



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Diseño de un proceso para la maduración acelerada de banano
utilizando etefón como agente madurador”**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO DE ALIMENTOS

Presentada por:

Arturo Gabriel Ordóñez Moreno

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2005

AGRADECIMIENTO

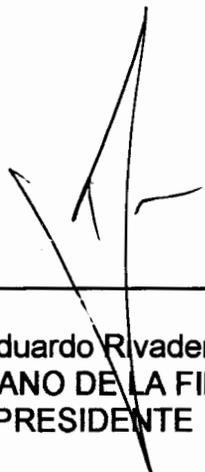
En primer lugar quiero agradecer a mi familia por todo el apoyo recibido durante mi etapa académica, en especial mi abuelo Leonardo a quien llevo en mis pensamientos. A Mariella su ánimo, cariño y ayuda invaluable que permitió culminar mi tesis.

A Alejandro, Héctor, Cesar y Carlos, compañeros de mi mismo grupo de estudio, les agradezco toda su paciencia y apoyo durante los años de vida universitaria. Al resto de compañeros y amigos, a los que no nombro por miedo a olvidar a alguien, debo agradecerles su amistad y compañerismo que han hecho de ESPOL una experiencia positiva.

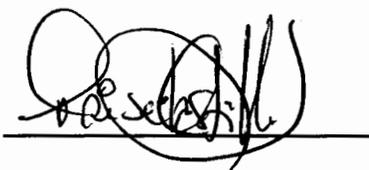
DEDICATORIA

A MI ABUELO

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Msc. Priscila Castillo S.
DIRECTOR DE TESIS

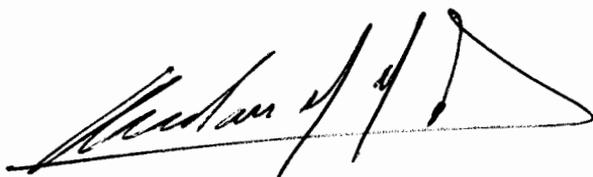


Ing. Marcos Buestán B.
VOCAL

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).



Arturo Gabriel Ordóñez Moreno

RESUMEN

La presente tesis desarrolla el diseño de un proceso para la maduración acelerada de banano utilizando un inductor de maduración como es el etefón. Esta alternativa ofrece a los productores una tecnología económica que permita una maduración rápida y homogénea del fruto sin perder su calidad. De esta manera puedan abastecer al mercado y la industria nacional agregando valor al banano de rechazo de la exportación.

El proceso de maduración se evaluará considerando el incremento del porcentaje de sólidos solubles, su acidez titulable, pérdida de peso, pudrición de la corona y características organolépticas del producto bajo el efecto de factores tales como concentración del agente madurador, tiempo de contacto, aplicación de fungida y limpieza del fruto.

De los resultados del diseño experimental 2^4 se diseña un proceso tecnológico asequible al productor de banano permitiéndole contar con materia prima de excelente calidad para el proceso o consumo de banano.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
INDICE DE TABLAS.....	V
INDICE DE GRÁFICOS.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO 1

1. EL BANANO Y LA MADURACIÓN.

1.1 Generalidades del banano.

1.2 Índices de cosecha en el banano.

1.3 La maduración del banano.

1.3.1 La respiración.

1.3.2 Cambios de sabor.

1.3.3 Cambios en aroma.

1.3.4 Cambios de textura.

1.3.5 Cambios en color.

1.4 Efectos del etileno en la maduración.

1.4.1 Modo de acción del etileno.

1.4.2 El etefón como agente madurador

1.5 Efectos de la temperatura en la maduración.

1.6 Perdida de agua durante la maduración.

CAPITULO 2

2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO.

2.1 ¿Qué es el Diseño Experimental?

2.2 ¿Conceptos Fundamentales del Diseño de Experimento?

2.3 El experimento.

2.3.1 Descripción del experimento.

2.3.2 Objetivo del experimento.

2.3.3 Elección de factores que interviene en el experimento.

2.3.5 Metodología.

2.3.4 Variable respuesta de nuestro experimento.

CAPITULO 3

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1 Análisis de varianza del experimento: La Tabla ANOVA

3.2 Análisis de factores

3.2.1 Concentración del agente madurador

3.2.2 Tiempo de inmersión

3.2.3 Fungicida

3.2.4 Lavado

3.3 Comprobación de Idoneidad del Modelo

3.3.1 Supuesto de Normalidad

3.3.2 Supuesto de Independencia

CAPITULO 4

4. DISEÑO DEL PROCESO

4.1 Materia prima

4.2 Preparación de la solución inductora

4.3 Descripción del proceso

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

APENDICES.

BIBLIOGRAFIA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Termohigrómetro digital.....	37
Figura 2.2	Refractómetro utilizado en el experimento.....	46
Figura 4.1	Desprendimiento de la corona.....	71
Figura 4.2	Cambio de color de la cáscara durante la maduración acelerada de bananos con etefón.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Producción y exportación de banano en el Ecuador.....	5
Tabla 2	Tasa de respiración del banano.....	11
Tabla 3	Tasa de producción de etileno del banano.....	21
Tabla 4	Concentraciones internas de etileno en varias frutas.....	22
Tabla 5	Contenido de las bandejas utilizadas en el experimento.....	42
Tabla 6	Factores y sus niveles.....	43
Tabla 7	Tabla aleatoria del experimento.....	44
Tabla 8	Respuesta del experimento.....	50
Tabla 9	Tabla de análisis de varianza del experimento.....	51
Tabla 10	Tabla de análisis de varianza del modelo depurado.....	55
Tabla 11	Observaciones, residuos experimentales y estimaciones.....	65
Tabla 12	Observaciones, residuos experimentales y estimaciones.....	78
Tabla 13	Valores promedios de la prueba de aceptación.....	83

ÍNDICE DE GRAFICOS

Grafico 1.1	Etapa durante el desarrollo de las frutas.....	7
Grafico 1.2	Patrones de respiración, crecimiento y producción de etileno para plantas climatéricas y no climatéricas.....	10
Grafico 1.3	Patrón de respiración de algunas frutas climatéricas cosechadas.....	8
Grafico 1.4	Cambios fisicoquímicos durante maduración de bananos tipo Cavendish.....	14
Grafico 2.1	Clasificación de la fruta de acuerdo a su grado de madurez.....	39
Grafico 3.1	Grafico pareto de los efectos.....	53
Grafico 3.2	Grafico pareto de los efectos del modelo depurado.....	55
Grafico 3.3	Efectos de la concentración de etefón sobre el índice de madurez.....	57
Grafico 3.4	Efectos del tiempo de inmersión sobre el índice de madurez.....	58
Grafico 3.5	Efectos de la interacción tiempo de inmersión-fungicida sobre el índice de madurez.....	59
Grafico 3.6	Efectos de la aplicación de fungicida sobre el índice de madurez.....	60
Grafico 3.7	Efectos de la interacción entre lavado y fungicida sobre el índice de madurez.....	61
Grafico 3.8	Efectos del lavado sobre el índice de madurez.....	63
Grafico 3.9	Efectos de la interacción entre lavado y concentración sobre el índice de madurez.....	64
Grafico 3.10	Probabilidad normal de los residuos.....	66
Grafico 3.11	Histograma de los residuos.....	67
Grafico 3.12	Estimaciones vs residuos experimentales.....	68
Grafico 4.1	Diagrama de flujo de una empacadora de banano.....	75
Grafico 4.2	Diagrama de flujo para la maduración de banano con etefón.....	76
Grafico 4.3	Modelo recomendado de galpón.....	79
Grafico 4.4	Cambio de Brix y acidez durante la maduración acelerada de banano con etefón.....	81

INTRODUCCIÓN

La sobreproducción de banano en el Ecuador ha provocado una mayor competencia en cuanto a precio y calidad en el manejo poscosecha de esta fruta. Lo que obliga a que en nuestro país contemos con tecnología apropiada, que permita que los bananos que no puedan ser exportados sean utilizados para consumo o procesamiento a nivel nacional.

En la actualidad no existe suficiente información sobre la maduración acelerada de banano para que los productores puedan lograr una maduración homogénea del fruto sin perder su calidad y de esa manera abastecer al mercado nacional con banano maduro de muy buena calidad.

Para inducir la maduración se han ensayado ciertos aceleradores de esta como es el caso del carburo de calcio (0.2-1.0 g/kg fruto), pero presenta algunas desventajas principalmente económicas al no ser asequibles para el pequeño productor de banano.

El objetivo principal de esta tesis es presentar un proceso tecnológico al alcance del pequeño agricultor, utilizando etefón como agente madurador, el cual al ser aplicado a los frutos induce la liberación anticipada de etileno que es una hormona maduradora natural de las plantas, lográndose así una maduración uniforme en un periodo de tiempo más corto.

En definitiva, se diseñó un proceso dirigido al productor de banano con una técnica que le permita, de forma práctica, rápida, económica y confiable alcanzar los grados de maduración de consumo de la fruta y poder así servir un producto de la mejor calidad posible.

CAPÍTULO 1

1. EL BANANO Y LA MADURACIÓN

En el caso del banano, la calidad del producto final depende de muchos factores, algunos ambientales y por lo tanto poco controlables y otros directamente relacionados con la gestión del producto. De todas maneras, desde el punto de vista del consumidor, el grado de maduración es el factor que más se relaciona con la calidad de la fruta. Por este motivo es importante conocer todos los cambios en la respiración, sabor, aroma, textura y color que ocurren durante la maduración.

1.1. Generalidades del banano

El nombre científico del banano es *Musa sapientum* y tiene un alto contenido de vitaminas (A, B6 y C) y minerales (Ca, P), pero es particularmente conocido por su altísimo contenido de potasio (K) (370 mg/100 g de pulpa) haciendo del consumo de esta fruta una forma muy

agradable de satisfacer los requerimientos diarios de K en la dieta humana 2000 – 6000 mg K/día (Espinoza y Mite, 2002)

Las variedades que el Ecuador ofrece al mercado internacional son: Cavendish, Orito y Rojo.

Ecuador es líder por más de cuatro décadas en el ámbito internacional bananero. La actividad bananera, incluyendo todo el proceso de producción, comercialización y exportación constituye la mayor fuente de empleo: un 12% de la población depende directa o indirectamente de este sector y ha desarrollado una industria verticalmente integrada.

Durante el año 2004 se exportaron 4,537,034.89 toneladas de banano lo que representa el 17% de todas las exportaciones del año 2004 según datos del Banco Central del Ecuador.

El banano Cavendish no exportable representa, en Ecuador, aproximadamente el 30% de la producción anual en los últimos cinco años, como se puede observar en la TABLA 1. Este banano es destinado principalmente a alimentación animal y en menor proporción a la elaboración de puré de banano de exportación.

TABLA 1
PRODUCCION Y EXPORTACION DE BANANO EN EL ECUADOR.

Año	Bananas Producción (TM)	Bananas Exportaciones (TM)	Porcentaje no exportado
2000	6.477.039,00	3.939.454,32	39%
2001	6.077.040,00	3.574.989,72	41%
2002	5.528.100,00	4.199.081,51	24%
2003	5.882.600,00	4.577.232,15	22%
2004	5.900.000,00	4.537.034,89	23%

Fuente: Banco Central del Ecuador al 05/JULIO/2005 (Exportaciones);
FAO Database al 05/JULIO/2005 (Producción).

1.2. Índices de cosecha en el banano

El principal índice de cosecha que se utiliza en las plantaciones es el grado de llenado de los dedos o desaparición de la angularidad en su sección transversal. Los bananos se cosechan en estado verde-maduro (piel completamente verde pero fisiológicamente maduros) y posteriormente, se les aplica el tratamiento para inducir la maduración de consumo debido a que las frutas maduras en la planta a menudo presentan exceso de madurez y baja calidad organoléptica.

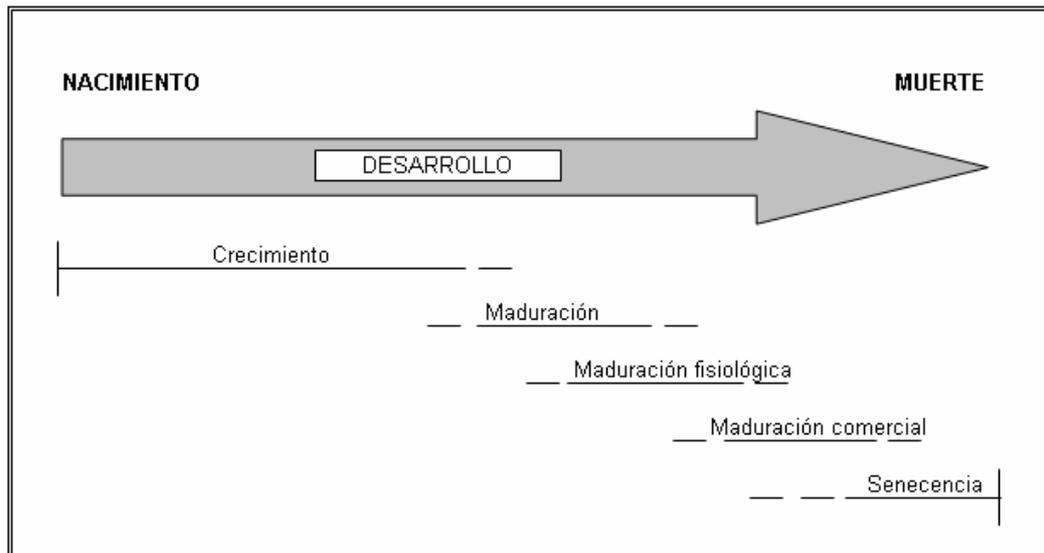
Es importante que la madurez fisiológica se haya alcanzado en la fruta, ya que entre más maduro fisiológicamente mejor calidad tendrá el

banano cuando adquiriera la madurez de consumo. Se debe evitar cosechar bananos que presenten defectos tales como daños por insectos, daños físicos, cicatrices y pudriciones ya que al momento de alcanzar la madurez de consumo no tendrán la calidad organoléptica deseada.

Durante la maduración, los frutos sufren una sucesión de importantes cambios bioquímicos y fisiológicos que conducen al logro de las características sensoriales óptimas para el consumo. Pueden dividirse en dos etapas: la madurez fisiológica y la madurez organoléptica; cada una con características propias.

La madurez fisiológica se refiere a la etapa de desarrollo del banano en la que se ha producido el máximo crecimiento y maduración. La fruta está completamente madura. En cambio se considera que adquiere madurez organoléptica, cuando el fruto alcanza su máximo sabor y aroma haciéndolo apto para el consumo. Para que lo logre, debe ser cosechado a partir de su madurez fisiológica. A esta etapa le sigue la senescencia que es considerada como la etapa catalítica o de envejecimiento de la fruta, tal como se observa en el GRAFICO 1.1. La madurez comercial está íntimamente relacionada con las exigencias de un mercado determinado (Wills, 1981).

GRAFICO 1.1
ETAPAS DURANTE EL DESARROLLO DE LAS FRUTAS.



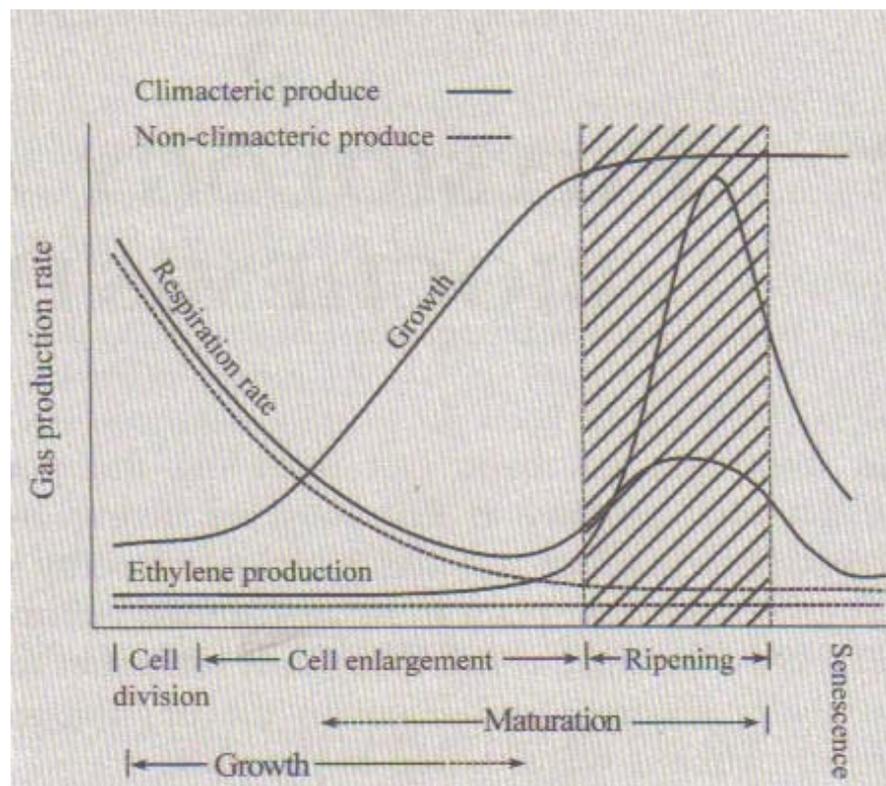
Fuente: Procesos fisiológicos y sistemas postcosecha, Carlos Demerutis, 1996.

1.3. La maduración del banano

El proceso de maduración del banano se caracteriza por una secuencia de cambios físicos, químicos, bioquímicos y metabólicos que permiten al fruto alcanzar sus atributos sensoriales (forma, color, sabor, aroma, textura) característicos de la especie (Wills, 1981).

El desarrollo del proceso de maduración depende de un delicado y complejo equilibrio entre hormonas inductoras de la maduración (etileno y ácido abscísico) e inhibidoras (auxinas, citocinas y giberelinas) que regulan los mecanismos bioquímicos.

GRAFICO 1.2
PATRONES DE RESPIRACION, CRECIMIENTO Y
PRODUCCION DE ETILENO PARA PLANTAS CLIMATERICAS
Y NO- CLIMATERICAS.



Fuente: Postharvest; an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals, Ron Wills, 1981.

Los mecanismos bioquímicos asociados a la maduración son altamente complejos y algunos no parecen depender de la síntesis auto catalítica de etileno. Teniendo en cuenta esta complejidad, se indica únicamente los procesos de mayor relevancia.

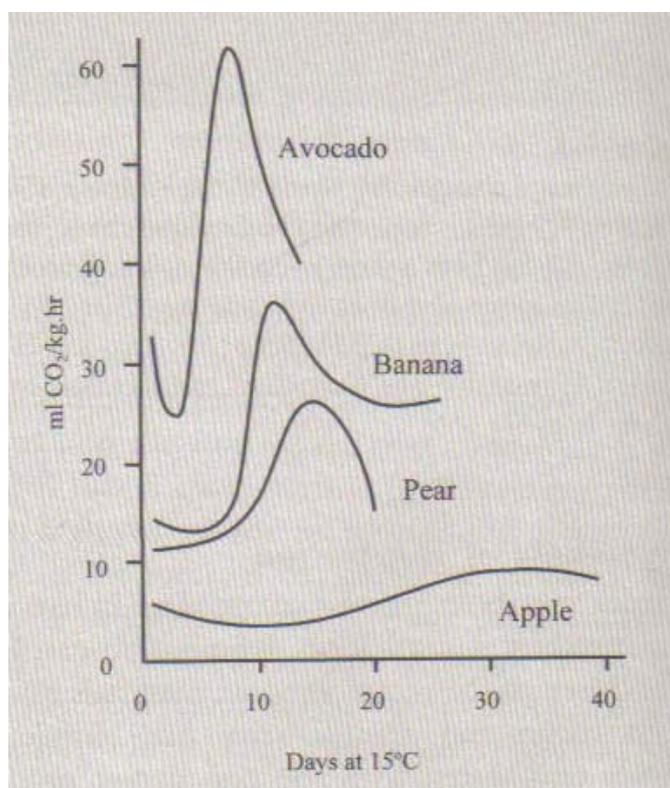
La maduración en el banano está marcada por el aumento de las tasas de producción de etileno y CO₂ y por la conversión de cantidades relativamente grandes de carbono en forma de almidón en sustancias que alteran la percepción del sabor de la fruta, como se puede observar en el GRAFICO 1.2

1.3.1. La respiración

La respiración es un proceso metabólico fundamental tanto en el banano recolectado como en el vegetal vivo. Puede describirse como la degradación oxidativa de los productos más complejos normalmente presentes en las células, como el almidón, los azúcares y los ácidos orgánicos a moléculas más simples, como el dióxido de carbono y el agua con la consiguiente liberación de energía y otras moléculas que pueden ser utilizadas para las reacciones sintéticas celulares (Demerutis, 1996).

La reacción común de este metabolismo aeróbico esta dado por la ecuación: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + \text{ENERGIA}$.

GRAFICO 1.3
PATRON DE RESPIRACION DE ALGUNAS FRUTAS CLIMATERICAS
COSECHADAS.



Fuente: Postharvest; an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals, Ron Wills, 1981.

La velocidad a que transcurre la respiración de un producto constituye un índice de la actividad metabólica de sus tejidos y una guía útil de su vida comercial. La actividad respiratoria es más alta en las fases previas de la maduración y declina luego con la edad como se observa en el GRAFICO 1.2. Un grupo significativo de frutas entre los que se incluye el banano, muestra una variante del esquema descrito, en cuanto que la actividad respiratoria aumenta de un modo muy acusado durante la maduración organoléptica. A este incremento de la actividad respiratoria se lo adjetiva de climatérico y al grupo de frutos que lo ofrecen se los clasifica como frutos climatéricos. Así mismo en el GRAFICO 1.3, se puede observar que la respiración en el banano es mas acentuada que en otras frutas climatéricas como la manzana o la pera.

La intensidad respiratoria del banano depende de su grado de desarrollo y se mide como la cantidad de CO_2 (miligramos) que desprende un kilogramo de fruta en una hora o la cantidad de O_2 consumido.

La TABLA 2 muestra la tasa de respiración del banano a diferentes temperaturas, el límite inferior de cada intervalo corresponde a los

bananos verde-maduro y el superior a los que se encuentran en madurez de consumo.

TABLA 2
TASA DE RESPIRACION DEL BANANO.

Temperatura	13°C (56°F)	15°C (59°F)	18°C (65°F)	20°C (68°F)
mL CO ₂ /kg·h ^{1, 2}	10 - 30	12 - 40	15 - 60	20 - 70

Fuente: Department of Pomology, University of California, Adel A. Kader, 1996.

Para conocer el calor producido se multiplica los mL CO₂/kg·h por 440 para obtener BTU/ton/día o por el factor 122 para obtener el calor en unidades de kcal/ton métrica/día.

1.3.2. Cambios de sabor

Durante la maduración, el almidón, que comprende aproximadamente el 80 % del peso seco de la fruta, se convierte en sacarosa, glucosa, fructosa. Una fracción mucho más pequeña se convierte en compuestos aromáticos, principalmente los esteres, que representan una diminuta fracción de la reserva de carbono. Incongruentemente, en términos de la calidad del sabor

de la fruta fresca, las dos reservas de carbono son de importancia relativamente igual (Beaudry et al. 1987, 1989).

En la mayoría de las especies la hidrólisis del almidón (polisacárido de reserva) es el primer paso en el metabolismo de los azúcares. Inmediatamente después de la recolección, las enzimas responsables de la hidrólisis de almidón (α y β – amilasas) se activan posiblemente por un efecto de 'estrés' de recolección, lo que supone un rápido incremento de sustratos respiratorios (azúcares y ácidos) que serían los inductores de la crisis climática en la (Bruinsma y Paull, 1984). Sin embargo, la actividad de amilasas según avanza el proceso de maduración depende de la síntesis del etileno. La hidrólisis de almidón y la síntesis de los azúcares y ácidos orgánicos son los procesos fundamentales con los que obtener los sustratos respiratorios necesarios para mantener la integridad celular.

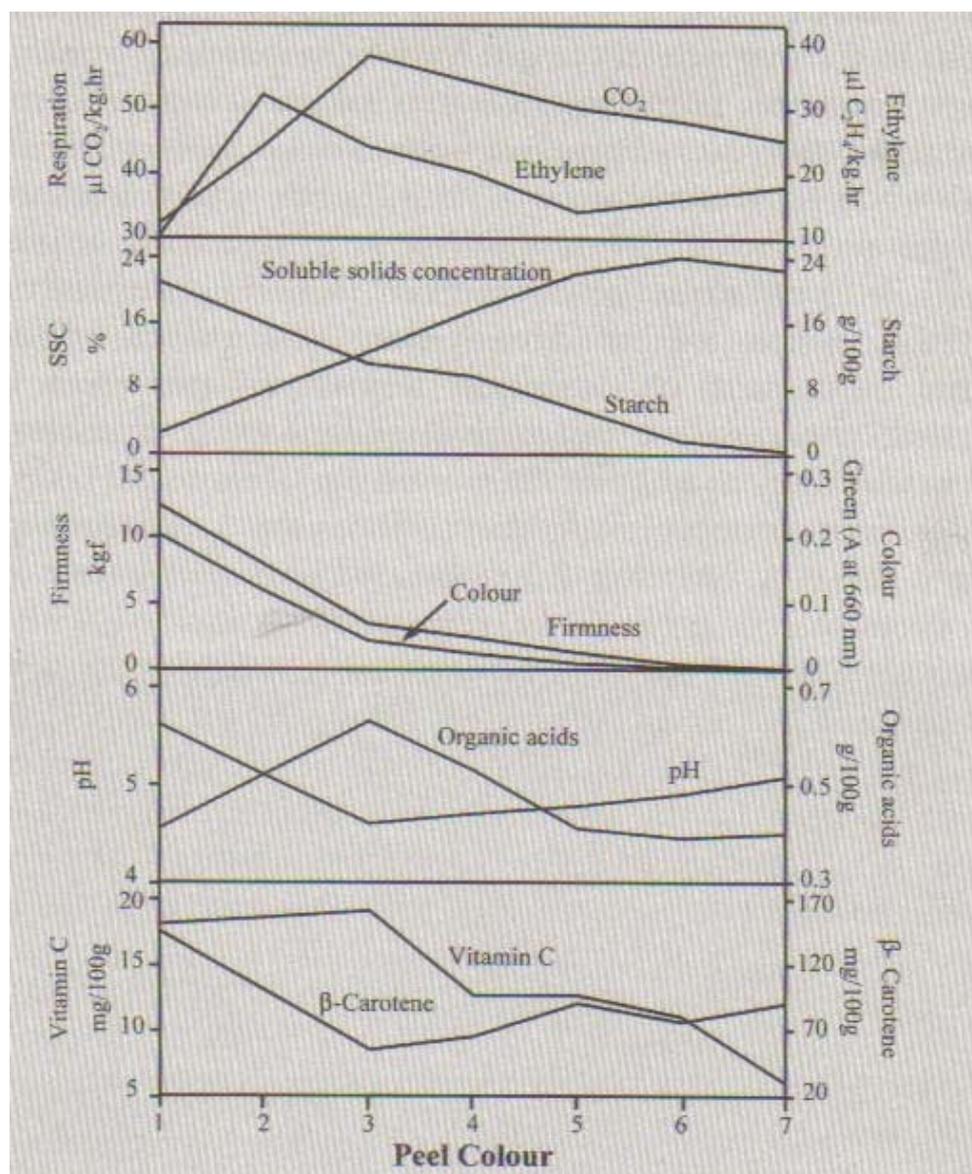
En el banano, durante la maduración, el contenido de almidón decrece desde el 20-30% (dependiendo de la variedad) al 1%-2% en el fruto maduro, mientras que el contenido de los azúcares solubles aumenta del 1% al 20- 21% (Biale y Young, 1981). Esto se lo puede apreciar en el GRAFICO 1.4.

El GRAFICO 1.4 se encuentra dividido en 7 estados de color de piel que indican los cambios de un banano fisiológicamente maduro desde verde (estado 1), hasta totalmente amarillo (estado 6),y finalmente el estado en donde aparecen los puntos negros(estado 7). Estas bananos tomaron cerca de 8 días para llegar del estado 1 al 7 , cuando son almacenados a 20°C.

La acumulación o descenso de los azúcares solubles (glucosa, fructosa y sacarosa), en combinación con otros constituyentes, incide directamente sobre la calidad sensorial: sabor (relación azúcares/ácidos) color (derivados antocianinas), y textura (combinación con polisacáridos estructurales de la pared celular).

En conclusión, durante la maduración de bananos aumenta el contenido de hidratos de carbono sencillos por lo que el dulzor típico de las frutas maduras aumenta. A su vez los ácidos van disminuyendo con la maduración desapareciendo el sabor agrio y la astringencia, para dar lugar al sabor suave y al equilibrio dulzor-acidez de los frutos maduros.

GRAFICO 1.4
CAMBIOS FISICOQUIMICOS DURANTE MADURACION DE
BANANOS TIPO CAVENDISH



Fuente: Postharvest; an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals, Ron Wills, 1981.

Esta reducción de la astringencia se debe a la polimerización de taninos existentes, conformando así largas moléculas insolubles al agua, las cuales no son capaces de reaccionar con los receptores de sabor en la boca. Los bananos inmaduros contienen taninos solubles en agua en un 0.6% de su peso fresco (Demerutis, 1996).

1.3.3. Cambios en aroma

Durante la maduración se producen ciertos compuestos volátiles que son los que proporcionan a cada fruta su aroma. Los compuestos volátiles más comúnmente sintetizados durante la maduración de frutos son los ésteres de alcoholes alifáticos y ácidos grasos de cadena corta.

La producción de ésteres, responsables por el aroma del banano, empieza inmediatamente después de ocurrir el pico en la actividad respiratoria y aumenta a medida que la demanda de energía requerida para convertir el almidón en azúcares se aproximó a cero (Song y Beaudry, 1987).

En el banano el aroma parece deberse al acetato de isoamilo, y los terpenoides (Nursten, 1970). Coincidiendo el incremento de volátiles con su calidad de consumo optima (sabor y aroma).

La formación de aromas depende en gran medida de factores externos, tales como la temperatura y sus variaciones entre el día y la noche. Así, por ejemplo, en bananos con un ritmo día/noche de 30/20°C, producen un 60% más de compuestos volátiles responsables de aroma que a temperatura constante de 30°C (Nursten, 1970).

1.3.4. Cambios de textura

La transformación casi total del almidón en azúcares tiene doble efecto al alterar tanto el gusto como la textura del producto. La degradación de los hidratos de carbono poliméricos, especialmente la de las sustancias pécticas y hemicelulosas, debilita las paredes celulares y las fuerzas cohesivas que mantienen unas células unidas a las otras. En las etapas iniciales mejora la textura pero finalmente las estructuras vegetales se desintegran.

En los bananos la solubilización de sustancias pécticas (protopecticas) tienen un gran interés tecnológico al ser responsable del ablandamiento de la pulpa. Las sustancias pécticas están fundamentalmente localizadas en la pared celular y laminilla media, actuando como material de cimentación de la estructura de los tejidos. Son derivados del ácido poligalacturónico y se encuentran en forma de protopectina (insoluble), ácidos pecticos, pectinas y ácidos pectínicos.

Durante el desarrollo, el total de sustancias pecticas aumenta en el fruto pero durante la maduración las sustancias pecticas sufren modificaciones por mecanismos de despolimerización o desesterificación.

Las enzimas hidrolíticas responsables de la degradación de la pared celular, como las celulosas, incrementan su actividad en el inicio de la crisis climatérica y continúan su aumento hasta 2 días después del máximo climatérico (Hobson, 1981).

El ablandamiento de la pulpa de los frutos es uno de los mecanismos bioquímicos que plantea mas problemas a la hora de optimizar su comercialización, ya que además de producir una

pérdida de calidad (sobre maduración) aumenta la sensibilidad a los daños mecánicos y al ataque fúngico.

1.3.5. Cambios en color

La maduración del banano va ligada a una variación del color de verde a amarillo; la primera señal del inicio de la maduración es la desaparición del color verde, producido por la degradación de las clorofilas.

Causas primordiales de esta degradación son los cambios de pH principalmente como consecuencia de la fuga de ácidos orgánicos al exterior de la vacuola, el desarrollo de procesos oxidativos y la acción de las clorofilasas.

La desaparición de la clorofila va asociada a la síntesis o al desenmascaramiento de pigmentos cuyos colores oscilan entre el amarillo y el rojo. Muchos de estos pigmentos son carotenoides, hidrocarburos no saturados. Los carotenoides son compuestos bastante estables y pueden permanecer inalterados en los tejidos aún en avanzado estado de senescencia.

En el caso del banano, el color de la piel constituye una guía valiosa con respecto a su madurez comercial.

1.4. Efectos del etileno en la maduración

El etileno ($H_2C=CH_2$) es el más sencillo de todos los compuestos orgánicos que influye en los procesos fisiológicos de los vegetales, y que es considerado como la "hormona" de la maduración, siendo fisiológicamente activo a la iniciación del "ripening" o maduración plena de los frutos y en el establecimiento de la senescencia de los productos hortícolas, incluso a muy bajas concentraciones, normalmente inferiores a 1 ppm.

Entre los numerosos efectos fisiológicos del etileno, destacan los que afectan directamente a algunos aspectos de la maduración, como son la estimulación de la respiración de los vegetales, la influencia en el metabolismo péptico, favoreciendo el aumento de pectinas solubles, y por tanto la reducción de la dureza de la pulpa, degradación de la clorofila, la despolimerización de polisacáridos, la pérdida de ácidos, taninos y fenoles.

Los frutos climatéricos como el banano pueden distinguirse de los no climatéricos en virtud de su respuesta al etileno exógeno y de la pauta de su síntesis por ellos durante la maduración organoléptica. Todas las frutas producen pequeñas cantidades de etileno a lo largo de su desarrollo. Sin embargo, durante la maduración organoléptica los frutos climatéricos lo producen en cantidades mucho más elevadas que los no climatéricos.

TABLA 3

TASA DE PRODUCCION DE ETILENO DEL BANANO

Temperatura	13°C (56°F)	15°C (59°F)	18°C (65°F)	20°C (68°F)
$\mu\text{L C}_2\text{H}_4/\text{kg}\cdot\text{h}$	0.1-2	0.2-5	0.2-8	0.3-10

Fuente: Department of Pomology, University of California, Adel A. Kader, 1996.

La exposición a concentraciones de etileno tan bajas como 0,1 - 1,0 microlitros por litro, durante un día, basta normalmente para acelerar la plena maduración de los frutos climatéricos. La TABLA 3 muestra la tasa de producción de etileno de bananos almacenados a diferentes temperaturas. El límite inferior de cada intervalo corresponde a los bananos verde-maduros y el superior a los que se encuentran en

madurez de consumo. Se puede concluir que a mayor temperatura se genera mayor producción de etileno, provocando una aceleración en la maduración.

TABLA 4
CONCENTRACIONES INTERNAS DE ETILENO EN VARIAS FRUTAS

Frutas	Etileno
Climatéricas	
Mango	0,04 - 3,0
Banano	0,05 - 2,1
Tomate	3,6 - 29,8
Aguacate	28,9 - 74,2
Manzana	25 - 2.500
No climatéricas	
Piña	0,16 - 0,40
Naranja	0,13 - 0,32
Limón	0,11 - 0,17

Fuente: The role of ethylene in fruit ripening. De Burg, S.P., Burg, 1962.

Cuando frutos climatéricos inmaduros se tratan con etileno, se acelera el comienzo del climaterio. Cuando frutos no climatéricos se tratan de la misma forma, la magnitud de la tasa respiratoria se incrementa en función de la concentración de etileno, pero el tratamiento no dispara la producción endógena de etileno y por lo tanto no se acelera la

maduración. En el TABLA 4 se muestran las concentraciones internas de etileno de frutas climatéricas y no climatéricas.

1.4.1. Modo de acción del etileno

El etileno es conocido como una fitohormona que afecta al desarrollo y crecimiento de los vegetales a muy bajas concentraciones. Existen dos mecanismos generalmente aceptados

La hormona atraviesa la membrana celular de la célula y alcanza el citoplasma. Allí se une a una molécula adecuada (receptor) y forma un complejo hormona-receptor. A partir de aquí, el complejo puede disociarse o puede entrar en el núcleo como tal y afectar a la síntesis de los ARNm. Este efecto sobre la transducción es lo que produce la respuesta fisiológica (Azcon-Bieto.J and Talón, M. 2000).

A partir de aquí, el complejo puede disociarse o puede entrar en el núcleo como tal y afectar a la síntesis de los ARNm produciéndose efectos muy variados: nuevas actividades enzimáticas,

modificación de procesos metabólicos, inducción de síntesis de ARNm, etc.

1.4.2. El etefón como agente madurador

El etileno es una de las fitohormonas más ampliamente utilizadas en agricultura. Debido a su alta velocidad de difusión, el etileno es difícil de aplicar en el campo como gas, pero esta limitación se reduce utilizando algún compuesto que libere etileno.

El compuesto químico más ampliamente utilizado es el etefón o ácido 2-cloroetilfosfónico (nombre comercial Ethrel). El etefón en solución acuosa es fácilmente absorbido y transportado al interior del fruto. Este compuesto libera etileno lentamente lo que permite a esta fitohormona ejercer sus efectos. De esta manera, la aplicación de etefón produce la maduración de bananos, así como el cambio de color en cítricos, y acelera la abscisión de flores y frutos. (Batal y Granberry, 1982, citado por Armitage, 1989; Cantliffe y Goodwin, 1975; Conrad y Sundstrom, 1987). Este producto es de toxicidad IV (Normalmente no ofrece peligro), durante el tratamiento de la fruta es utilizado en concentraciones inferiores al 2%, no ofreciendo riesgos durante la manipulación o

eventuales residuos que puedan permanecer en la pulpa del banano, sin causar intoxicación luego de su ingestión.

1.5. Efectos de la temperatura en la maduración

El límite inferior para el desarrollo de una actividad metabólica normal es el punto de congelación de los fluidos tisulares, que generalmente se encuentra en 0 y -2 °C. Una vez que el tejido se congela se ve seriamente limitado el intercambio de metabolitos entre los diversos componentes celulares.

La actividad de las enzimas de las frutas declina por encima de 30 °C, pero las distintas enzimas se inactivan a diferentes temperaturas. Muchas siguen siendo activos por encima de 35°C, pero la mayoría pierde su actividad a 40 °C. Esto significa que siendo la maduración un proceso regulado por enzimas, toda reducción de la temperatura se traduce en un descenso de la velocidad a que cualquier parámetro, respiración, textura, color, etc, reacciona. Sin embargo los efectos de la reducción de la temperatura sobre los distintos factores fisiológicos no son uniformes (Barcello Coll, 1992).

Descendiendo la temperatura no sólo se frena la producción de etileno sino también la velocidad de respuesta de los tejidos al citado gas, de manera que cuanto más baja sea la temperatura mayor tendrá que ser, a una determinada concentración de etileno, el tiempo de exposición requerido para que la madurez se inicie. Una maduración organoléptica normal sólo es posible dentro de un determinado intervalo de temperatura generalmente entre 10° y 30 °C. Temperaturas superiores a las especificadas provocan suavización de la pulpa, sensibilidad de la cáscara al daño mecánico, retraso en el desarrollo del color y pobre desarrollo de sabor (Demerutis, 1996).

1.6. Pérdida de agua durante la maduración.

Las pérdidas de agua representan un descenso del peso comercial y por tanto una disminución de su valor en el mercado. Pérdidas de sólo un 5% marchitan y arrugan numerosos productos, lo que en ambientes secos y cálidos puede ocurrir en una pocas horas. Incluso sin que lleguen a marchitarse las pérdidas de agua disminuyen la tendencia a crujiar al ser masticados los productos.

En contraste con las condiciones que promueve la deshidratación, las que llevan consigo una humidificación resultan en pérdidas desastrosas

en algunos de los productos. La humidificación facilita el crecimiento de los microorganismos responsables de la putrefacción y en algunos casos promueve la desintegración física del producto (Bidwell, 1993).

Los métodos disponibles para aminorar las pérdidas de agua se hallan limitados a reducir la capacidad de absorción de agua del aire con el que están en contacto las frutas, descendiendo su temperatura o aumentando su humedad, es decir, reduciendo la diferencia de presión de vapor entre la fruta y el aire circundante, o a interponer una barrera que impida o dificulte el paso del agua.

Los bananos madurarán mejor a humedades relativas de al menos un 90 % ya que no sólo ofrecen mejor aspecto, al no arrugarse, sino también una calidad interna superior (Adel A. Kader, 1996).

La velocidad del aire sobre el producto es un factor importante en la determinación de las pérdidas de agua. Cuando la velocidad del aire sobre la superficie de la fruta es mayor, el producto perderá más agua. Por tanto, puede reducirse el ritmo de las pérdidas de agua restringiendo la velocidad del aire.

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

En el país se utiliza carburo de calcio, el cual libera acetileno cuando es humedecido, para inducir la maduración. Esto presenta inconvenientes tales como maduración no uniforme, necesidad de cámaras de almacenamiento, entre otros aspectos.

Los pequeños productores de banano necesitan de una técnica que les permita de forma práctica, rápida, barata y confiable alcanzar los grados de maduración de consumo de la fruta y poder así ofrecer un producto de la mejor calidad posible al consumidor. La maduración acelerada con etefón podría dar respuesta a esta necesidad. El diseño de experimento nos ayudará a definir el mejor procedimiento a seguir para la maduración acelerada con etefón.

2.1. ¿Qué es el 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 que pueden ser vigiladas y corregidas por el experimentador), mientras que otras son incontrolables (las cuales no pueden ser vigiladas o corregidas por el experimentador, aunque pueden ser fijadas para fines de un experimento). Posteriormente se realiza un análisis estadístico con los datos obtenidos del experimento para determinar el efecto de dichos cambios.

Entre los objetivos del Diseño Experimental pueden incluirse:

- Determinar que variables tienen mayor influencia en la variable 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) 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 (Baird, 1991).

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".

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 Diseño Experimental (Kuehl 2001).

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.

2.2. Conceptos fundamentales del diseño de experimentos

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

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 servicio) a la cual se asigna y se aplica un tratamiento.

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 no en otras.

Respuesta Experimental

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

Factor

Es la variable cuyo efecto sobre la respuesta experimental es el interés del estudio. Por ejemplo: temperatura, tiempo, etc.

Niveles

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

Tratamiento

Un tratamiento es la combinación de niveles de 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.

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 a más factores.

Validez Experimental

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

Confiabilidad Experimental

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

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.

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, o estado del equipo.

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.

Réplica

Es una ejecución del experimento bajo las condiciones de tratamientos y controles, establecidas en el mismo. La replicación es la repetición del experimento bajo idénticas condiciones, esto es equivalentes tratamientos y controles.

2.3. El experimento

La justificación de este experimento se basa en la necesidad de contar en el país con tecnologías apropiadas, para el correcto manejo poscosecha de bananos que se comercializan en fresco y que sean competitivas para los productores, además de proporcionar información tecnológica relacionada con la maduración acelerada de banano y datos sobre la respuesta fisiológica de bananos tratados con etefón.

2.3.1. Descripción del experimento

El experimento consistió en determinar condiciones adecuadas de maduración acelerada de banano utilizando etefón como agente madurador.

Los bananos tipo cavendish fueron cosechados en la finca “El Porvenir” ubicada en la provincia de EL ORO, Pasaje en julio del 2005, a las 14 semanas después del enfunde. Un día después del corte estos se llevaron a Guayaquil para recibir el tratamiento, porque se considera que sería el tiempo promedio que se demoraría el banano de los productores en recibir el tratamiento en

las fincas, con lo cual estaríamos considerando la situación más real posible.

Los frutos fueron clasificados en lotes de 4 bananos, en los galpones de la empresa "Forcontesa" al norte de la ciudad. Todos aquellos bananos que mostraran evidencias de daños físicos y/o infestación no fueron contados para el experimento. Los bananos empleados presentaban un color verde, firmes al tacto y con un intervalo de peso entre 150 Y 200 gramos cada uno.

Las muestras ya tratadas fueron almacenadas a temperatura ambiente en los galpones de la industria "Forcontesa. Se registró adicionalmente la temperatura y humedad relativa del aire utilizando un termohigrómetro digital que almacenaba las temperaturas y humedades máximas y mínimas del lugar donde se realizó el experimento.

El termohigrómetro digital utilizado es marca Omega el cual se aprecia en la FIGURA 2.1, modelo RH411 con un rango de medición de -18°C a 49°C a una resolución de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ para la temperatura. Para el caso de la humedad el rango es de 5% al 99% con una resolución de $\pm 3\%$.

Los frutos permanecieron almacenados a temperatura de entre 29 +/- 2 °C y a humedad relativa de aire de 60 +/- 5%, hasta que la primera muestra alcanzó el grado de madurez.

FIGURA 2.1
TERMOHIGROMETRO DIGITAL



Fuente: Arturo Ordóñez Moreno

Por razones de diseño del experimento se consideró adecuado no incluir el día como un factor dentro del diseño, sino que nos basamos en el grafico de maduración dividido en 7 etapas tal como se muestra en el GRAFICO 2.1. Con el objetivo de realizar las

mediciones cuando la primera muestra alcance el nivel de maduración 6 descrito en el gráfico.

Al mismo tiempo se dejó madurar un lote de frutos (testigo) en forma natural sin aplicación de etefón.

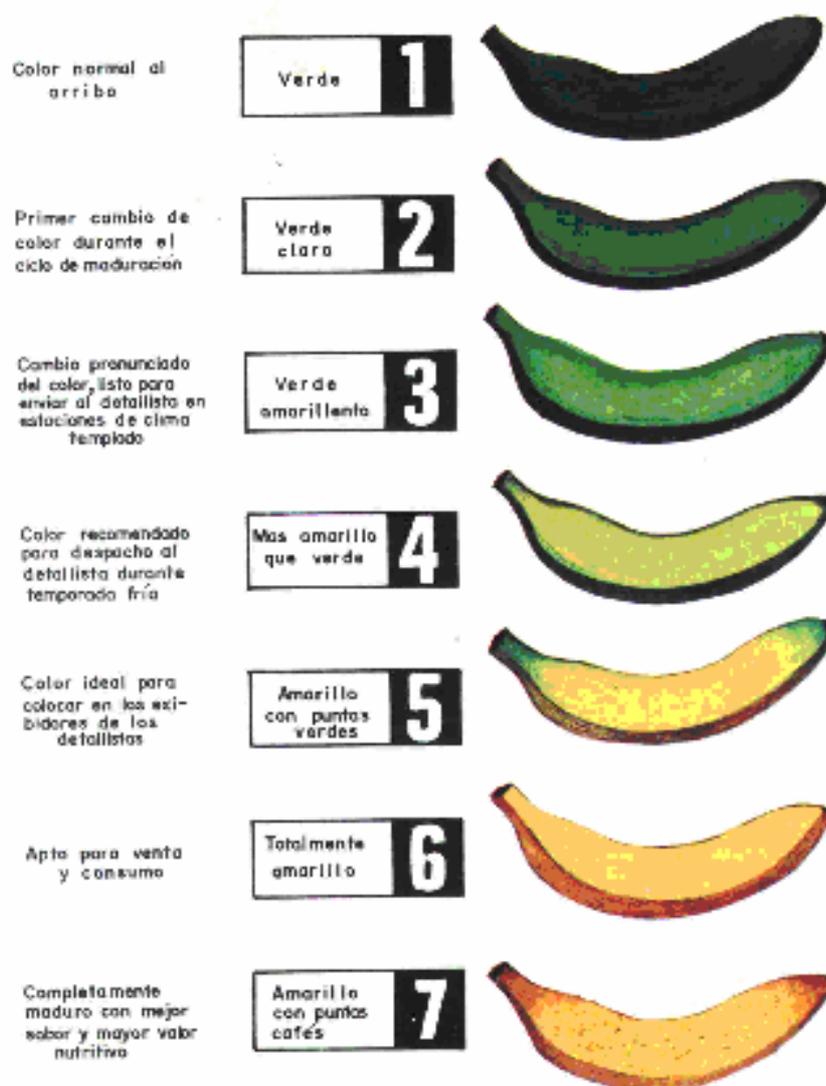
2.3.2. Objetivo del experimento

Los objetivos del experimento serán:

- Presentar una alternativa a los métodos comunes de maduración que se utilizan en el país.
- Presentar un proceso tecnológico que sea asequible al nivel económico del agricultor.
- Conocer como intervienen las diferentes variables dentro del proceso de maduración acelerada con etefón.
- Conocer que variables tienen mayor influencia en la maduración de banano.
- Determinar un nivel adecuado de los factores controlables que influyen en la variable respuesta.

GRAFICO 2.1

CLASIFICACION DE LA FRUTA DE ACUERDO A SU GRADO DE MADURACION



Fuente: Procesos fisiológicos y sistemas de postcosecha. Carlos Demerutis P. Costa Rica. 1996.

2.3.3. Elección de factores que intervienen en el experimento

Fueron 4 los factores que consideramos intervendrían en nuestro experimento, a continuación los enumeraremos y definiremos el porque la elección de los niveles:

Concentración de agente madurador.- El producto que utilizamos para nuestro experimento fue ETHREL que es el nombre comercial del etefón, el cual induce la maduración en frutas climatéricas. Los niveles a los que se utilizaron son:

- 1000 ppm; por ser la dosis recomendada por la casa fabricantes para la maduración de frutos. Para nuestro producto que contiene 480 gramos de ingrediente activo por litro, utilizaremos 208 ml para 100 litros de agua
- 2000 ppm; queremos analizar si un aumento en la concentración afecta gravemente al proceso de maduración. En este caso utilizaremos 416 ml de ethrel en 100 litros de agua.

Lavado.- El objetivo es realizar una limpieza al banano, lavándolo con detergente doméstico, para remover presencia de látex y suciedad. Se espera que el lavado con detergente reduzca la ocurrencia de enfermedades y de látex, el cual causa lesiones en la cáscara que se manifiestan en forma de manchas oscuras en el fruto maduro. Los niveles que utilizamos fueron los siguientes:

- Sin Tratamiento; para poder analizar si la ausencia de este tratamiento provoca algún efecto en el proceso de maduración.
- Con Tratamiento; se aplicara el proceso detallado anteriormente utilizando 100 gramos de detergente para 100 litros de agua

Tiempo de inmersión.- Es el tiempo que estará sumergida la fruta en el agente madurador, para este factor utilizamos valores arbitrarios. Se pretende analizar si es mas conveniente aumentar concentración o aumentar el tiempo de contacto con el agente madurador por lo que nuestros niveles fueron:

-5 minutos; este valor se lo tomo en base a pruebas realizadas anteriormente, ya que no se cuenta con información técnica sobre este proceso.

-10 minutos; ya que queremos analizar que tanto influye el tener la fruta durante más tiempo sumergida en el agente madurador.

Aplicación de fungicida.- En algunos casos el rechazo de banano de exportación ha sido tratado con fungicida para evitar la pudrición de la corona. Los niveles que utilizamos para este tratamiento fueron los siguientes:

- Con fungicida; para este experimento utilizaremos benlate a concentración recomendada por el fabricante de 40 gramos para

100 litros de agua pura, con el objetivo de determinar si el tratamiento con fungicida interacciona con el etefón, provocando algún efecto en la maduración

-Sin fungicida; necesitamos evaluar si el etefón ayuda en algo a prevenir la pudrición de la corona.

2.3.5. Metodología

- 1.- Se escogió el lugar donde se almacenaron las muestras.
- 2.- Se dividió y etiquetó las muestras (32 muestras) cada muestra de 4 bananos.
- 3.- Se pesó cada muestra y se llevó registro.

TABLA 5
CONTENIDO DE LAS BANDEJAS UTILIZADAS EN EL
EXPERIMENTO

Bandeja 1		Bandeja 2		Bandeja 3		Bandeja 4	
8 litros		8 litros		8 litros		8 litros	
Etefón 2000ppm	Con fungicida	Etefón 2000ppm	Sin fungicida	Etefón 1000ppm	Con fungicida	Etefón 1000ppm	Sin fungicida

Elaborado por: Arturo Ordóñez Moreno.

- 4.- Se prepararon las mezclas en bandejas como lo indica la TABLA 5, considerando las posibles combinaciones entre factores y niveles.

5.- Para nuestro experimento utilizamos un diseño factorial 2^4 con replica. Esto es 4 factores a 2 niveles cada factor como se observa en la TABLA 6. Para el experimento cada muestra compuesta de 4 bananos recibió el tratamiento respectivo según tabla aleatoria, que se presenta en la TABLA 7. Así por ejemplo si la muestra a tratar era la numero 32 , a los bananos a tratar no se los lavaba, y se los sumergía en al bandeja que contenía la solución con 1000 ppm de etefón sin fungicida (bandeja 4) durante un tiempo de 10 minutos.

TABLA 6

FACTORES Y SUS NIVELES

FACTOR	Niveles -	Niveles +
Concentración etefón	1000 ppm	2000 ppm
Lavado	Sin lavar	lavados
Fungicida	Sin fungicida	Con fungicida
Tiempo de inmersión	5 minutos	10 minutos

Elaborado por: Arturo Ordóñez Moreno.

TABLA 7

TABLA ALEATORIA DEL EXPERIMENTO

Orden estadístico de las muestras	# Muestra	Lavado	Concentración de etefón (ppm)	Fungicida	Tiempo inmersión (min)
15	1	lavado	1000	con fungicida	10
7	2	lavado	1000	sin fungicida	10
26	3	sin lavado	2000	con fungicida	5
17	4	sin lavado	1000	sin fungicida	5
22	5	sin lavado	2000	sin fungicida	10
12	6	lavado	2000	con fungicida	5
11	7	lavado	1000	con fungicida	5
18	8	sin lavado	2000	sin fungicida	5
1	9	sin lavado	1000	sin fungicida	5
25	10	sin lavado	1000	con fungicida	5
30	11	sin lavado	2000	con fungicida	10
4	12	lavado	2000	sin fungicida	5
6	13	sin lavado	2000	sin fungicida	10
28	14	lavado	2000	con fungicida	5
8	15	lavado	2000	sin fungicida	10
9	16	sin lavado	1000	con fungicida	5
10	17	sin lavado	2000	con fungicida	5
24	18	lavado	2000	sin fungicida	10
20	19	lavado	2000	sin fungicida	5
23	20	lavado	1000	sin fungicida	10
16	21	lavado	2000	con fungicida	10
13	22	sin lavado	1000	con fungicida	10
5	23	sin lavado	1000	sin fungicida	10
27	24	lavado	1000	con fungicida	5
14	25	sin lavado	2000	con fungicida	10
31	26	lavado	1000	con fungicida	10
32	27	lavado	2000	con fungicida	10
3	28	lavado	1000	sin fungicida	5
19	29	lavado	1000	sin fungicida	5
2	30	sin lavado	2000	sin fungicida	5
29	31	sin lavado	1000	con fungicida	10
21	32	sin lavado	1000	sin fungicida	10

Fuente: Minitab 14.

En total 32 corridas experimentales a tratar para un experimento de 2^4 con replica.

6.- Se almacenaron las muestras a temperatura ambiente

7.- Se registraron temperatura y humedad durante el experimento.

8.- Cuando se presentó la primera muestra en grado de madurez 6 de nuestra tabla se procedió a realizar las mediciones de sólidos solubles en el laboratorio de hidrocarburos del Instituto de Ciencias Químicas (ICQ), y la acidez y peso de las muestras se determinaron en el laboratorio de microbiología de Alimentos de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) .

9.- Se analizaron los resultados 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.

2.3.4. Variable respuesta de nuestro experimento

Para nuestro experimento utilizamos como variables respuesta, el contenido de sólidos solubles, la acidez titulable para conocer el estado de madurez del banano.

Contenido de azúcares

El contenido de azúcar se puede medir directamente por procedimientos químicos pero, resulta más fácil e igualmente útil determinar los sólidos solubles totales en el jugo extraído, con ayuda de refractómetros. Los patrones o normas de madurez del banano están frecuentemente basados en el contenido de sólidos solubles.

FIGURA 2.2

REFRACTOMETRO UTILIZADO EN EL EXPERIMENTO



Fuente: Arturo Ordóñez Moreno

Se determinó la cantidad de sólidos solubles del jugo extraído de la pulpa de los frutos mediante un refractómetro a 20°C (ANEXO A).

Los resultados obtenidos se reportaron como (%) de sólidos solubles (AOAC, 1990). Utilizando un refractómetro ABBE marca Bausch & Lomb, modelo CATN 33.45.71 que tiene un rango de medición de 0 a 85% de sólidos solubles con una resolución de +/- 0.1%, el mismo que se puede apreciar en la FIGURA 2.2

Acidez titulable

La acidez titulable se determina en el jugo extraído. Durante la maduración fisiológica y organoléptica decae con frecuencia de un modo muy rápido. La comestibilidad de la fruta suele estar mejor correlacionada con el cociente azúcar/ácido, o sólidos solubles totales/ácido, que con las tasas de azúcar o ácidos sólo. La acidez titulable se determinó como % de ácido maleico por gramo de jugo de pulpa de los bananos como ácido predominante (Josylin, 1970). Se realizó por titulación con NaOH 0.1 N de acuerdo al método establecido por la AOAC en 1990.(ANEXO B)

Perdida de peso

Se analizará el porcentaje de pérdida de peso debido a cada tratamiento, esto se lo realizará pesando las muestras al inicio y al final de los experimentos.

Análisis organoléptico

Las características organolépticas tales como textura, color, olor y sabor se evaluaron por medio de pruebas sensoriales, utilizando pruebas de rango con un panel conformado por 10 personas, mediante un método de estadística no paramétrica se estableció una escala hedónica en donde se pueden analizar datos cualitativos y muestras pequeñas

CAPÍTULO 3

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta y analiza los resultados obtenidos de la aplicación del Análisis de Varianza al modelo lineal estadístico del Diseño Experimental de esta tesis. El modelo en consideración consta de 4 factores sometidos cada uno a 2 niveles, por lo cual estamos ante la presencia de diseño factorial 2^k , en nuestro caso un diseño 2^4 con replica, para el cual se realizarán 32 experimentos y se obtendrán como variable respuesta el índice de madurez (IM) de cada uno.

Para el análisis de los resultados se utilizó el software estadístico MINITAB 14 para versión Windows, el cual es una herramienta informática, que nos facilita de manera eficiente la obtención de resultados válidos.

3.1. Análisis de varianza del experimento: La Tabla ANOVA

Para analizar los resultados en la tabla ANOVA se utilizó el índice de madurez del banano (IM) como variable respuesta. El cual es una relación entre el contenido de azúcares, el cual se expresa en ° Brix y la acidez del fruto.

$$\text{Índice de madurez (IM)} = \text{°Brix} / \text{acidez}$$

TABLA 8

Respuesta del experimento

MUESTRA	° BRIX	ACIDEZ (g/100g)	INDICE DE MADUREZ	MUESTRA	° BRIX	ACIDEZ (g/100g)	INDICE DE MADUREZ
1	19,5	0,849	22,97	17	21,3	0,857	24,85
2	18,6	1,108	16,78	18	20,4	0,77	26,5
3	19,5	0,857	22,75	19	20,4	0,837	24,36
4	11,4	0,947	12,03	20	19,5	0,904	21,57
5	19,5	0,832	23,44	21	19,5	0,78	24,99
6	19,5	0,92	21,2	22	19,2	0,814	23,58
7	12	1,109	10,82	23	7,2	0,792	9,1
8	19,5	0,903	21,61	24	4,5	0,679	6,63
9	19,5	0,883	22,09	25	19,8	0,815	24,3
10	19,5	0,858	22,73	26	19,8	0,927	21,35
11	18,6	0,498	37,38	27	19,5	0,879	22,17
12	18,6	0,948	19,63	28	19,8	0,88	22,51
13	18,6	0,883	21,07	29	20,4	0,972	20,98
14	19,5	0,925	21,09	30	19,5	0,725	26,91
15	19,5	0,812	24,01	31	17,7	0,86	20,58
16	18,9	0,903	20,93	32	15	1,017	14,75

Elaborado por: Arturo Ordóñez Moreno.

Las variables respuesta de las corridas experimentales luego de realizados los experimentos se presenta en la TABLA 8.

A continuación se presenta la denominada Tabla de Análisis de Varianza, la cual es un compendio que contiene todos y cada uno de los resultados que se obtiene en dicho análisis.

TABLA 9

TABLA DE ANALISIS DE VARIANZA DEL EXPERIMENTO

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		211,14	6,529	32,34	0,000
concentración	60,54	30,27	6,529	4,64	0,000
lavado	-12,84	-6,42	6,529	-0,98	0,340
tiempo inmersiòn	20,89	10,44	6,529	1,60	0,129
fungicida	13,11	6,56	6,529	1,00	0,330
concentración*lavado	-10,11	-5,06	6,529	-0,77	0,450
concentración*tiempo inmersiòn	5,94	2,97	6,529	0,45	0,655
concentración*fungicida	0,89	0,44	6,529	0,07	0,947
lavado*tiempo inmersiòn	20,51	10,26	6,529	1,57	0,136
lavado*fungicida	-44,51	-22,26	6,529	-3,41	0,004
tiempo inmersiòn*fungicida	37,01	18,51	6,529	2,83	0,012
concentración*lavado* tiempo inmersiòn	-18,86	-9,43	6,529	-1,44	0,168
concentración*lavado*fungicida	17,89	8,94	6,529	1,37	0,190
concentración*tiempo inmersiòn* fungicida	-16,46	-8,23	6,529	-1,26	0,226
lavado*tiempo inmersiòn*fungicida	0,94	0,47	6,529	0,07	0,944
concentración*lavado* tiempo inmersiòn*fungicida	-25,61	-12,81	6,529	-1,96	0,067

Fuente: Minitab

Cualquier paquete de cómputo genera una tabla de análisis de varianza igual a la TABLA 9, en donde en la primera columna tenemos a los

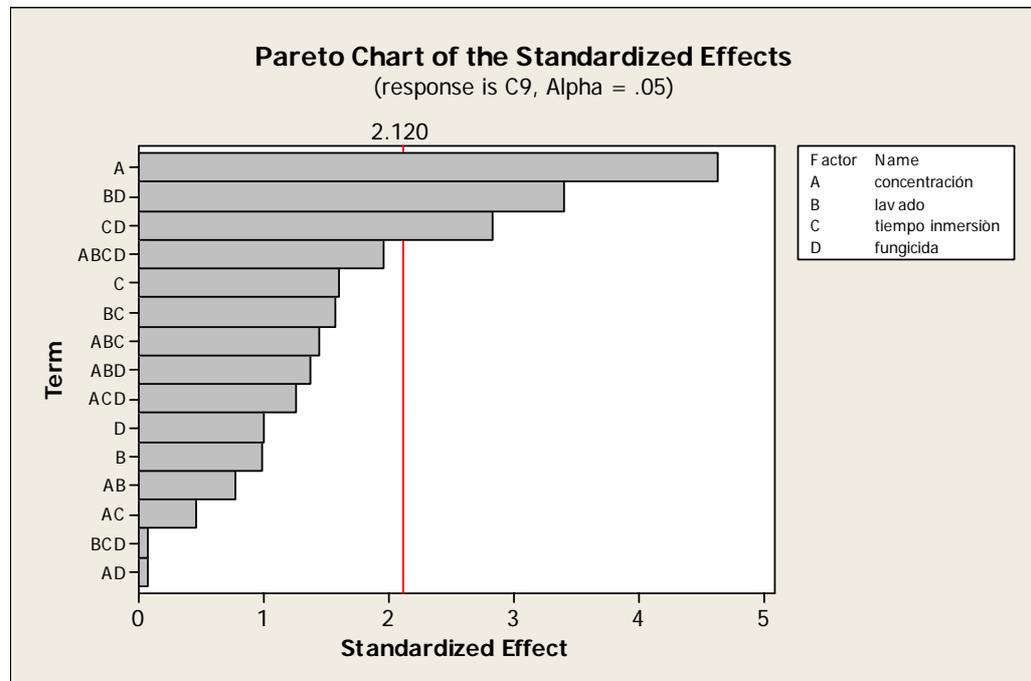
factores, en la segunda columna a los efectos de los factores, la tercera y cuarta columna nos muestra la suma de cuadrados y cuadrados medios de cada factor.

Una de las ventajas que nos da MINITAB 14 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 de cada contraste en la última columna de la tabla Anova, 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.

Realizando un análisis preliminar podemos observar a través de los niveles de significancia de los factores y mencionar que el único efecto principal que obtuvo diferencia significativa estadística entre las medias de sus tratamientos es el factor concentración de etefón, es decir, que se rechaza la hipótesis de igualdad de medias entre los tratamientos de ese factor y se concluye que la concentración de etefón afecta significativamente al índice de madurez durante la maduración acelerada de banano con etefón.

GRAFICO 3.1

GRAFICO PARETO DE LOS EFECTOS



Fuente: Minitab

También podemos observar en el GRAFICO 3.1 que los efectos de la interacción de los factores lavado fungicida (BD) y tiempo de inmersión fungicida (CD) tienen diferencia significativa a pesar de que individualmente estos factores no tienen efectos significativos sobre la variable respuesta.

Con el resto de los factores e interacciones se determina que no existe diferencia, es decir que no se rechaza la hipótesis de igualdad de medias de sus tratamientos, lo que conlleva como resultado que ninguno

de los factores afecta significativamente al aumento del índice de madurez durante la maduración acelerada de banano.

Otro resultado importante que se obtuvo es el coeficiente R^2 , el cual fue 0.78, 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 22% de la variabilidad en el índice de madurez del banano se encuentra ya sea en las variables controlables del proceso no consideradas en el modelo o en las variables incontrolables del proceso.

Sin embargo estos no son los resultados finales ya que para depurar el modelo eliminamos las interacciones de tres o más, debido a que se conoce que en la práctica generalmente no se dan interacciones de tres o más. De la misma forma como podemos ver que existen interacciones de dos que poseen un valor p muy alto, de tal manera que se puede aumentar al error dichas interacciones para así mejorar el modelo.

El objetivo de depurar el modelo es obtener mayores grados de libertad y poder apreciar de mejor manera los efectos principales y los efectos de las interacciones de dos. El modelo depurado es el que se aprecia en la TABLA 10.

TABLA 10

TABLA DE ANALISIS DE VARIANZA DEL MODELO DEPURADO

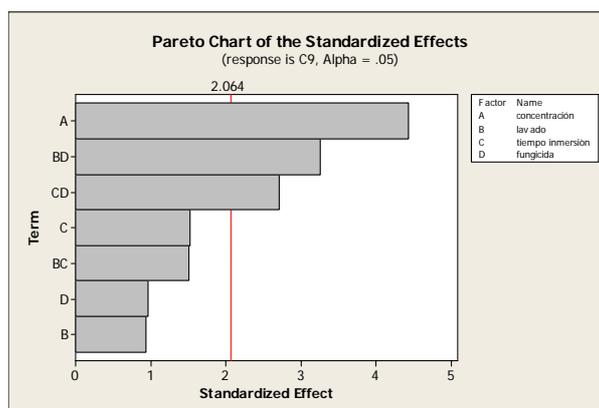
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		211.14	6.824	30.94	0.000
concentración	60.54	30.27	6.824	4.44	0.000
lavado	-12.84	-6.42	6.824	-0.94	0.356
tiempo inmersiòn	20.89	10.44	6.824	1.53	0.139
fungicida	13.11	6.56	6.824	0.96	0.346
lavado*tiempo inmersiòn	20.51	10.26	6.824	1.50	0.146
lavado*fungicida	-44.51	-22.26	6.824	-3.26	0.003
tiempo inmersiòn*fungicida	37.01	18.51	6.824	2.71	0.012

Fuente: Minitab

Habiendo ya aumentado al error las interacciones antes descritas, se depuraron los datos pero no se logró obtener como resultado que otro factor principal se convierta en significativo. Los únicos efectos significativos fueron los mismos que anteriormente demostraron que si lo eran (A, BD, CD) como se puede apreciar en el GRAFICO 3.2

GRAFICO 3.2

GRAFICO PARETO DE LOS EFECTOS DEL MODELO DEPURADO



Fuente: Minitab

3.2. Análisis de factores

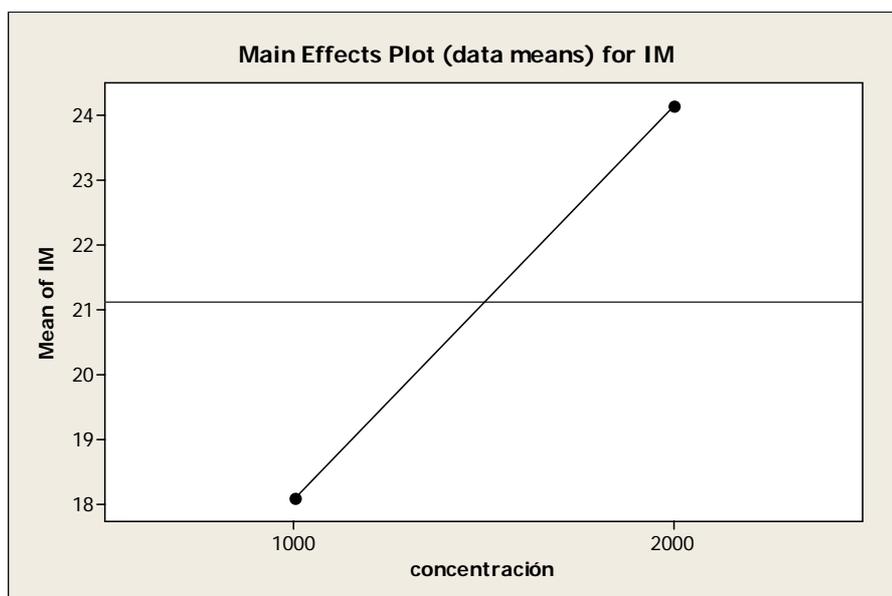
A continuación analizaremos como afecta cada nivel de los factores a la variable respuesta. Enfocando nuestro análisis en los factores e interacciones estadísticamente significativos. Este análisis se realizará a través de la comparación de medias para observar que nivel del factor influye más en la variable respuesta, para este caso el índice de madurez.

3.2.1. Concentración del agente madurador

Como vimos anteriormente el factor concentración de etefón, es el único factor que presenta diferencia significativa en el análisis de varianza, ahora vamos analizar que nivel del factor concentración es el más adecuado para aumentar el índice de madurez de los bananos.

Este GRAFICO 3.3 nos indica que al usar una concentración de 2000 ppm de etefón para el tratamiento la media del IM esta en 241, en cambio que si usamos la concentración de 1000 tenemos una reducción del IM a valores de 180.

GRAFICO 3.3
EFFECTOS DE LA CONCENTRACIÓN DE ETEFÓN SOBRE EL
INDICE DE MADUREZ



Fuente: Minitab

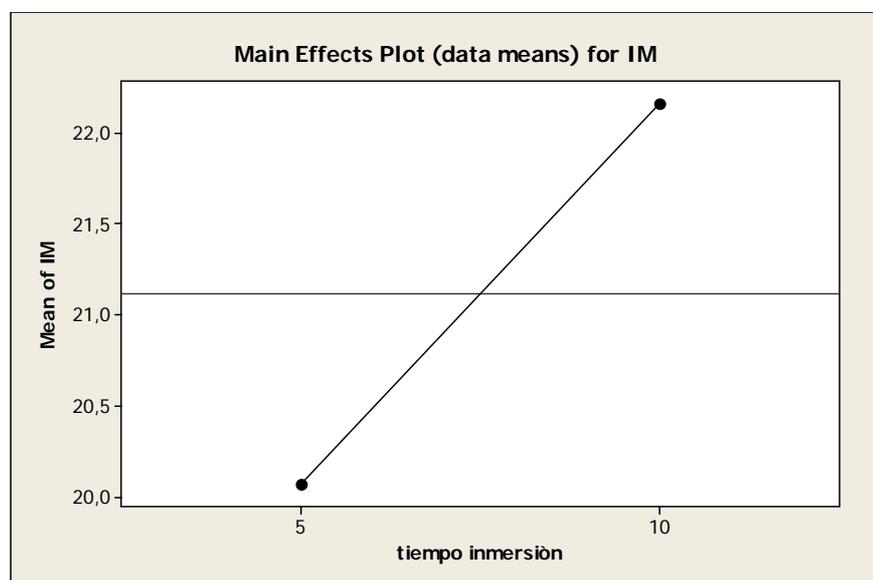
Es lógico por lo tanto que si buscamos acelerar la maduración de bananos el nivel más adecuado a utilizar del factor concentración es el de 2000 ppm de etefón.

3.2.2. Tiempo de inmersión

El factor tiempo de inmersión, no presenta diferencia significativa en el análisis de varianza, sin embargo analizamos que nivel del

factor es el más adecuado para aumentar el índice de madurez de los bananos.

GRAFICO 3.4
EFFECTOS DEL TIEMPO DE INMERSION SOBRE EL INDICE DE
MADUREZ



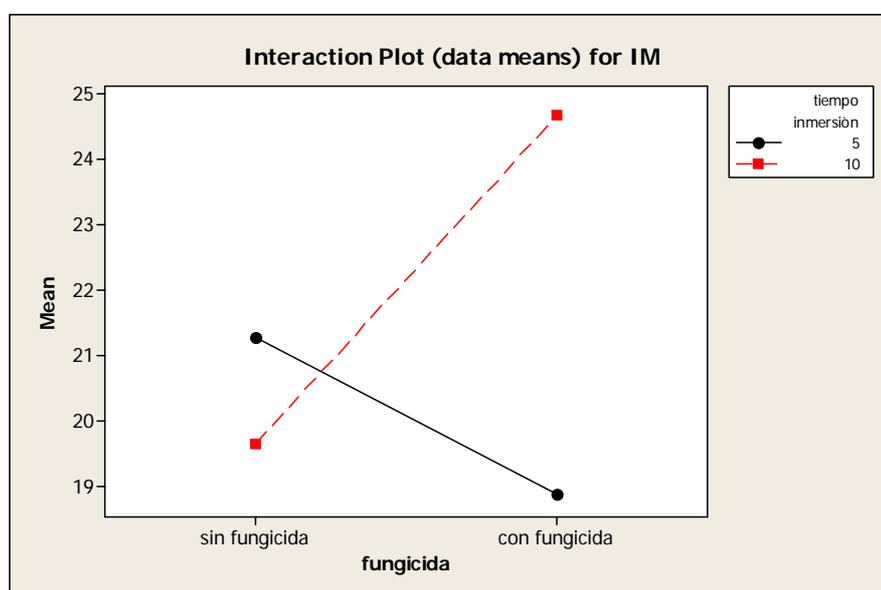
Fuente: Minitab

El GRAFICO 3.4 nos indica que usar un tiempo de inmersión de 10 minutos estamos aumentando en 2 unidades al IM en comparación a usar un tiempo de inmersión de 5 minutos.

Podemos comprobar por lo tanto que al aumentar el tiempo de inmersión el índice de madurez no sufre un incremento significativo.

Ahora es importante analizar la interacción tiempo de inmersión – fungicida, la cual si tuvo una diferencia significativa en el análisis de varianza, esta interacción se analizó con el GRAFICO 3.5

GRAFICO 3.5
EFFECTOS DE LA INTERACCION TIEMPO DE INMERSION –
FUNGICIDAD SOBRE EL INDICE DE MADUREZ



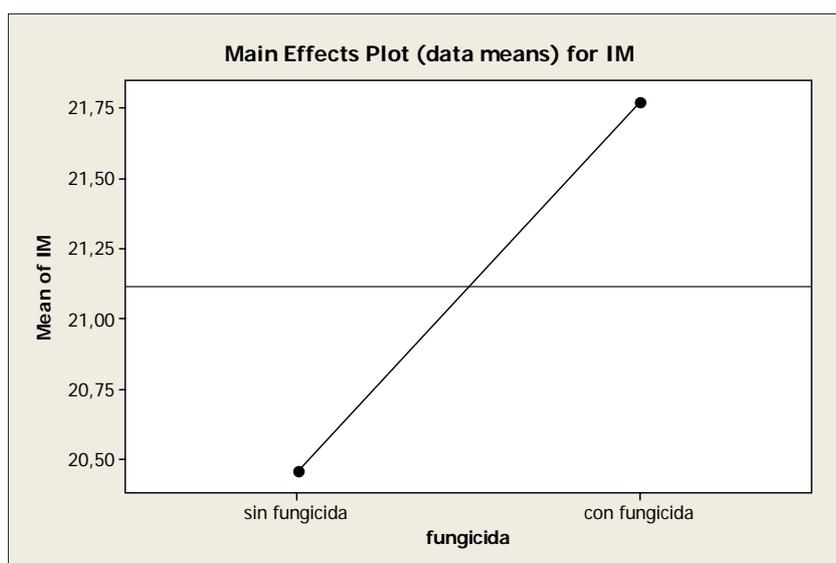
Fuente: Minitab

El GRAFICO 3.5 nos ilustra claramente que la interacción de un tiempo inmersión de 10 minutos con fungicida es la que logra el mayor aumento al IM en comparación a usar un tiempo de inmersión de 5 minutos con fungicida.

3.2.3. Fungicida

El factor fungicida, no presenta diferencia significativa en el análisis de varianza, sin embargo analizamos que nivel del factor es el más adecuado para aumentar el índice de madurez de los bananos.

GRAFICO 3.6
EFFECTOS DE LA APLICACIÓN DE FUNGICIDA SOBRE EL
INDICE DE MADUREZ

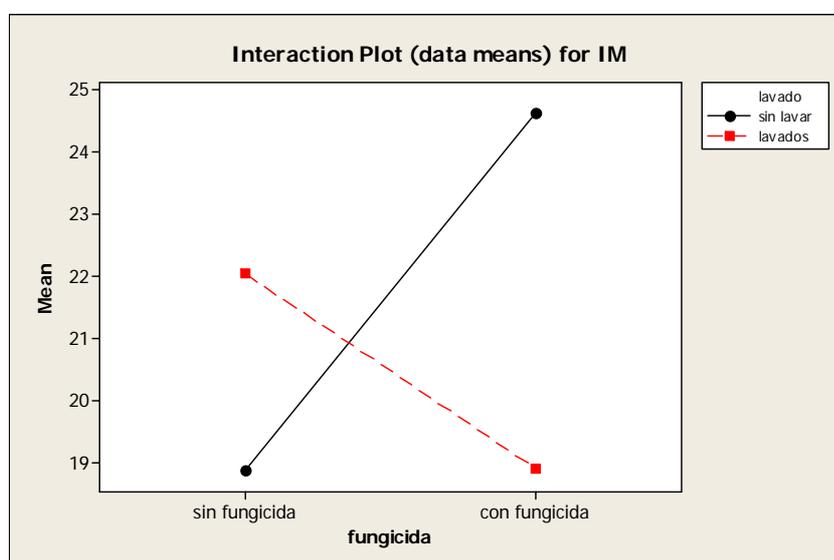


Fuente: Minitab

El GRAFICO 3.6 nos indica que al usar fungicida en el tratamiento estamos aumentando en 1.25 unidades al IM en comparación a realizar el tratamiento sin fungicida.

Sin embargo es muy importante analizar las interacción tiempo de inmersión fungicida y la interacción lavado fungicida, las cuales si tuvieron diferencia significativa en el análisis de varianza.

GRAFICO 3.7
EFFECTOS DE LA INTERACCION ENTRE LAVADO Y
FUNGICIDA SOBRE EL INDICE DE MADUREZ



Fuente: Minitab

En el GRAFICO 3.7 se evidencia que la mejor combinación para esta interacción es usar un tratamiento con fungicida y sin lavar la fruta, ya que es en esta combinación en donde se obtiene al valor más alto para el IM.

Como se observó en el GRAFICO 3.5 la mejor combinación para la interacción fungicida – tiempo de inmersión, es utilizar un tratamiento con fungicida por un tiempo de inmersión de 10 minutos.

Todos estos análisis nos indican que el nivel más adecuado de este factor, para aumentar el índice de madurez en la maduración acelerada de banano tratado con etefón es utilizando fungicida en el tratamiento.

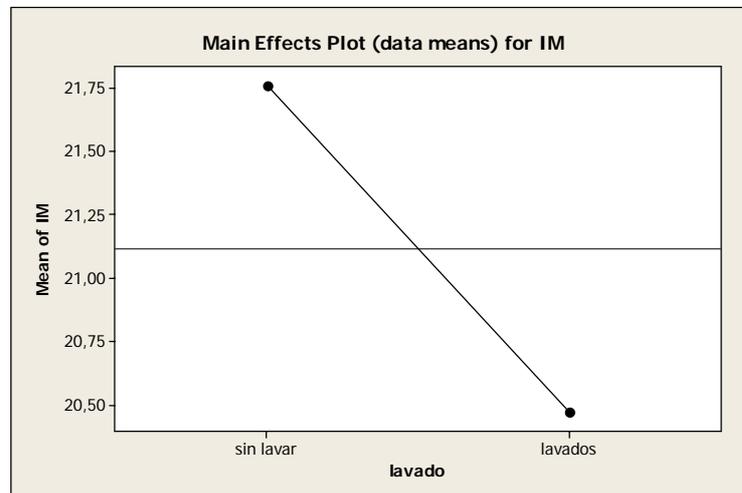
3.2.4. Lavado

El factor lavado, no presenta diferencia significativa en el análisis de varianza, sin embargo analizamos que nivel del factor es el más adecuado para aumentar el índice de madurez de los bananos.

El GRAFICO 3.8 nos indica que al lavar la fruta en el tratamiento estamos disminuyendo en 1.25 unidades al IM en comparación a realizar el tratamiento sin lavar.

GRAFICO 3.8

EFFECTOS DEL LAVADO SOBRE EL INDICE DE MADUREZ



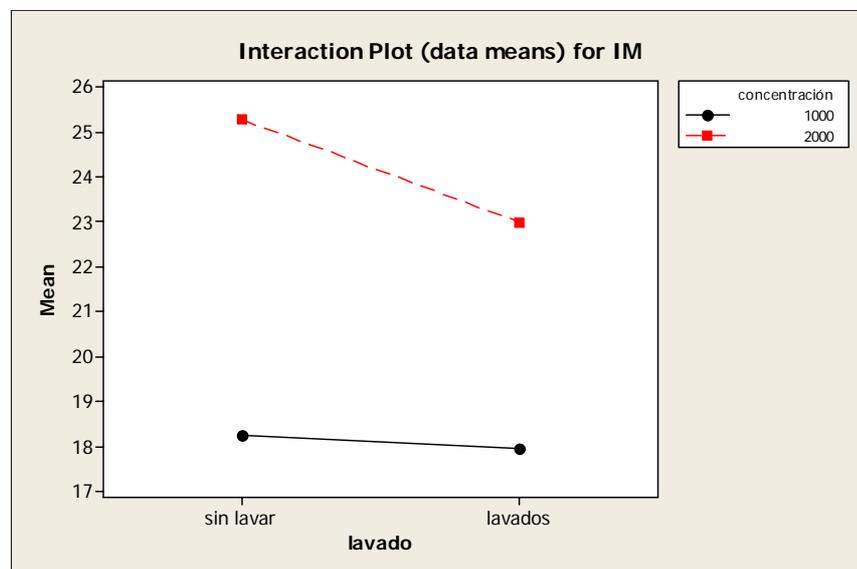
Fuente: Minitab

Sin embargo es muy importante analizar la interacción lavado fungicida, la cual si tuvo diferencia significativa en el análisis de varianza. Esa interacción se la analiza en el GRAFICO 3.7, en el cual se evidencia que la mejor combinación si vamos a utilizar fungicida no lavando el fruto.

Adicional a esto para tener mayor poder de decisión en la elección de que nivel elegir se analizó la interacción entre los factores lavado y concentración como se muestra en el GRAFICO 3.9, en este grafico se muestra que la mejor combinación de niveles para un

mayor IM es un tratamiento con una concentración de 2000 ppm de etefón y sin lavar.

GRAFICO 3.9
EFFECTOS DE LA INTERACCION ENTRE LAVADO Y
CONCENTRACION SOBRE EL INDICE DE MADUREZ



Fuente: Minitab

3.3. Comprobación de Idoneidad del Modelo

Para aplicar este modelo se deben cumplir cuatro requisitos, dos de los cuales son asegurados por el mismo modelo y son la aleatorización y el valor esperado de los errores sea igual a cero. Ahora nos corresponde realizar la comprobación de los otros requisitos del modelo, los cuales

son: normalidad e independencia de los errores de las observaciones experimentales.

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.

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 estimaciones son mostrados en la TABLA 11.

TABLA 11
OBSERVACIONES, RESIDUOS Y ESTIMACIONES

IM	RESIDUOS	ESIMACIONES	IM	RESIDUOS	ESIMACIONES
229,7	31,7	198	248,5	-9,5	258
167,8	-24,6	192,4	265	12,1	252,9
227,5	-30,5	258	243,6	-4,9	248,5
120,3	-56,5	176,8	215,7	23,4	192,4
234,4	33,7	200,7	249,9	-8,6	258,5
212	31,9	180,1	235,8	1	234,8
108,2	-11,4	119,6	91	-49,2	140,2
216,1	-21,2	237,3	66,3	-53,3	119,6
220,9	44,1	176,8	243	-52,3	295,3
227,3	29,9	197,4	213,5	15,5	198
373,8	78,5	295,3	221,7	-36,8	258,5
196,3	-52,2	248,5	225,1	37,1	188
210,7	10	200,7	209,8	21,8	188
210,9	30,8	180,1	269,1	31,8	237,3
240,1	-12,8	252,9	205,8	-29	234,8
209,3	11,9	197,4	147,5	7,3	140,2

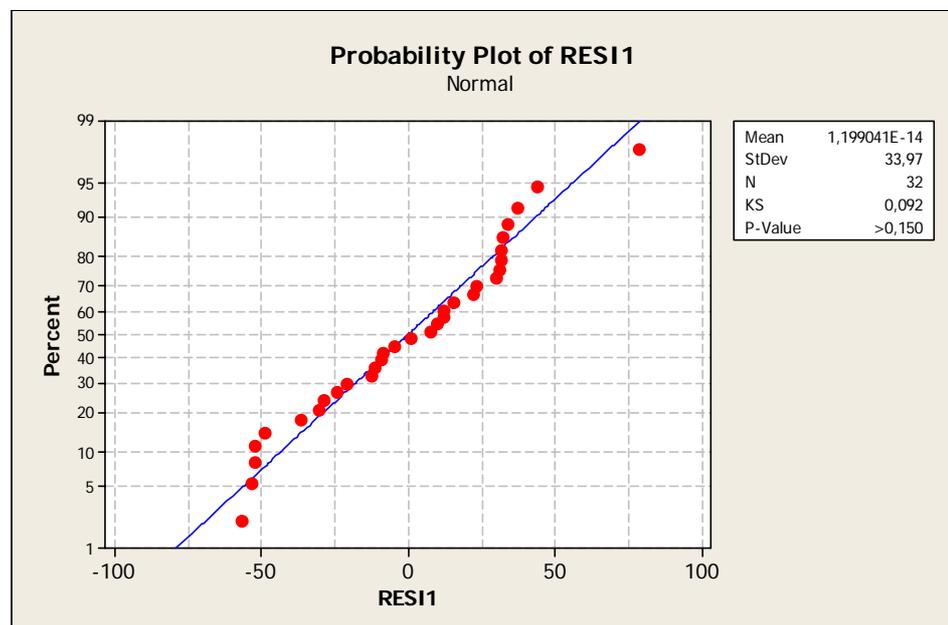
Fuente: Minitab

3.3.1. Supuesto de Normalidad

Mediante la aplicación de la prueba de Kolmogorov-Smirnov a los residuos, se comprueba que se cumple la normalidad de los errores, ya que el valor p de la prueba, es decir la probabilidad de equivocación al decir que los errores no son normales es grande (mayor que 0.15), por lo cual llego a la conclusión que los errores siguen un a distribución normal.

GRAFICO 3.10

PROBABILIDAD NORMAL DE LOS RESIDUOS

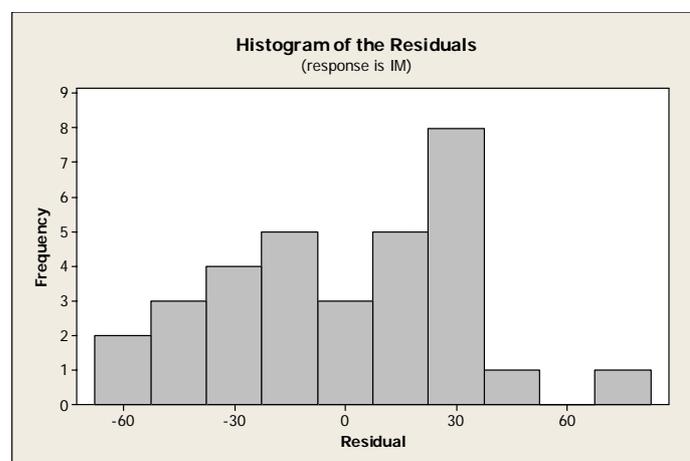


Fuente: Minitab

La verificación de este supuesto se la realiza también de manera grafica, mediante el grafico de probabilidad normal de los residuos y el histograma (gráfico 3.10 y 3.11)

GRAFICO 3.11

HISTOGRAMA DE LOS RESIDUOS



Fuente: Minitab

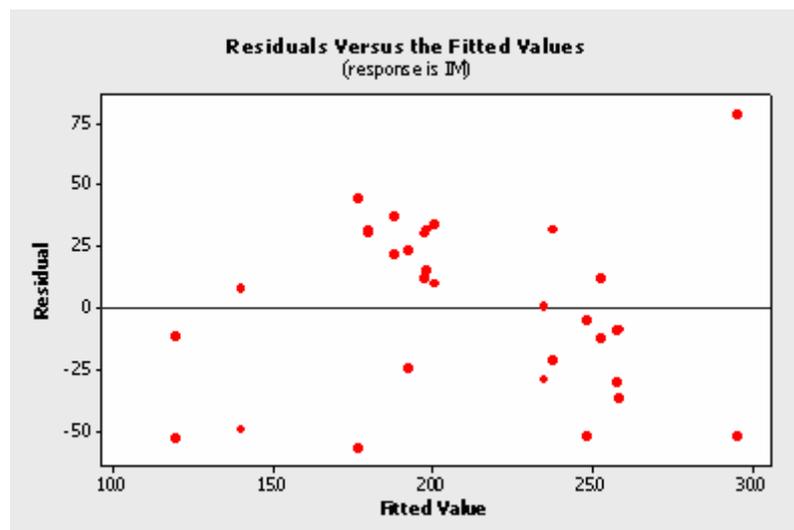
De dichos gráficos podemos concluir que los residuos provienen de una distribución normal centrada en cero, ya que el histograma de los mismos se asemeja al de la distribución antes descrita y el gráfico de probabilidad normal se asemeja al de una línea recta en papel probabilístico normal, razones por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

3.3.2. 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 (GRAFICO 3.12)

GRAFICO 3.12

ESTIMACIONES VS RESIDUOS EXPERIMENTALES



Fuente: Minitab

Observando este 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.

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DEL PROCESO

En este capítulo describiré el proceso de maduración acelerada de banano utilizando etefón, el cual libera etileno de la cáscara de los frutos.

Este proceso fue diseñado a partir de las conclusiones obtenidas del diseño experimental analizado en el capítulo 3. Esta técnica de bajo costo permite a los actores de la cadena agroalimentaria del banano, acceder a mercados ya sea para producción o consumo interno. Así mismo constituye una alternativa para madurar banano con calidad y en tiempo corto.

4.1. Materia prima

Este proceso de maduración se enfoca a ser utilizado para bananos que no alcanzaron la calidad de exportación, procedentes de las fincas exportadoras.

Es importante que los bananos seleccionados no presenten daños físicos, que puedan resultar en bananos maduros de mala calidad organoléptica. Se busca con esto eliminar a bananos que presenten cortes, o golpes visibles. Para evitar pudriciones cuando el banano alcance el grado de madurez comercial.

Se recomienda que los bananos sean agrupados en manos de máximo 5 dedos de bananos, para evitar que los bananos ya maduros se desprendan de la corona que los une. Disminuyendo con esto su calidad ya que se presentarán roturas en la unión con la corona. Como se muestra en la FIGURA 4.1

FIGURA 4.1

DESPRENDIMIENTO DE LA CORONA



Fuente: Arturo Ordóñez Moreno

Estas roturas se ocasionan principalmente cuando se transporta y manipula manos de bananos compuesta por más de 5 dedos de banano.

4.2. Preparación de la solución inductora

Para preparar la solución inductora se debe utilizar agua fría y limpia.

Aplicación del agente madurador.- Para un producto comercial conteniendo 480 g de etefón/litro se debe utilizar 416 mL para 100 litros de agua, con esto conseguimos una concentración de 2000 ppm en la solución.

Aplicación de fungicida.- A la solución preparada le agregamos el fungicida, que nos ayudará a prevenir la pudrición de la corona durante la maduración de la fruta. Para la prueba se utilizó benlate, agregando 40 gramos de benlate a los 100 litros de agua.

Se puede utilizar otro fungicida siguiendo las especificaciones del proveedor.

Esta solución permanece por más de 200 días según especificaciones técnicas, pudiendo ser reutilizada para la inducción de la maduración

durante este periodo. Este aspecto permite el acceso a la tecnología por parte de los agricultores familiares.

Se puede utilizar tanques de fibra de vidrio, plásticos o cemento para la solución inductora. Cuya capacidad y cantidad dependerá del volumen de bananos a ser tratadas. El recipiente no debe ser llenado hasta el borde pues al colocar los bananos ocurrirá un rebose de la solución inductora. Como regla general es recomendable llenar el recipiente hasta dos tercios de su capacidad.

Los bananos que quedan en la parte superior tienden a flotar. Por lo que para asegurar la uniformidad del tratamiento, es recomendable utilizar una tapa con la superficie inferior revestida en espuma sintética para mantener todos los bananos totalmente sumergidos en la solución.

La solución destinada a reutilización debe ser almacenada en el propio recipiente del tratamiento, manteniéndose tapado para evitar pérdidas de la solución por evaporación. A pesar de que la cáscara del banano absorbe pequeñas cantidades de solución inductora durante el tratamiento siempre ocurre pérdida de solución cuando las gavetas conteniendo los bananos son removidas del recipiente.

Cuando el nivel de la solución no alcance a cubrir todas las bananas, se puede completar el volumen con solución recién preparada a las mismas concentraciones de la anterior.

4.3. Descripción del proceso

Preproceso: Se busca que esta técnica se aplique a frutos provenientes de las empacadoras de bananos, por lo tanto esta etapa se la ha definido como preproceso y comprende.

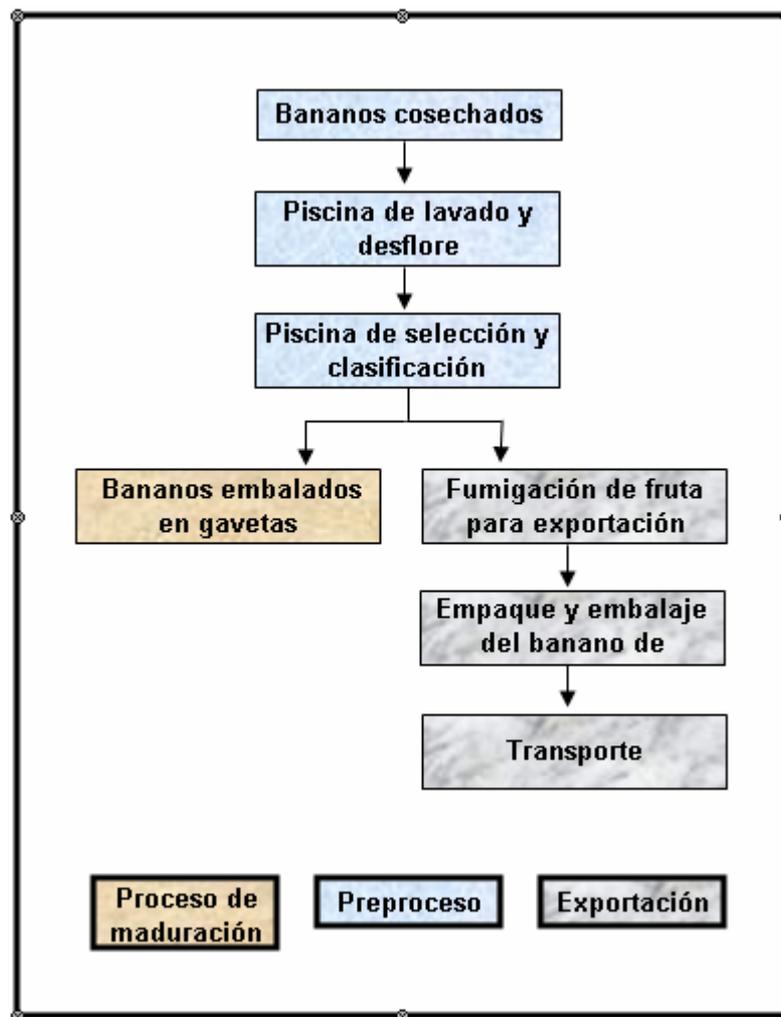
Recepción de materia prima.- Bananos tipo cavendish con 14 semanas desde el enfunde son llevados desde la finca a la planta empacadora de fruta para ser exportados.

Lavado y desflore.- Estos bananos ingresan a la primera piscina como se aprecia en el gráfico 4.1, en donde son lavados luego de la cosecha. Esta práctica se realiza en las empacadoras a las frutas recién cortadas para remover el látex, el cual se presenta causando manchas oscuras sobre la cáscara del banano. Durante este lavado se aprovecha para remover los restos florales de las extremidades de los frutos.

Por lo tanto como no será necesario realizar un lavado de las frutas antes de sumergirlas en la solución de etefón y fungicida.

GRAFICO 4.1

DIAGRAMA DE FLUJO EN UNA EMPACADORA DE BANANO

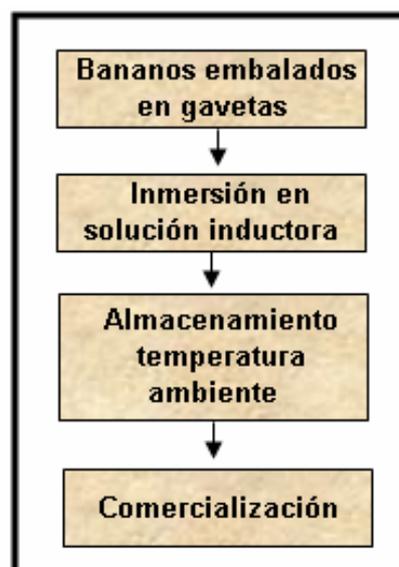


Elaborado por: Arturo Ordóñez Moreno

Proceso de maduración: En el GRAFICO 4.1 se aprecia claramente el proceso dentro de una empacadora de banano, con el objetivo de esclarecer la etapa del proceso dentro de la empacadora donde empezara el proceso de maduración de la fruta.

Embalaje de bananos.- En la empacadora luego de la selección y clasificación, el banano que se destinará a madurar deberá ser embalado en gavetas plásticas. Para seguir con el proceso de maduración como se esquematiza en el GRAFICO 4.2

GRAFICO 4.2
DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA MADURACIÓN DE BANANO CON
ETEFÓN



Elaborado por: Arturo Ordóñez Moreno

Inmersión en solución inductora.- El tratamiento de la inducción a la maduración consiste en sumergir las manos o dedos contenidos en las gavetas plásticas, en la solución que contiene etefón como inductor de la maduración y fungicida para evitar la pudrición de la corona por un tiempo recomendado de 10 minutos, pudiéndose reducir este tiempo a 5 minutos sin afectar significativamente a la maduración del fruto. Esta reducción del tiempo de inmersión se puede realizar si necesitamos disminuir el tiempo de proceso para aumentar la capacidad de maduración.

Almacenamiento.- Una vez tratados los bananos deben ser almacenados a temperatura ambiente, en locales con buena ventilación. Es necesario considerar que la temperatura de almacenaje afecta al tiempo de maduración, esto es cuanto mas alta, menor el tiempo para maduración. Es importante evitar temperaturas encima de los 30 °C ya que puede causar maduración aparente o sea cáscara amarilla pero pulpa con bajo grado ° Brix, quedando la fruta deshidratada debido a la excesiva pérdida de agua por transpiración.

Es importante recordar que en las pruebas de validación del proceso se consiguió una buena maduración acelerada con etefón a temperatura ambiente.

TABLA 12
REGISTROS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

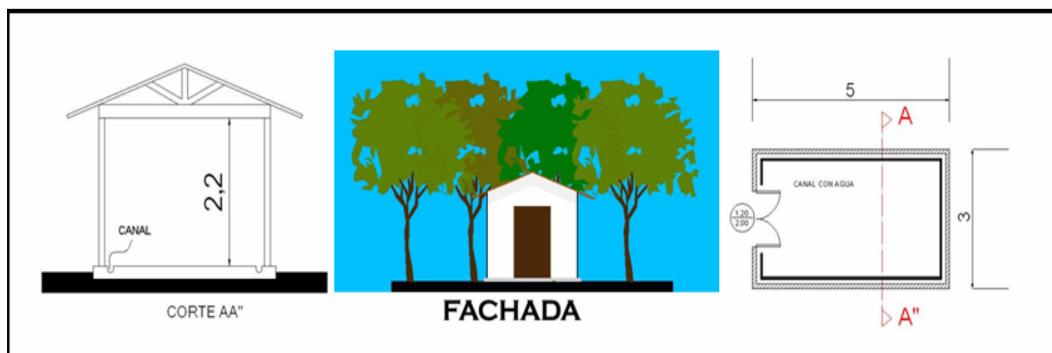
		día 1	día 2	día 3	día 4	día 5	día 6	día 7
ALTA	Temperatura	28 °C	27 °C	26 °C				
	Humedad	78%	75%	85%	84%	83%	73%	83%
BAJA	Temperatura	25 °C	24 °C	26 °C	26 °C	26 °C	26 °C	24 °C
	Humedad	55%	57%	63%	66%	57%	55%	61%

Elaborado por: Arturo Ordóñez Moreno

En la TABLA 12 se muestran los valores de temperatura y humedad mínimas y máximas registradas durante las pruebas. Las temperaturas altas son valores registrados a medio día cuando la temperatura del día es mayor y los valores bajos corresponden a temperaturas registradas durante las noches.

Si se dispone se pueden usar cámaras frigoríficas con control de humedad y temperatura. Pero esta facilidad no esta al alcance de los agricultores, debido a su alto costo adquisitivo y operacional. Se recomienda el uso de galpones ya existentes en las fincas o su construcción conforme se ilustra en el GRAFICO 4.3

GRAFICO 4.3
MODELO RECOMENDADO DE GALPON



Elaborado por: Arturo Ordóñez Moreno

Las dimensiones dependerán de la cantidad de banana a ser climatizada. Es muy importante que el galpón existente o construido deba estar localizado en un lugar con sombra, para evitar altas temperaturas que afectan la calidad del banano maduro. Las paredes pueden ser de malla plástica con la finalidad de que permita una buena ventilación y evitar la entrada de insectos y roedores. Otro factor muy importante que debemos considerar es la humedad relativa, ya que la baja humedad relativa del aire también disminuye la calidad del banano maduro, dando como resultado un banano poco atractivo visualmente, ya que se presentará con arrugas y sin brillo debido a alta deshidratación. Por este motivo se recomienda la construcción de zanjas impermeabilizadas o canales de PVC para colocar agua, la cual al evaporarse aumenta la humedad del galpón.

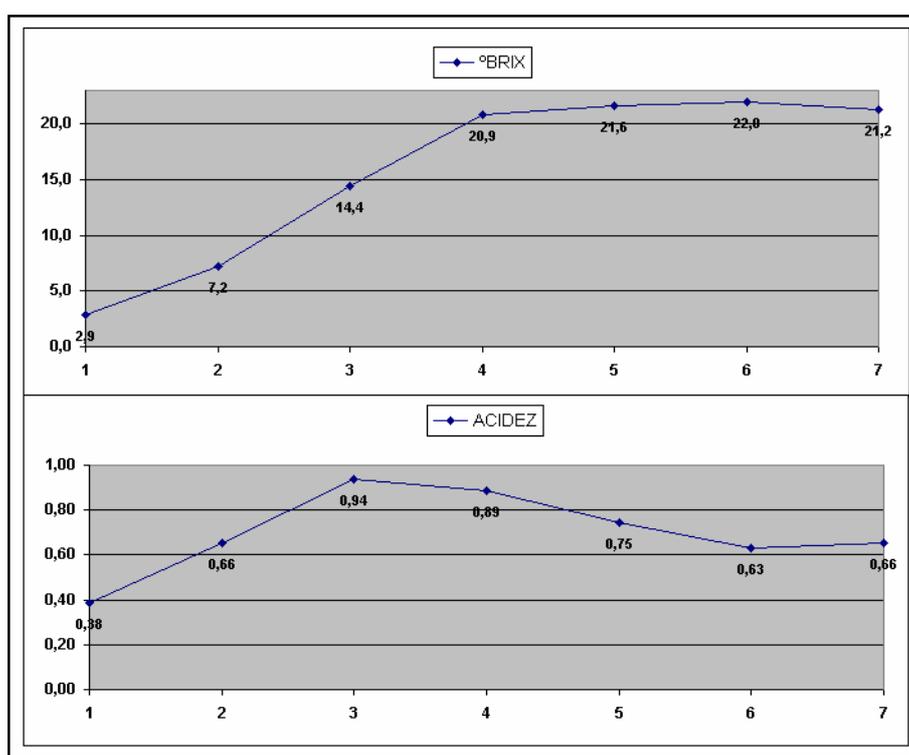
También se consigue aumentar la humedad relativa del aire, humedeciendo el piso del galpón con agua durante la mañana. Como se detalla en la TABLA 11 la humedad relativa durante las pruebas presentaba valores entre el 60 al 80 %, los cuales se elevaban luego de humedecer el piso con agua. Por lo tanto es importante que durante el almacenamiento mantener valores altos de humedad relativa cerca al 80% .Siendo importante para esto humedecer por lo menos 2 veces al día el piso de nuestro galpón de almacenamiento.

Con este tratamiento y almacenando la fruta a temperatura ambiente conseguimos un comportamiento del Brix y acidez como detallamos en el GRAFICO 4.4

En el gráfico se detalla el comportamiento del Brix y la acidez días después del tratamiento con la solución inductora a la maduración. Tomando como día 0 el día del tratamiento con la solución inductora.

En la mayoría de los frutos la acidez decrece gradualmente al acercarse la madurez, reducción que juega un papel muy importante en el balance acidez/azúcar y por lo tanto, influye en el sabor y aroma de los frutos.

GRAFICO 4.4
CAMBIO DE BRIX Y ACIDEZ DURANTE LA MADURACIÓN
ACELERADA DE BANANO CON ETEFON



Elaborado por: Arturo Ordóñez Moreno

En el caso del tratamiento de bananos con etefón la acidez de la pulpa de la fruta aumento a su pico máximo de 0.95 gr/100gr al tercer día de aplicado el tratamiento, decreciendo a su valor mínimo de 0.63 gr/100 gr al sexto día del tratamiento.

Con este tratamiento la fruta llega a estar totalmente amarilla al cuarto día del tratamiento, como se aprecia en la FIGURA 4.2. Pudiendo ser

comercializada a partir del 3 día para aumentar el tiempo de comercialización de la fruta.

FIGURA 4.2
CAMBIO DE COLOR DE LA CASCARA DURANTE LA MADURACION
ACELERADA DE BANANOS CON ETEFON



Elaborado por: Arturo Ordóñez Moreno

Al sexto día de haber recibido el tratamiento para inducir la maduración los bananos fueron sometidos a una evaluación sensorial de sus principales índices de calidad organoléptica.

TABLA 13
VALORES PROMEDIOS DE LA PRUEBA DE ACEPTACIÓN

Escala	Textura	Sabor	Color cascara	Olor
5	muy duro	excelente	excelente	excelente
4	duro	muy bueno	muy bueno	muy bueno
3	suave	Bueno	Bueno	Bueno
2	blando	Regular	Regular	Regular
1	muy blando	Malo	Malo	Malo
Promedio	3	4.7	4.1	4.5

Elaborado por: Arturo Ordóñez Moreno

Como se aprecia en la TABLA 13, los bananos fueron muy apreciados por su sabor y olor. Calificando a los bananos como una fruta de suave textura con excelente sabor y olor. Los panelista calificaron de muy bueno el color de cáscara, lo que demuestra que visiblemente el banano es muy apetecible. El banano fue evaluado por los panelistas como una fruta de muy buena calidad organoléptica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Es importante señalar que no existen en la literatura, trabajos sobre la maduración acelerada de bananos utilizando etefón.
2. El único efecto principal que obtuvo diferencia significativa estadística entre las medias de sus tratamientos es el factor concentración, es decir, que se rechaza la hipótesis de igualdad de medias entre los tratamientos de ese factor y se concluye que la concentración de etefón afecta significativamente al índice de madurez durante la maduración acelerada de banano con etefón.
3. Comprobando que se cumplieron los supuestos de normalidad e independencia de los errores de las observaciones del modelo del Diseño de Experimentos, el análisis de varianza se constituye en una herramienta apropiada para el contraste de hipótesis de medias entre los tratamientos de los factores del diseño experimental desarrollado en esta tesis.

4. La interacción de los factores lavado fungicida y tiempo de inmersión fungicida también tuvieron diferencia significativa a pesar de que individualmente estos factores no tienen efectos significativos sobre la variable respuesta. Consecuentemente basándonos en estas interacciones y las necesidades del proceso de maduración se eligió los niveles mas adecuados de los factores; con fungicida, tiempo de inmersión de 10 minutos y lavado para diseñar el proceso de maduración acelerada de banano con etefón.

5. La aplicación de etefón en la dosis de 2000 ppm en bananos tipo cavendish cosechados en estado de madurez fisiológica, permite la obtención de frutos maduros con características físicas, químicas y organolépticas de muy buena calidad. Los frutos tratados con etefón requirieron significativamente menos días para madurar que el banano sin tratamiento, independientemente de la concentración de etefón que se utilizara para su aplicación.

6. Los tratamientos con etefón en bananos cavendish, uniforman la maduración y adelantan la comercialización al reducir el periodo de maduración a sólo 4 días. Los cambios mas pronunciados del color

externo de la fruta fueron observados al tercer día de aplicar el tratamiento para acelerar la maduración.

7. Durante el proceso se recomienda que los bananos que van a ser sometidos al tratamiento sean agrupados en manos de máximo 5 dedos de bananos, para evitar que los bananos ya maduros se desprendan de la corona que los une. Disminuyendo con esto su calidad ya que se presentarán roturas en la unión con la corona.
8. Al realizarse el tratamiento por inmersión del fruto en aplicación directa, permite tener un mayor control en el llenado de los galpones de maduración, pudiendo realizarse de forma continua, y no por lote como en el caso de aplicación de etileno en donde debemos cerrar la cámara y aplicar el etileno a nuestro lote.
9. La actividad respiratoria crece en función de la temperatura por lo tanto si esta es elevada existe mayor absorción de oxígeno, acelerando la maduración. Sin embargo es importante no sobrepasar los 30 °C, para no dañar los tejidos y alterar la calidad organoléptica de la fruta como retraso en el desarrollo del color y pobre desarrollo del color. El almacenamiento de banano a temperatura ambiente

(27°C +/- 2), es adecuado para acelerar el proceso de maduración de bananos tratados con etefón, garantizando la calidad de los frutos.

10. Es indispensable durante la maduración mantener una humedad relativa cerca al 80%. Ya que las humedades relativas bajas pueden acentuar las manchas causadas por daños mecánicos y que la cáscara de la fruta se torne arrugada y opaca. Siendo muy importante mantener altos valores de humedad relativa hasta que la fruta empieza a presentar color verde amarillento en la cáscara (día 3). La aplicación de fungicida nos ayuda a prevenir la pudrición de la corona en los bananos, que se podría presentar por los altos valores de humedad.

11. Es posible encontrar luego del tratamiento de maduración anomalías en las frutas, cuyo origen está en la finca y aunque en ocasiones se pueden aplicar medidas de control poscosecha, el problema se erradicaría conociendo y controlando el factor o factores precosecha que las origina.

12. Debido a la influencia de los factores precosecha se debe esperar variaciones en el comportamiento poscosecha del banano de la misma variedad, zona de producción y época de corte; variabilidad que

conviene tener presente al efectuar estudios sobre técnicas de maduración.

13. El panel de aceptación calificó a los bananos como una fruta de suave textura con excelente sabor y olor. Los panelista calificaron de muy bueno el color de cáscara, lo que demuestra que visiblemente el banano es muy apetecible. El banano fue evaluado por los panelistas como una fruta de muy buena calida organoléptica.

14. Conviene tener presente que no se va a poder mejorar la calidad de los bananos, por lo tanto es importante mantener la calidad de los bananos desde el momento de ser cosechados. Teniendo mucho cuidado de no dañar físicamente a los frutos durante el tratamiento de maduración.

15. Se recomienda que para futuros experimentos se realicen mediciones de textura y color, para tener un mejor conocimiento del proceso de maduración acelerada con etefón.

16. Las pruebas para el diseño del proceso fueron realizadas en el mes de julio del 2005, en la ciudad de Guayaquil. Es conveniente realizar las mismas pruebas en época de invierno para analizar el desarrollo de la

maduración en bananos tratados con etefón, en condiciones diferentes a las descritas en esta tesis.

ANEXOS

ANEXO A

DETERMINACIÓN DE BRIX

Fundamento

El método se basa en la medición del porcentaje de sólidos solubles mediante la lectura en una escala directa, haciendo uso de la refracción de la luz en un prisma refractométrico.

Equipos y Materiales.

- * Refractómetro con baño de agua fría
- * Termómetro 100 ° C.
- * Vaso de precipitación de 100 ml.
- * Agua destilada.

Procedimiento

1. En un vaso de precipitación pesar 30 g. de muestra.
2. Homogenizar con 90 ml de agua destilada durante 2.5 min, utilizando una licuadora.
3. Encerar el refractómetro con agua destilada hasta que aparezca en la pantalla 0.00%
4. Poner 1 a 2 gotas de muestra en el prisma del refractómetro.
5. Proceder a leer el índice de refracción en el ocular del refractómetro.

6. Enjuagar el prisma con agua destilada y retirar el exceso.
7. El valor leído debe ser multiplicado 3, debido a las diluciones.
8. Registrar los brix en el registro respectivo.

ANEXO B

DETERMINACIÓN DE ACIDEZ

Fundamento

La determinación se basa en la valoración alcalinométrica con hidróxido de sodio para neutralizar los ácidos libres que estén presentes en la muestra. La acidez es expresada en porcentaje de ácido maleico, por ser el ácido predominante presente en el banano.

Equipos y Materiales.

- ★ Bureta (25 – 50 ml)
- ★ Termómetro 100 ° C.
- ★ Vaso de precipitación de 200 ml.
- ★ Agua destilada.

Reactivos.

- ★ Hidróxido de sodio 0.1 N
- ★ Fenolftaleina.

Procedimiento

1. De la solución preparada para la medición de °Brix, se prepara una nueva solución con 25 ml de agua destilada y 25 ml de la solución de banana.
2. Se agrega 2 gotas de fenolftaleína como sustancia indicadora.
3. Se procede a realizar una titulación ácido-base, con la ayuda de una bureta conteniendo hidróxido de sodio 0.1N.
4. El resultado se expresa en términos de ácido maleico.

BIBLIOGRAFIA

1. ANZALDUA MORALES ANTONIO, La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica, Universidad Autónoma de Chihuahua, editorial Acribia, España, primera edición, 1994.
2. AZCON-BIETO.J AND TALÓN M., Fundamentos de Fisiología Vegetal, Mc Graw Hill Interamericana, Madrid, 2000.
3. BAIRD D.C., Experimentación: una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos, Prentice-Hall, México, 1991.
4. BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, Agosto 2005, Información estadística de comercio exterior,
http://www.portal.bce.fin.ec/vto_bueno/seguridad/ComercioExteriorEst.jsp

5. BIDWELL, R.G.S, Fisiología Vegetal, Primera Edición en Español, AGT Editor S.A., 1993.

6. DAVIES, P.J., Plant hormones. Physiology, Biochemistry and Molecular Biology. Kluwer Academic Publishers, London. 1995.

7. DEMERUTIS P CARLOS, Procesos fisiológicos y sistemas de postcosecha, Escuela de agricultura de la región tropical húmeda, Costa Rica, 1996.

8. FAO (Food and Agriculture Organization), Agosto 2005, Agricultural data FAOSTAT,
<http://faostat.fao.org/faostat/collections?version=ext&hasbulk=0&subse t=agriculture>

9. KADER ADEL A., Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha, Department of Pomology, University of California, Davis, CA 95616 Traducido por Clara Pelayo Depto. Biotecnología.

CBS. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa Consejo
Nacional de Ciencia y Tecnología. México.

10. KUEHL ROBERT O., Diseño de Experimentos, Thomson Learning,
segunda edición, Mexico ,2001.

11. LÓPEZ A., ESPINOSA J., Manual on the nutrition and fertilization of
banana, Potash & Phosphate Institute & Corporación Bananera
Nacional, Costa Rica, 2000.

12. SALISBURY., F. B. AND ROSS, C. W., Fisiología Vegetal, Versión en
Español Grupo Editorial Iberoamerica, México, 1994.

13. SOLDEVILLA MANUEL, Aplicación al frío de los alimentos, Instituto
del frío de Madrid, AMV ediciones, Mundiprensa, primera edición,
2000.

14. WILLS RON ; MCGLASSON BARRY; GRAHAM DOUG; JOYCE
DARYL, Postharvest: an introduction to the physiology and handling of

fruit, vegetables and ornamentals. Fourth edition. CAB
International, New York. USA. 1981.

15. WOODROOF JASPER GUY, Comercial Fruit Processing, AVI
publishing company, Second Edition 1986.