudan a la reacción. Para efectos del experimento, se evita el contacto del oxígeno del aire, al sumergirse las rebanadas de banano en una tina de agua en el momento que estas eran obtenidas.

- Empleo de antioxidantes y otros químicos: La utilización de químicos antioxidantes para evitar el pardeamiento tanto el enzimático como no enzimático, es uno de los métodos más utilizados por las industrias alimenticias. Para la utilización de un antioxidante para controlar el pardeamiento hay que tener en cuenta los efectos secundarios que estos puedan producir al producto final. Para el experimento se utilizaron tres antioxidantes los cuales son: el ácido cítrico, el ácido ascórbico y el metabisulfito de sodio.
- Control del Pardeamiento No Enzimático: Para que las reacciones químicas que conllevan el pardeamiento no enzimático en los alimentos no se den, se utilizaron los siguientes métodos de control:
 - Control de la temperatura: Las reacciones que producen el pardeamiento no enzimático requieren altas temperaturas para que estas se den (el ácido cítrico por ejemplo requiere temperaturas mayores a 60°C), el disminuir la temperatura durante el almacenamiento de los alimentos susceptible retarda este fenómeno. Para

efecto del experimento el banano antes de ser procesado se lo mantenía en refrigeración.

- Contenido de humedad: Se puede inhibir el pardeamiento no enzimático por procedimientos de deshidratación, siempre que se tenga en cuenta que el producto no gane humedad durante su almacenamiento, dado que los alimentos que poseen un alto contenido de humedad están más propensos a las reacciones químicas que conllevan al pardeamiento no enzimático, en el experimento la harina **obtenida** era envasada al vacío en fundas de polietileno, para evitar que gane humedad del ambiente hasta realizar la medida de color de la misma.

2.13. Proceso de elaboración de la harina de banano

Este proceso es secuencial y consta de los siguientes pasos:

1. Recepción del banano verde con grado de madurez 1 en la escala Von Looseck, es decir, completamente verde.
2. Lavar el banano para restarle cualquier impureza o suciedad que contenga la cáscara y garantizar la pureza de la pulpa.

3. Pelar el banano manualmente con un cuchillo y depositar en un envase con agua a temperatura ambiente (**30°C** aproximadamente) para evitar el oscurecimiento o pardeamiento por efecto ambiental, mientras se pelaba el resto de las frutas.
4. Rebanar el banano con un espesor constante de **0,3** centímetros mediante una rebanadora manual calibrada, para facilitar el deshidratado de la pulpa, mientras se va rebanando el banano, las rodajas van siendo depositadas en el mismo recipiente con agua en el que estaban cuando se les quitó la cáscara.
5. Inmersión de las rodajas de banano en la solución con el tratamiento químico, 400 gramos de rodajas de banano por litro de solución, dicha concentración fue escogida en base al costo de los recursos.
6. Escurrir las rodajas de banano durante 3 minutos en mallas plásticas.
7. Colocar las mallas con las rodajas de banano en el deshidratador (figura 2.3) a **60°** centígrados por 2 horas \pm 15 minutos, este tiempo fue determinado mediante pruebas de laboratorio.

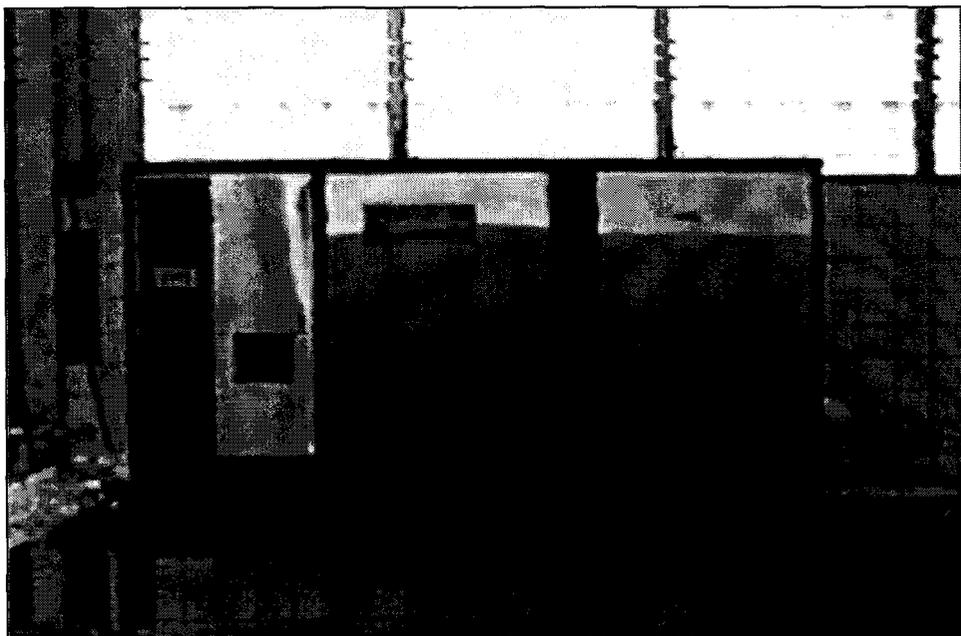


Figura 2.3 Deshidratador

8. Triturar las rodajas secas y frías en un molino eléctrico.
9. Cernir la harina obtenida al moler los trozos de banano utilizando una malla tipo 50 con el fin de uniformizar el tamaño de los granos de la harina.
10. Envasar la harina al vacío en fundas de polietileno a través de una selladora (figura 2.4), para evitar que el oxígeno produzca alguna reacción de oxidación y, además, para que no gane humedad del ambiente.



Figura 2.4 Selladora al vacío

2.14. Proceso de obtención de las observaciones experimentales

Para la obtención de las observaciones experimentales se utilizó un colorímetro Minolta CR-200 (figura 2.5), este colorímetro utiliza para la medición del color de la harina el sistema CIELAB(L^* , a^* , b^*), el cual define un espacio físico de colores tricromático de coordenadas rectangulares L^* , a^* , b^* .

En el mencionado espacio L^* denota la claridad o luminosidad, el cual tiene un rango de valores entre 0 y 100, donde una medida de 0 indica el color negro y una de 100 un color blanco, por ende a mayor valor de la medida del parámetro L^* , menos oscura o parda será la harina y viceversa, a^* y b^* indican cromaticidad, es decir, el

color en el cual las harinas se encuentran. Al proceder ha realizar las medidas se debe diluir la harina en agua, tomando esta un color gris mas o menos claro dependiendo de L^* , por lo que el parámetro que se utiliza para la cuantificación del color de la harina es L^* .



Figura 2.5 Colorímetro Minolta CR-200 (15)

El procedimiento que se siguió para la obtención de las observaciones experimentales fue:

- Pesar 5 gr. de harina de banano.
- Disolver en 45 ml. de agua hasta formar una suspensión homogénea, concentración sugerida por el Centro de Investigación de Ciencia y Tecnología de la EPN.

- Realizar inmediatamente las lecturas de color con el colorímetro Minolta Cr-200.
- Anotar el resultado.

Este procedimiento se realizó a cada una de las muestras de harina **obtenida** en el experimento.

2.15. Observaciones Experimentales

A continuación mostraremos las observaciones experimentales obtenidas para cada uno de los tratamientos del experimento, a través de la tabla IV.

Dicha tabla 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 experimento.

Tabla III
Observaciones Experimentales

Réplica	Factores				Observación Experimental (L*O-100)
	Tipo de ácido	Concentración del ácido (%)	Tiempo de inmersión (min.)	Temperatura de inmersión (o C)	
1	Ácido Cítrico	0.5	5	30	51.21'
2	Acido cítrico	0.5	5	30	60.27
1	Ácido cítrico	0.5	5	40	52.11
2	Acido cítrico	0.5	5	40	59.26
1	Ácido cítrico	0.5	10	30	54.2
2	Ácido cítrico	0.5	10	30	59.2
1	Ácido cítrico	0.5	10	40	52.45
2	Ácido cítrico	0.5	10	40	57.36
1	Ácido Cítrico	1	5	30	53.83
2	Ácido Cítrico	1	5	30	56.73
1	Acido Cítrico	1	5	40	55.95
2	Ácido cítrico	1	5	40	59.08
1	Ácido Cítrico	1	10	30	47.01
2	Ácido cítrico	1	10	30	56.71
1	Acido Cítrico	1	10	40	56.85'
2	Ácido cítrico	1	10	40	56.99
1	Ácido Ascórbico	0.5	5	30	50.29
2	Acido Ascórbico	0.5	5	30	57.52,
1	Ácido Ascórbico	0.5	5	40	52.07
2	Ácido Ascórbico	0.5	5	40	54.04
1	Acido Ascórbico	0.5	10	30	53.5
2	Ácido Ascórbico	0.5	10	30	52.52
1	Ácido Ascórbico	0.5	10	40	52.06
2	Ácido Ascórbico	0.5	10	40	53.58
1	Ácido Ascórbico	1	5	30	53.05
2	Ácido Ascórbico	1	5	30	51.49
1	Acido Ascórbico	1	5	40	46.85
2	Ácido Ascórbico	1	5	40	52.9
1	Ácido Ascórbico	1	10	30	52.31
2	Ácido Ascórbico	1	10	30	52.88 ✓
1	Ácido Ascórbico	1	10	40	51.75 ✓
2	Ácido Ascórbico	1	10	40	52.96
1	Metabisulfito	0.5	5	30	64.55
2	Metabisulfito	0.5	5	30	60.04
1	Metabisulfito	0.5	5	40	62.34
2	Metabisulfito	0.5	5	40	59.43
1	Metabisulfito	0.5	10	30	64.92
2	Metabisulfito	0.5	10	30	60.76
1	Metabisulfito	0.5	10	40	62.18
2	Metabisulfito	0.5	10	40	63.82
1	Metabisulfito	1	5	30	84.41
2	Metabisulfito	1	5	30	54.85
1	Metabisulfito	1	5	40	62.2
2	Metabisulfito	1	5	40	56.84'
1	Metabisulfito	1	10	30	59.53
2	Metabisulfito	1	10	30	64.14
1	Metabisulfito	1	10	40	61.32
2	Metabisulfito	1	10	40	65.06 .

Las observaciones mostradas anteriormente son las que se analizarán estadísticamente, para obtener los resultados que nos permitan dar las conclusiones sobre la consecución o no de los objetivos del experimento antes mencionados.

CAPÍTULO 3

3. “EL MODELO ESTADISTICO UTILIZADO EN EL DISEÑO EXPERIMENTAL”

3.1. Introducción

El presente capítulo contiene la descripción teórica del modelo matemático utilizado en el Diseño Experimental, las técnicas estadísticas para el análisis y comprobación de los supuestos del mismo.

Cualquier termino estadístico no familiar podrá ser consultado en el Anexo #4 de la presente tesis.

3.2. Descripción del modelo utilizado

Un modelo matemático es la descripción matemática de una situación real, para lo cual se consideran algunos supuestos y se efectúan algunas simplificaciones de la realidad.

La descripción matemática de un Diseño Experimental se la realiza a través de un modelo matemático, denominado modelo lineal estadístico del diseño.

Los modelos estadísticos lineales se los clasifican de la siguiente forma:

- Por la manera que son escogidos los niveles de los factores del Diseño Experimental: tenemos modelos de efectos fijo, modelos de efectos aleatorios y modelos de efectos mixtos. Se dice que el modelo de un Diseño Experimental es de efectos fijo sí todos los niveles posibles de los factores han sido considerados para el estudio, en cambio es considerado de efectos aleatorios si el experimentador selecciona aleatoriamente a niveles de la población de niveles de los factores y es considerado de efectos mixtos si tiene por lo menos un factor cuyos niveles son escogidos de manera fija y

por lo menos un factor cuyos niveles son seleccionados de manera aleatoria.

- Por el número de réplicas realizadas a los tratamientos del Diseño Experimental: tenemos modelos balanceados y modelos desbalanceados. Un modelo se dice que es balanceado si todos los tratamientos han sido replicados en igual número, caso contrario es desbalanceado.

El modelo que se utilizó para el experimento, fue un tetrafactorial balanceado de efectos fijos, y es el siguiente:

$$y_{ijklm} = \mu + \tau_i + \beta_j + \delta_k + \phi_l + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\delta)_{ik} + (\tau\delta)_{ik} + (\tau\phi)_{il} + (\tau\phi)_{il} + (\beta\delta)_{jk} + (\beta\phi)_{jl} + (\delta\phi)_{kl} + (\tau\beta\delta)_{ijk} + (\tau\beta\phi)_{ijl} + (\beta\delta\phi)_{jkl} + (\tau\beta\delta\phi)_{ijkl} + \varepsilon_{ijklm}$$

de donde:

y_{ijklm} : Es la m-ésima observación que fue sometida al i-ésimo tratamiento del factor A, al j-ésimo tratamiento del factor B, al k-ésimo tratamiento del factor C y al l-ésimo tratamiento del factor D;

μ : Es la media de respuesta natural

τ_i : Es el efecto principal del i-ésimo tratamiento del factor A;

β_j : Es el efecto principal del j-ésimo tratamiento del

- factor **B**;
- δ_k : Es el efecto principal del k-ésimo tratamiento del factor C;
- ϕ_l : Es el efecto principal del 1-ésimo tratamiento del factor D;
- $(\tau\beta)_{ij}$: Es el efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento del factor A con el j-ésimo tratamiento del factor **B**;
- $(\tau\delta)_{ik}$: Es el efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento del factor A con el k-ésimo tratamiento del factor C;
- $(\tau\phi)_{il}$: Es el efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento del factor A con el 1-ésimo tratamiento del factor D;
- $(\beta\delta)_{jk}$: Es el efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento del factor B con el k-ésimo tratamiento del factor C;
- $(\beta\phi)_{jl}$: Es el efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento del factor B con el 1-ésimo tratamiento del factor D;
- $(\delta\phi)_{kl}$: Es el efecto de la interacción entre el k-ésimo tratamiento del factor C con el j-ésimo tratamiento

del factor D;

$(\tau \beta \delta)_{ijk}$: Es el efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento del factor A, el j-ésimo tratamiento del factor B y el k-ésimo tratamiento del factor C;

$(\tau \delta \phi)_{ikl}$: Es el efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento del factor A, el k-ésimo tratamiento del factor C y el l-ésimo tratamiento del factor D;

$(\tau \beta \phi)_{ijl}$: Es el efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento del factor A, el j-ésimo tratamiento del factor B y el 1-ésimo tratamiento del factor D;

$(\beta \delta \phi)_{jkl}$: Es el efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento del factor B, el k-ésimo tratamiento del factor C y el 1-ésimo tratamiento del factor D;

$(\tau \beta \delta \phi)_{ijkl}$: Es el efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento del factor A, el j-ésimo tratamiento del factor B, el k-ésimo tratamiento del factor C y el 1-ésimo tratamiento del factor D;

ϵ_{ijklm} : Es el error aleatorio de la observación ijklm-ésima para $i = 1..a$; $j = 1..b$; $k = 1..c$; $l = 1..d$; $m = 1..n$; donde $a=3$ y $b=c=d=n=2$ de donde los factores representados a través de las letras A, B, C y D, así como sus respectivas interacciones en el modelo son:

= Tipo de Antioxidante

= Concentración del Antioxidante

= Temperatura de Inmersión de la solución antioxidante

= Tiempo de Inmersión del banano en la solución antioxidante

y los valores de **a,b,c,d** corresponde al número de los niveles de los factores **A,B,C,D** respectivamente y **n** es el número de réplicas realizadas en el Diseño Experimental.

En el modelo se realizaron los supuestos siguientes:

La sumatoria de los efectos de los tratamientos de los factores deben ser iguales a cero, es decir:

$$\sum_{i=1}^a \tau_i = 0, \sum_{k=1}^2 \delta_k = 0, \sum_{l=1}^2 \phi_l = 0, \sum_{j=1}^2 \beta_j = 0$$

Así también la sumatoria de los efectos de las interacciones entre los tratamientos de los factores deben ser iguales a cero.

El error aleatorio de las observaciones debe ser independiente y converger en distribución a una Variable Aleatoria Normal con media 0 y **varianza** σ^2 , es decir:

$$\varepsilon_{ijklm} \sim \text{NID}(0, \sigma^2);$$

El interés del planteo del modelo consistió en contrastar las hipótesis de igualdad de medias entre los tratamientos de los factores (de ahora en adelante cuando hablemos de factores, nos referiremos tanto a los factores principales como a los producidos por sus interacciones), o sus equivalentes, es decir, que los efectos de los tratamientos de los factores sean cero, así tenemos que para el factor A deberá contrastarse la siguiente hipótesis:

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0$$

VS

H_1 : al menos una τ_a es diferente de cero, para $a=1..3$

3.3. Análisis Estadístico del Modelo: El Análisis de Varianza

El Análisis de la **Varianza** surge como una generalización del contraste de hipótesis para dos medias a través de la prueba t de Student, cuando el número de muestras a contrastar es mayor que dos.

Para una mejor explicación de lo anteriormente mencionado, consideremos el siguiente ejemplo: Suponga que tenemos tres muestras de diferentes tamaños que suponemos provienen de tres poblaciones normales con la misma varianza:

$$X_1 \sim \text{NID}(\mu_1, \sigma^2);$$

$$X_2 \sim \text{NID}(\mu_2, \sigma^2);$$

$$X_3 \sim \text{NID}(\mu_3, \sigma^2);$$

Si queremos realizar el contraste de hipótesis

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

vs

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \text{ ó } \mu_1 \neq \mu_3 \text{ ó } \mu_2 \neq \mu_3$$

A simple vista podría parecer que la solución a este problema sería realizar pruebas t de Student para los tres posibles pares de medias con un nivel de significancia α , como se muestra a continuación:

$$H_0': \mu_1 = \mu_2$$

VS

$$H_1': \mu_1 \neq \mu_2$$

$$H_0'': \mu_1 = \mu_3$$

VS

$$H_1'': \mu_1 \neq \mu_3$$

$$H_0''': \mu_2 = \mu_3$$

VS

$$H_1''': \mu_2 \neq \mu_3$$

de modo que se aceptaría H_1 y se rechazaría H_0 sólo si alguna de las hipótesis alternativas H_1' , H_1'' ó H_1''' es aceptada y rechazada su correspondiente hipótesis nula.

Entonces la probabilidad de cometer un error de tipo I para este contraste sería:

$$\begin{aligned}
 P(\text{Rechazar } H_0 \text{ cuando es verdadera}) &= 1 - P(\text{No rechazar } H_0 \text{ cuando es verdadera}) \\
 &= 1 - P(\text{No rechazar } H_0' \text{ ni } H_0'' \text{ ni } H_0''') \\
 &\quad \text{cuando } H_1', H_1'' \text{ y } H_1''' \text{ son verdaderas}) \\
 &= 1 - (1 - \alpha)^3
 \end{aligned}$$

Es decir, si tomamos un nivel de significación $\alpha=0.1$ para cada uno de los contrastes de igualdad de dos medias, se obtendría que la probabilidad de error de tipo I para el contraste de igualdad de las tres medias es $1 - (1-0,1)^3=0.27$, de igual manera para cuatro muestras se tiene que la probabilidad de este error es 0.34 y para cinco muestras es 0.4, con lo que se obtendría un incremento sustancial del error de tipo I, a medida que se incrementa el número de muestras a contrastar, lo cual no es recomendable.

De igual manera a medida que se incrementa el número de muestras a contrastar, se incrementa el número de contrastes de igualdad de dos medias, así tenemos que para 3 muestras el número de contrastes es 3, para 4 es 6 y para 5 es 10.

Dados los resultados obtenidos por estas situaciones, realizar un contraste de igualdad de medias de varias muestras, a través de

múltiples contrastes de igualdad de medias de dos muestras, no es recomendable por su poca eficiencia, al tener que realizar varios contrastes y baja confiabilidad al haber un incremento sustancial del error de tipo I.

La técnica que nos permite realizar el contraste de hipótesis de modo conveniente, es el denominado Análisis de Varianza, como el nombre del procedimiento lo indica, el Análisis de **Varianza** consiste en analizar la variación de una respuesta experimental y de asignar porciones de esta variación a cada una de las variables independientes que la explican.

El razonamiento del procedimiento se basa en que la variable de respuesta se modifica por las variaciones de algún conjunto de variables independientes desconocidas, como el investigador raras veces incluirá todas las variables que afecten a la respuesta en un experimento, es posible observar la variación aleatoria en la respuesta, aún cuando se mantengan constantes todas las variables independientes consideradas, el objetivo del análisis de **varianza** entonces es identificar las variables independientes importantes en estudio, determinar cómo interactúan y como afectan a la respuesta.

Procederemos ahora a describir el Análisis de Varianza para el modelo que se utilizó en el Diseño Experimental:

Se define la suma cuadrática del total como:

$$SS_{TOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n (y_{ijklm} - \bar{y}_{\dots})^2$$

de donde:

$$\bar{y}_{\dots} = \frac{\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm}}{abcdn}$$

luego de realizar un manipulamiento algebraico a la suma cuadrática del total, se obtienen las sumas cuadráticas de los tratamientos de los factores y del error son:

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \left(\frac{y^2_{i\dots}}{bcdn} \right) - \frac{y^2_{\cdot}}{abcdn}$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \left(\frac{y^2_{\cdot j\dots}}{acd n} \right) - \frac{y^2_{\dots}}{abcdn}$$

$$SS_C = \sum_{k=1}^c \left(\frac{y^2_{\dots k..}}{abdn} \right) - \frac{y^2_{\dots}}{abcdn}$$

$$SS_D = \sum_{l=1}^d \left(\frac{y^2_{\dots l.}}{abcn} \right) - \frac{y^2_{\dots}}{abcdn}$$

$$SS_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \left(\frac{y^2_{ij\dots}}{cdn} \right) - \frac{y^2_{\dots}}{abcdn} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AC} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \left(\frac{y^2_{i.k\dots}}{bdn} \right) - \frac{y^2_{\dots}}{abcdn} - SS_A - SS_C$$

$$SS_{AD} = \sum_{i=1}^a \sum_{l=1}^d \left(\frac{y^2_{i.l\dots}}{bcn} \right) - \frac{y^2_{\dots}}{abcdn} - SS_A - SS_D$$

$$SS_{BC} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \left(\frac{y^2_{.jk\dots}}{adn} \right) - \frac{y^2_{\dots}}{abcdn} - SS_B - SS_C$$

$$SS_{BD} = \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d \left(\frac{y^2_{.j.l\dots}}{acn} \right) - \frac{y^2_{\dots}}{abcdn} - SS_B - SS_D$$

$$SS_{CD} = \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left(\frac{y^2_{..kl\dots}}{abn} \right) - \frac{y^2_{\dots}}{abcdn} - SS_C - SS_D$$

$$SS_{ABC} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \left(\frac{y^2_{ijk\dots}}{dn} \right) - \frac{y^2_{\dots}}{abcdn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

$$SS_{ABD} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d \left(\frac{y^2_{ij.l\dots}}{cn} \right) - \frac{y^2_{\dots}}{abcdn} - SS_A - SS_B - SS_D - SS_{AB} - SS_{AD} - SS_{BD}$$

$$SS_{ACD} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left(\frac{y^2_{i.kl\dots}}{bn} \right) - \frac{y^2_{\dots}}{abcdn} - SS_A - SS_C - SS_D - SS_{AC} - SS_{AD} - SS_{CD}$$

$$SS_{BCD} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left(\frac{y^2_{.jkl\dots}}{an} \right) - \frac{y^2_{\dots}}{abcdn} - SS_B - SS_C - SS_D - SS_{BC} - SS_{BD} - SS_{CD}$$

$$SS_{ABCD} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left(\frac{y^2_{ijkl.}}{n} \right) - \frac{y^2_{\dots}}{abcdn} - SS_F$$

$$SS_{ERROR} = SS_{TOTAL} - \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \left(\frac{y^2_{ijkl.}}{n} \right) - \frac{y^2_{\dots}}{abcdn}$$

de donde:

$$SS_F = SS_A + SS_B + SS_C + SS_D + SS_{BC} + SS_{BD} + SS_{CD} + SS_{ABC} + SS_{ABD} \\ + SS_{ACD} + SS_{BCD}$$

$$y^2_{\dots} = \left(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \right)^2$$

$$y_{i\dots} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n Y_{ijklm} \quad i = 1 \dots a$$

$$y_{.j\dots} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad j = 1 \dots b$$

$$y_{..k\dots} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad k = 1 \dots c$$

$$y_{\dots l} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad l = 1 \dots d$$

$$y_{ij\dots} = \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad i = 1 \dots a \quad j = 1 \dots b$$

$$y_{i.k..} = \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad i = 1..a \quad k = 1..c$$

$$y_{i..l.} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad i = 1..a \quad l = 1..d$$

$$y_{.jk..} = \sum_{i=1}^a \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad j = 1..b \quad k = 1..c$$

$$y_{.j.l.} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad j = 1..b \quad l = 1..d$$

$$y_{..kl.} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad k = 1..c \quad l = 1..d$$

$$y_{ijk..} = \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad i = 1..a \quad j = 1..b \quad k = 1..c$$

$$y_{ij.l.} = \sum_{k=1}^c \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad i = 1..a \quad j = 1..b \quad l = 1..d$$

$$y_{i.kl.} = \sum_{j=1}^b \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad i = 1..a \quad k = 1..c \quad l = 1..d$$

$$y_{.jkl.} = \sum_{i=1}^a \sum_{m=1}^n y_{ijklm} \quad j = 1..b \quad k = 1..c \quad l = 1..d$$

Cabe recalcar que la abreviatura de Sumas Cuadráticas es SS, por su procedencia del vocablo inglés "Sum of Square".

La variabilidad total de las observaciones, se mide a través de la *suma cuadrática* fofa/ y es particionada en dos componentes: la variación entre las medias de los tratamientos, también conocidas como *sumas* cuadráticas de *los* tratamientos y la variación entre las unidades experimentales dentro de los tratamientos, también denominada suma cuadrática del error.

Definimos ahora las medias cuadráticas de los tratamientos de los factores como el cociente de su suma cuadrática para sus respectivos grados de libertad, así tenemos que para el factor A su media cuadrática sería:

$$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$$

De la misma manera, la media cuadrática del error, es el cociente de su suma cuadrática para sus grados de libertad, así tenemos:

$$MS_{ERROR} = \frac{SS_{ERROR}}{abcd (n - 1)}$$

Al igual que en las Sumas Cuadráticas, la abreviatura de las Medias Cuadráticas es MS, por su procedencia del vocablo inglés “Mean of Square”.

Al suponer en el modelo que los errores de las observaciones son independientes y están normalmente distribuidos con media cero y **varianza** σ^2 , el cociente de la suma cuadrática de cualquier factor con σ^2 es una variable aleatoria con una distribución ji cuadrada con $p-1$ grados de libertad, donde p es el número de niveles del factor; de igual manera el cociente de la suma cuadrática del error con σ^2 es una variable aleatoria independiente con una distribución ji cuadrada con **$abcd(n-1)$** grados de libertad (*por el teorema 1 del Anexo #4*) y dichas variables también son independientes (*por el teorema 2 del Anexo #4*).

Entonces, el estadístico para probar la hipótesis de igualdad de media entre tratamientos de un factor, es el cociente entre su media cuadrática de tratamientos y la media cuadrática del error, es decir, que para el factor A, tendríamos:

$$F_0 = \frac{MS_A}{MS_{ERROR}}$$

el cual tiene una distribución F con $a-1$ grados de libertad en el numerador y $abcd(n-1)$ en el denominador (*por el teorema 3 del Anexo #4*), esto nos da la pauta que debe rechazarse la hipótesis de igualdad de medias de tratamientos del factor A sí:

$$F_0 > F_{\alpha, a-1, abcd (n-1)}$$

El procedimiento del Análisis de **Varianza** se resume en la siguiente tabla, que es conocida como Tabla de Análisis de Varianza.

Tabla IV
Tabla de Análisis de **Varianza** Teórica

Fuente De Variación	Sumas Cuadráticas	grados de libertad	Medias Cuadráticas	F_0
A	SS_A	a-1	$\frac{SS_A}{(a-1)}$	$\frac{MS_A}{MS_{ERROR}}$
B	SS_B	b-1	$\frac{SS_B}{(b-1)}$	$\frac{MS_B}{MS_{ERROR}}$
C	SS_C	c-1	$\frac{SS_C}{(c-1)}$	$\frac{MS_C}{MS_{ERROR}}$
D	SS_D	d-1	$\frac{SS_D}{(d-1)}$	$\frac{MS_D}{MS_{ERROR}}$
AB	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	$\frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$\frac{MS_{AB}}{MS_{ERROR}}$
AC	SS_{AC}	(a-1)(c-1)	$\frac{SS_{AC}}{(a-1)(c-1)}$	$\frac{MS_{AC}}{MS_{ERROR}}$
AD	SS_{AD}	(a-1)(d-1)	$\frac{SS_{AD}}{(a-1)(d-1)}$	$\frac{MS_{AD}}{MS_{ERROR}}$
BC	SS_{BC}	(b-1)(c-1)	$\frac{SS_{BC}}{(b-1)(c-1)}$	$\frac{MS_{BC}}{MS_{ERROR}}$
BD	SS_{BD}	(b-1)(d-1)	$\frac{SS_{BD}}{(b-1)(d-1)}$	$\frac{MS_{BD}}{MS_{ERROR}}$
CD	SS_{CD}	(c-1)(d-1)	$\frac{SS_{CD}}{(c-1)(d-1)}$	$\frac{MS_{CD}}{MS_{ERROR}}$
ABC	SS_{ABC}	(a-1)(b-1)(c-1)	$\frac{SS_{ABC}}{(a-1)(b-1)(c-1)}$	$\frac{MS_{ABC}}{MS_{ERROR}}$

Tabla IV

Tabla de Análisis de **Varianza** Teórica (continuación)

Fuente De Variación	Sumas Cuadráticas	grados de libertad	Medias Cuadráticas	F ₀
ABD	SS _{ABD}	(a-1)(b-1)(d-1)	$\frac{SS_{ABD}}{(a-1)(b-1)(d-1)}$	$\frac{MS_{ABD}}{MS_{ERROR}}$
ACD	SS _{ACD}	(b-1)(c-1)(d-1)	$\frac{SS_{ACD}}{(a-1)(c-1)(d-1)}$	$\frac{MS_A}{MS_{ERROR}}$
BCD	SS _{BCD}	(b-1)(c-1)(d-1)	$\frac{SS_{BCD}}{(b-1)(c-1)(d-1)}$	$\frac{MS_{BCD}}{MS_{ERROR}}$
ABCD	SS _{ABCD}	(a-1)(b-1)(c-1)(d-1)	$\frac{SS_{ABCD}}{(a-1)(b-1)(c-1)(d-1)}$	$\frac{MS_{ABCD}}{MS_{ERROR}}$
Error	SS _{ERROR}	abcd(n-1)	$\frac{SS_{ERROR}}{abcd(n-1)}$	
TOTAL	SS _{TOTAL}	abcdn		

Otro componente importante del Análisis de **Varianza** es el coeficiente R^2 , definido de la siguiente manera:

$$R^2 = \frac{SS_{Modelo}}{SS_{Total}} = \frac{SS_{Total} - SS_{Error}}{SS_{Total}}$$

El cual establece la potencia de explicación del modelo, es decir, la proporción de la variabilidad de los datos que es explicada por el modelo del Diseño Experimental.

3.4. Comparación de Medias de Tratamientos Individuales

Si la hipótesis de igualdad de medias entre tratamientos de algún o algunos factores del Análisis de Varianza es rechazada, se concluye que existe diferencia significativa estadística entre las medias de los tratamientos de ese factor, aunque el método no especifica exactamente que par de ellas difieren.

Los métodos que se utilizan para poder realizar las comparaciones entre los distintos pares de medias de tratamientos, entre cuales podría existir diferencia significativa estadística, se los conoce como Métodos de Comparación Múltiple, uno de los cuales trataremos a continuación.

3.4.1. Método de Mínima Diferencia Significativa

La comprobación de la desigualdad de medias entre tratamientos de un factor a través de Método de Mínima Diferencia Significativa es una de las pruebas más sencillas y eficientes de utilizar.

La prueba de hipótesis:

$$H_0: \mu_i = \mu_j$$

VS

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j, \text{ para } i \neq j$$

La cual contrastará la igualdad de las medias de los tratamientos i y j de un determinado factor, es rechazada sí:

$$\left| \overline{y}_{i.} - \overline{y}_{j.} \right| > LSD$$

de donde:

$$LSD = t_{\alpha/2, N-a} \sqrt{MS_{Error} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

se denomina mínima diferencia significativa, en el cual n_i y n_j son el número de réplicas del i -ésimo y j -ésimo tratamiento en un diseño desbalanceado respectivamente.

Si el diseño es balanceado, es decir $n_1=n_2= \dots =n_a=n$, donde n es el número de réplicas de un diseño balanceado y, entonces:

$$LSD = t_{\alpha/2, N-a} \sqrt{\frac{2MS_{Error}}{n}}$$

Es importante mencionar que LSD es la abreviatura de este método, por su procedencia de los vocablos ingleses “**least significant different**”, que significa mínima diferencia significativa.

3.5. Comprobación de Idoneidad del Modelo

En la definición de un modelo matemático, siempre se realizan ciertos supuestos y simplificaciones de la realidad. El análisis del cumplimiento estos supuestos del modelo debe ser un proceso rutinario en todo Diseño Experimental.

Los supuestos que se hacen en los modelos lineales estadísticos utilizado en los diseños experimentales, son que los errores de las observaciones experimentales son independientes y están normalmente distribuidos con media cero y **varianza** σ^2 . Si estas suposiciones se cumplen, el procedimiento de Análisis de **Varianza** constituye una herramienta apropiada para el contraste de hipótesis de igualdad de medias entre los tratamientos de los factores.

Es precipitado depender del Análisis de Varianza, sin revisar el cumplimiento de los supuestos de su modelo, dado que el incumplimiento de los mismos nos conducirían a la obtención de resultados y conclusiones no validas. La revisión del cumplimiento o no de los supuestos básicos del modelo es realizada a través del análisis de los residuos de las observaciones y_{ijklm} , los cuales son definidos como:

$$\epsilon_{ijklm} = y_{ijklm} - \hat{y}_{ijklm}$$

de donde:

$$\hat{y}_{ijklm} = \bar{y}_{ijkl} = \frac{\sum_{m=1}^n y_{ijklm}}{n} \quad \text{para los valores de } i,j,k,l,m \text{ antes mencionados}$$

es decir, que la m-ésima observación del ijkl-ésimo tratamiento se estima a través de la media de las n observaciones de dicho tratamiento.

3.51. Comprobación de Normalidad

Los métodos que se recomiendan para la comprobación del supuesto que los errores de las observaciones provienen de una distribución normal centrada en cero y con **varianza** σ^2 son los siguientes:

- **Graficar** el histograma de los residuos y observar si este se asemeja al de una distribución normal centrada en cero, cuando el número de muestras (abcdn) es pequeño, es decir menores a 30, no se puede apreciar la semejanza o no de la distribución de los residuos al de una distribución normal, por lo que conviene realizar otro análisis más estricto.

- Otro método útil para la comprobación de este supuesto es la construcción de la gráfica de probabilidad normal de los residuos, la cual consiste en la representación de la distribución acumulada de los mismos sobre un papel de probabilidad normal, en dicho papel la graficación de la distribución normal acumulada es una línea recta, si la graficación de la distribución acumulada de los residuos se asemeja a una línea recta diagonal, se concluye que se cumple este supuesto.
- El método más exacto para determinar la procedencia de los residuos, es realizar la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov para los mismos, la cual consiste en probar o refutar la hipótesis de que un conjunto de datos provengan de una distribución de probabilidad determinada; dependiendo del valor p que se obtenga de la prueba se podrá aceptar o refutar dicha hipótesis.

3.5.2. Comprobación de Independencia

Para la determinación del cumplimiento del supuesto de independencia de los errores de las observaciones, bastaría con revisar la existencia de alguna relación o dependencia de los

residuos con los valores estimados de las observaciones experimentales, por lo que se recomienda:

- Realizar la gráfica entre los residuos y los valores estimados de las observaciones experimentales y observar si existe algún patrón de dependencia entre los mismos.
- Calcular la correlación lineal entre los residuos y los valores estimados de las observaciones.

Ambos métodos tratan de determinar la relación o patrón con los valores estimados de las observaciones, de forma gráfica y numérica respectivamente. Si los residuos tienen algún patrón en la gráfica con los valores estimados de las observaciones o poseen una correlación alta, es decir, mayor a 0.7 o menor a -0.7 se estaría violando el supuesto de independencia de los errores de las observaciones.

CAPÍTULO 4

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Introducción

En este capítulo se describe, presenta y analiza todos los resultados obtenidos de la aplicación del Análisis de **Varianza** al modelo lineal estadístico del Diseño Experimental en estudio de esta tesis.

Para la obtención de los resultados se utilizó el **Software** Estadístico SYSTAT 7.0, el cual es una herramienta informática, que nos facilita de manera eficiente la obtención de resultados válidos.

4.2. Análisis de Varianza del Experimento: La Tabla ANOVA

La tabla que se presenta a continuación es la denominada 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 V

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:

= Tipo de Antioxidante

= Concentración del Antioxidante

= Temperatura de Inmersión de la solución antioxidante

= Tiempo de Inmersión del banano en la solución antioxidante

Una de las ventajas que nos dio SYSTAT 7.0 para poder realizar el Análisis de **Varianza** es que, para el contraste de hipótesis de igualdad de medias entre los tratamientos de los factores, automáticamente nos da el nivel de significancia o valor p de cada contraste, sin necesidad de comparar el valor del estadístico F_0 con el respectivo valor de la distribución F, para la aceptación o rechazo de la prueba.

Podemos claramente observar entonces a través de los niveles de significancia 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 y se concluye que el Tipo de Antioxidante afecta significativamente al pardeamiento del banano durante la elaboración de harina.

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.

4.3. Método de Comparación Múltiple de Medias: LSD

Dado que el Análisis de Varianza solo sirve para determinar que existe diferencia significativa entre las medias de los tratamientos de un factor, pero no nos dice con exactitud que pares de medias de tratamientos difieren significativamente entre sí, corresponde ahora realizar dicha determinación.

Los tratamientos dentro del factor Tipo de Antioxidante que se utilizaron en este experimento con las respectivas medias obtenidas de sus observaciones experimentales son mostrados en la tabla VI.

Tabla VI

Medias de los tratamientos del factor Tipo de Antioxidante

t		i
1	Acido Ascórbico	55.575625
2	Ácido Cítrico	52.485625
3	Metabisulfito de Sodio	61.649375

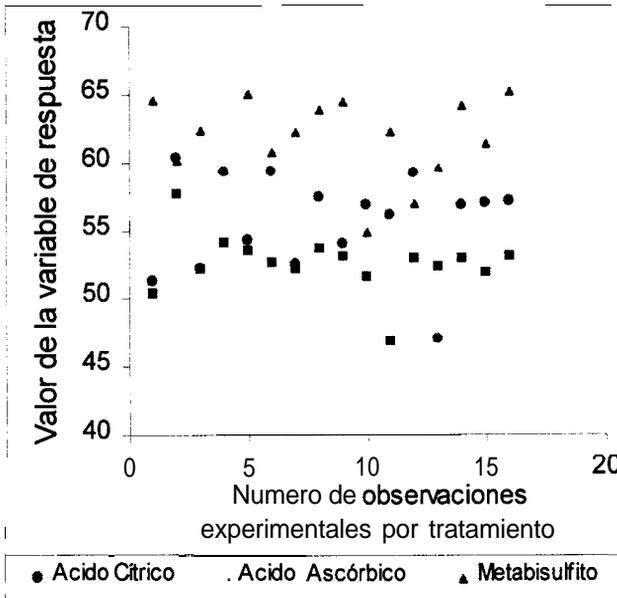


Gráfico 4.1 Observaciones Experimentales

Podemos observar a simple vista del gráfico 4.1 que el tratamiento Metabisulfito proporcionó mayor valor a la respuesta experimental,

pero ese resultado se debe corroborar al comprobar si existe diferencia significativa entre la aplicación de uno u otro tratamiento como se mostrará a continuación.

La determinación de que pares de medias de los tratamientos del factor antes mencionado difiere significativamente se lo 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 siguientes datos:

Tabla VII

Datos utilizados en la aplicación del método LSD

Media Cuadrática del trror	12.48
Valor porcentual $t_{0,025,24}$	2.01
Valor LSD	7.10
Diferencias absoluta de las medias de los tratamientos 1 y 2	3.09
Diferencias absoluta de las medias de los tratamientos 1 y 3	6.07
Diferencias absoluta de 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 los mismos es mayor que el valor LSD.

Entonces podemos observar que a través de estos resultados que la única diferencia entre las medias de los tratamientos que es mayor que el valor LSD es la dada entre los tratamientos 2 y 3, lo que nos indica que solo existe diferencia significativa estadística entre la aplicación de los tratamientos Ácido Cítrico y Metabisulfito de Sodio, para el control de pardeamiento del banano, cuantificado a través del color de su harina.

4.4. Comprobación de Idoneidad del Modelo

Si los supuestos que se realizan para la implantación del modelo del experimento 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.

Ahora nos corresponde realizar la comprobación de los supuestos del modelo, los cuales básicamente son dos: el de normalidad y el de independencia de los errores de las observaciones experimentales.

La comprobación de los supuestos se realiza a través de la utilización de los residuos experimentales, los cuales juntos a las

observaciones experimentales y sus respectivas estimaciones son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla VIII

Observaciones, Estimaciones y Residuos Experimentales

Observaciones	Estimaciones	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
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

Tabla VIII

Observaciones, Estimaciones y Residuos Experimentales (continuación)

Observaciones	Estimaciones	Residuos
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

4.4.1. 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 proviene de la distribución antes descrita. La verificación de este supuesto se la realiza también de

manera gráfica, mediante el histograma y el gráfico de probabilidad normal de los residuos (gráfico 4.2 y 4.3).

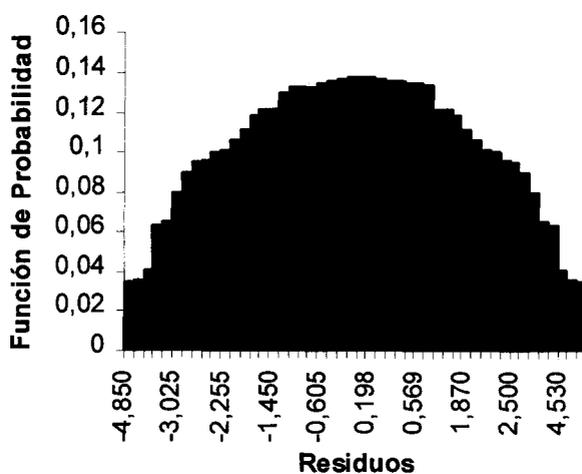


Gráfico 4.2 Histograma de los Residuos

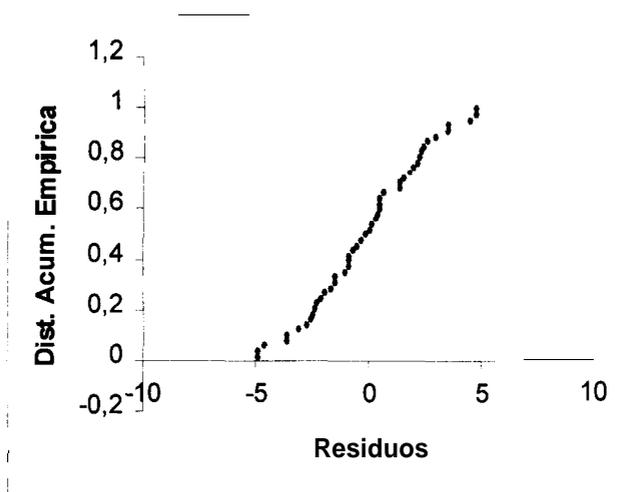


Gráfico 4.3 Gráfico de Probabilidad Normal de los Residuos

De dichos gráficos podemos concluir que los residuos provienen de una distribución normal centrada en cero, ya que el histograma de los mismos se asemeja al de la distribución antes descrita y el gráfico de probabilidad normal se asemeja al de una línea recta en el papel probabilístico normal, razones por las cuales se concluye que el supuesto de procedencia de una distribución normal centrada en cero por parte de los residuos no se violó.

4.4.2. 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 4.4).

Observando ese gráfico se concluye 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.

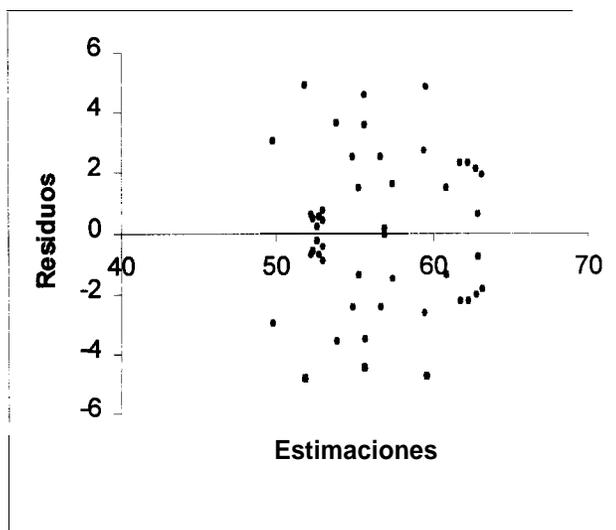


Gráfico 4.4 Estimaciones vs Residuos Experimentales

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Dado que se cumplieron los supuestos de normalidad e independencia de los errores de las observaciones del modelo del Diseño Experimental, 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 en el Análisis de Varianza, Tipo de Antioxidante obtuvo un valor p igual a cero, es decir, que existe diferencia significativa estadística entre las medias de 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 los antioxidantes Ácido Ascórbico y Metabisulfito de Sodio son los que más influyen en el control del pardeamiento del banano en la elaboración de harina, al ser los que más se acercan al valor nominal deseado de este control.

4. Consecuentemente al no existir diferencia significativa estadística entre las medias de los tratamientos del resto de factores del Diseño Experimental, se pueden tomar los niveles óptimos en cuanto uso de recursos y tiempo de dichos factores como parámetros del proceso químico antioxidante en el control del pardeamiento. En ese sentido en el factor Concentración del Antioxidante, el cual posee dos niveles 1 y 0.5% en la solución controladora del pardeamiento, se tomaría como parámetro del experimento 0.5%, por lo ser más óptimo en cuanto al factor monetario y alimenticio, al contener menos concentración del antioxidante la solución en la cual el banano es sumergido para el control del pardeamiento. En el factor Temperatura de Inmersión de la solución antioxidante que se trabajó con dos niveles 30° y 40° centígrados, se escogería 30° centígrados, para la agilización del proceso, ya que dicha temperatura es la que posee el agua ambiente en la región costa y particularmente en Guayaquil. Y para último el factor Tiempo de inmersión del banano en la solución antioxidante que tiene 5 y 10 minutos como sus

niveles, se tomaría 5 minutos como parámetro del proceso, para optimizar el tiempo del mismo.

5. El coeficiente R^2 obtenido del Análisis de **Varianza** fue 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. Se concluye entonces 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.

6. Con los resultados obtenidos en este Diseño Experimental antes descritos, se recomendaría para una próxima realización del mismo, un nuevo diseño tomando como parámetros del proceso antioxidante los tratamientos óptimos en cuanto a recursos y tiempo, de los factores que no arrojaron diferencia significativa estadística entre las medias de sus tratamientos, con la inclusión de otros factores no considerados en el diseño anterior y el aislamiento de variables incontrolables del proceso, tal como la pureza de los químicos antioxidantes, a través de los diseños experimentales que aíslan la interferencia de la información.

7. Dados los inconvenientes y limitaciones que se suscitaron a través del desarrollo de este Diseño Experimental, se recomienda para una próxima realización del mismo o de uno nuevo que se quiera realizar en el **PROTAL** o en cualquier unidad de la ESPOL, contar desde el inicio con un Ingeniero en Estadística Informática dentro del equipo de trabajo, para que además de colaborar en el desarrollo del Diseño Experimental, capacite a todo las personas involucradas en el mismo en los principios estadísticos para la realización de un estudio de este tipo, circunstancias importantes para la consecución de la validez y confiabilidad experimental.

ANEXOS

Anexo #1

Escala de Von Looseck (12)

Descripción	Valor
Completamente verde	1
Verde con trazos amarillos	2
Más verde que amarillo	3
Más amarillo que verde	4
Verde en las puntas, pero el resto es amarillo	5
Completamente amarillo	6
Amarillo con manchas claras de rayas café s	7
Manchas café s que ocupan más del 50% de la cáscara	8

Anexo #2

Producción Mundial de Banano del Año 1999 (5)

País	Producción*	Participación
India	10'200.000	18%
Brasil	5'591.720	10%
Ecuador	4'563.442	8%
China	3'984.736	7%
Philippines	3'549.950	6%
Indonesia	3'011.743	5%
Colombia	2'200.000	4%
Costa Rica	2'101.449	4%
Thailand	1'720.000	3%
México	1'647.000	3%
Burundi	1'531.148	3%
Viet Nam	1'315.190	2%
Mundial	56'383.849	

* en toneladas métricas

Anexo #3

Exportación de Banano en el Ecuador del Año 1999 (II)

Meses	Producción*
Enero	350.999
Febrero	304.036
Marzo	336.259
Abril	354.541
Mayo	337.373
Junio	284.019
Julio	313.449
Agosto	282.814
Septiembre	328.678
Octubre	353.856
Noviembre	298.983
Diciembre	359.793
TOTAL	3'904.799

* en toneladas métricas

Anexo #4

Marco teórico

A continuación se definen un conjunto de términos estadísticos y se enuncian los teoremas utilizados en el desarrollo del capítulo 3. Si desea profundizar cualquiera de los temas o definiciones citadas en este anexo, puede consultar las referencias bibliográficas 1, 6 y 7 del presente trabajo.

Población

Una población es cualquier colección finita o infinita de individuos o elementos que poseen por lo menos una característica de interés.

Muestra

Es un subconjunto de una población, mediante la cual se realizan inferencias acerca de la misma.

Estimador o Estadístico

Un estimador es una regla que establece como calcular una estimación, basadas en las mediciones contenidas en una muestra y que es usado para

hacer inferencia sobre los parámetros de la población, que por lo general son desconocidos.

Espacio Muestral

Un espacio **muestral** es el conjunto de todos los posibles resultados de un experimento, y es denotado por S .

Evento

Un evento definido sobre un espacio **muestral** discreto S es una colección de puntos muestrales, es decir, un subconjunto de S .

Probabilidad

Dado un espacio **muestral** S , asociado a un experimento, a cada evento A , definido en S , se le asigna un número $P(A)$, denominado probabilidad de A , de tal manera que cumpla con los axiomas siguientes:

1. $P(A) \geq 0$
2. $P(S) = 1$
3. Si A_1, A_2, A_3, \dots forman una sucesión de eventos de S , que se excluyen mutuamente por parejas, entonces: $P(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup \dots) = \sum P(A_i)$

Variable Aleatoria

Si S es un espacio **muestral** con una medida de probabilidad y X es una función con valor real definida con respecto a los elementos de S , entonces X se denomina variable aleatoria. Se dice que X es una variable aleatoria discreta sí y solo sí el conjunto de los valores que puede tomar X es contable. Se dice que X es una variable aleatoria continua sí y solo sí el conjunto de los valores que puede tomar X es continuo.

Función de probabilidad de una v.a. Discreta

Si X es una variable aleatoria discreta, la función dada por $f(x)=P(X=x)$ para cada x contenida en el intervalo de X se denomina función de probabilidad o distribución de probabilidad de X .

Función de probabilidad de una v.a. Continua

Una función con valores $f(x)$, definida con respecto al conjunto de todos los números reales, se denomina función de densidad de probabilidad de la variable aleatoria continua x sí y sólo sí:

$$P(a \leq x \leq b) = \int_a^b f(x) dx$$

para cualquier constante real a y b con $a \leq b$

Media

La media es un promedio simple de las observaciones de un conjunto de datos

Media Poblacional

Es el promedio de las observaciones de una población y es denotado por μ , y la formula para su cálculo es:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

donde X_i es el i-ésimo elementos de los N que contiene la población.

Media Muestral

Es el promedio de las observaciones de una muestra y es denotado por \bar{X} y es obtenida de la siguiente manera:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

donde x_i es la i-ésima observación de las n que contiene la muestra.

Varianza

Es la medida de la fluctuación de las observaciones alrededor de su media.

Varianza Poblacional

Es denotada por σ^2 , la formula para su obtención es:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu)^2}{N}$$

donde μ es la media de la población y X_i es la i -ésima observación de las N que posee la población.

Varianza Muestral

Es denotada por s^2 , la expresión para su obtención es:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}$$

donde \bar{x} es la media de la población y x_i es la i -ésima observación de las n que posee la muestra.

Coefficiente de Correlación

El coeficiente de correlación es la medida de dependencia lineal entre dos variables aleatorias.

Coefficiente de Correlación Muestral

Se denota por r y se lo obtiene de la siguiente manera:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

donde X_i y Y_i denotan la i -ésima observación de n contenidas en cada muestra, \bar{X} es la media muestral de la variable X y \bar{Y} es la media muestral de la variable Y .

Coeficiente de Correlación Poblacional

Se denota por ρ y se lo obtiene de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu_X)(Y_i - \mu_Y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \mu_X)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \mu_Y)^2}}$$

donde X_i y Y_i denotan la i -ésima observación de las N contenidas en cada población, μ_X es la media poblacional de la variable X y μ_Y es la media poblacional de la variable Y .

Distribución Normal

Una variable aleatoria X tiene una distribución normal y se conoce como variable aleatoria normal, sí y solamente sí su densidad de probabilidad está dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \text{ para } -\infty < x < +\infty, \sigma > 0, -\infty < \mu < +\infty,$$



donde μ es la media poblacional y σ^2 es la **varianza** de la población

Distribución Ji Cuadrado

Una variable aleatoria **Y** tiene una distribución ji cuadrada, y se conoce como variable aleatoria ji cuadrada, sí y solamente sí su densidad de probabilidad está dada por:

$$f(y) = \frac{1}{2^{v/2} \Gamma(v/2)} y^{v/2-1} e^{-y/2} \quad \text{para } y > 0$$

donde el parámetro v se denomina número de grados de libertad

Distribución t

Si **Y** y **Z** son dos variables aleatorias independientes, **Y** tiene una distribución ji cuadrado con v grados de libertad y **Z** tiene una distribución normal estándar, entonces la distribución de:

$$t = \frac{Z}{\sqrt{Y/v}}$$

está dada por:

$$f(t) = \frac{\Gamma\left(\frac{v+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi v} \Gamma\left(\frac{v}{2}\right)} \left(1 + \frac{t^2}{v}\right)^{-\frac{v+1}{2}} \quad \text{para } -\infty < t < +\infty,$$

Distribución F

Sean U y V variables aleatorias independientes que tienen distribuciones ji cuadrada con v_1 y v_2 grados de libertad, entonces la distribución de

$$F = \frac{U/v_1}{V/v_2}$$

esta dada por

$$g(F) = \frac{\Gamma\left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{v_1}{2}\right)\Gamma\left(\frac{v_2}{2}\right)} \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\frac{v_1}{2}} F^{\frac{v_1}{2}-1} \left(1 + \frac{v_1}{v_2} F\right)^{-\frac{1}{2}(v_1+v_2)}, \text{ para } F > 0$$

se denomina distribución F con v_1 y v_2 grados de libertad.

Prueba de Hipótesis

Una prueba hipótesis es una afirmación o conjetura acerca de la distribución de una o más variables aleatorias. Si una hipótesis estadística estudia por completo la distribución, recibe el nombre de hipótesis simple; sino, se conoce como hipótesis compuesta.

Elementos de una prueba de hipótesis

Los elementos de una prueba de hipótesis son:

- Hipótesis nula, H_0 : es la hipótesis que se desea probar.

- Hipótesis alternativa, H_1 : es la hipótesis que se debe aceptarse en el caso de rechazar H_0 .
- Estadístico de la prueba: es una función de las mediciones muestrales en el cual se fundamenta la decisión estadística.
- La región de rechazo: es aquella que especifica los valores del estadístico de la prueba para los cuales se rechaza H_0 .

Error Tipo I

El error de tipo I, es el error de rechazar H_0 siendo verdadera. La probabilidad de un error tipo I se denota por α .

Error Tipo II

Es el error de tipo II, es el error de aceptar H_0 siendo H_1 verdadera. La probabilidad de un error tipo II se denota por β .

Valor P

El valor P o nivel de significancia alcanzado es el mínimo nivel de significancia α , para el cual los datos observados indican que se tendría que rechazar la hipótesis nula. Los rangos para la aprobación o refutación de una prueba de hipótesis a través del valor p son los siguientes:

- Si el valor p este entre 0 y 0.01 se rechaza la hipótesis;
- Si el valor p se encuentra entre 0.1 y 1 se acepta la hipótesis; y,

- Si el valor p esta entre 0.01 y 0.1, se rechaza o se aprueba la hipótesis, dependiendo del nivel de significancia α , con el que se esté trabajando en la prueba.

Teorema 1

Sean Y_1, Y_2, \dots, Y_n una muestra aleatoria de tamaño n de una distribución normal con media μ y varianza σ^2 . Entonces

$$\frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2$$

tiene una distribución χ^2 con $n-1$ grados de libertad.

Teorema 2(de Cochran)

Sean Z_i variables aleatorias con una distribución normal estándar, para $i=1, 2, \dots, v$ y

$$\sum_{i=1}^v Z_i^2 = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_s$$

en donde $s \leq v$, Q_i tiene v grados de libertad ($i=1, 2, \dots, s$). Entonces Q_1, Q_2, \dots, Q_s son variables aleatorias independientes con distribución ji cuadrada y v_1, v_2, \dots, v_s grados de libertad, sí y solo sí

$$v = v_1 + v_2 + \dots + v_s$$

Teorema 3

Sean χ^2_1 y χ^2_2 variables aleatorias ji-cuadrado con ν_1 y ν_2 grados de libertad, respectivamente. Entonces si χ^2_1 y χ^2_2 son independientes,

$$F = \frac{\chi^2_1 / \nu_1}{\chi^2_2 / \nu_2}$$

se dice que tiene una distribución F con ν_1 grados de libertad del numerador y ν_2 grados de libertad del denominador.

BIBLIOGRAFÍA

1. AMITAVA MITRA, "Fundamentals of Quality Control and Improvement", Second Edition, Prentice Hall, Estados Unidos, 1998
2. BADUI BERGAL SALVADOR, "Química de los Alimentos", Tercera Edición, Editorial Alhambra Mexicana, México, 1993, pag.581
3. BRAVERMAN J. – BERK Z., "Introducción a la Bioquímica de Alimentos", Primera Edición, Editorial Manuel Moderno, México, 1990, pag. 166-186, 283-291
4. CALLE FLAVIO, "Industrialización del Banano: Evaluación de Alternativas Tecnológicas", Centro de Desarrollo Industrial del Ecuador (CENDES), Guayaquil-Ecuador, 1979, pag. 40-43

5. FAOSTAT, Base de datos estadísticos integrada on-line <http://www.fao.org.htm>, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)
6. FREUND JOHN E. – WALPOLE RONALD E., “Estadística Matemática con Aplicaciones”, Cuarta Edición, Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1996
7. MENDENHALL WILLIAM – WACKERLY DENNIS – SHEAFFER RICHARD, “Estadística Matemática con Aplicaciones, Segunda Edición, Grupo Editorial Iberoamérica, México, 1994
8. MONTGOMERY DOUGLAS, “Diseño y Análisis de Experimentos”, Tercera Edición, Grupo Editorial Ibero América
9. OCÉANO UNO, Diccionario Enciclopédico Ilustrado, Grupo Editorial Océano, Colombia, 990
10. SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROPECUARIA (SICA), Página Web <http://www.sica.gov.ec/>, Ministerio de Agricultura y Ganadería

- II. SOLE P., “Bananas (Processed) In Processing Fruit: Science and Technology” ,Volumen 2, Avi Publishing Company, 1996
12. SOTO MOISES, “Bananos Cultivo y Comercialización”, Primera Edición, Editorial LIL S.A., San José Costa Rica, 1985, pag. 581
13. Tabla de Composición Química de los Alimentos Ecuatorianos, Universidad de Guayaquil – Instituto Nacional de Nutrición, 1976
14. VARGAS GERMÁN, Informe de Prácticas Profesionales, PROTAL-ESPOL, Guayaquil-Ecuador, 1999
15. Página Web
<http://www.minoltaeurope.com/minolta/products/industrialmeters/colour/color-300.html>
16. Página Web
http://www.promodel.com.mx/Doc_univs_clases_simulacion.html
17. Página Web
http://www.iwr.uni-heidelberg.de/~agbock/research/opt_design.html

18. Página Web

<http://www.duke.edu/~dmontoya/parte3.htm>

19. Página Web

http://www.area.com.mx/usabilidad/Test/qcusa_test.htm