



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**Determinación de la velocidad de formación de Sacarosa en el almacenaje
del plátano (*Musa paradisíaca*, variedad *Curraré*) cultivar AAB en una
bodega de materia prima a temperatura ambiente**

Brenda Lisseth Pur Peláez

Asesorado por el Ing. Mario Pérez Archila

Guatemala, julio de 2009.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FORMACIÓN DE SACAROSA EN
EL ALMACENAJE DEL PLÁTANO (*Musa paradisiaca*, variedad *curraré*)
CULTIVAR AAB EN UNA BODEGA DE MATERIA PRIMA A TEMPERATURA
AMBIENTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

BRENDA LISSETH PUR PELÁEZ

ASESORADO POR EL ING. MARIO PÉREZ ARCHILA
AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, JULIO DE 2009.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton de León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

Determinación de la velocidad de formación de Sacarosa en el almacenaje del plátano (*Musa paradisiaca*, variedad *Curraré*) cultivar AAB, en una bodega de materia prima a temperatura ambiente,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 4 de agosto de 2008.



Brenda Lisseth Pur Peláez

Guatemala, 27 de marzo de 2009

Ing. Williams Álvarez Mejía
Director de Escuela de Ingeniería Química
Universidad de San Carlos de Guatemala

Por medio de la presente le informo que he aprobado el informe final de trabajo de graduación con el nombre de: **Determinación de la velocidad de formación de sacarosa en el almacenaje del plátano (*Musa paradisíaca*, variedad *Curraré*) cultivar AAB en una bodega de materia prima a temperatura ambiente**, realizado por la señorita Brenda Lisseth Pur Peláez, estudiante de la carrera de Ingeniería Química. Por la cual doy fe para que el procedimiento de aprobación del trabajo de graduación siga su curso.

Le agradezco su atención, atentamente



Ing. Mario Pérez Archila

Colegiado 827
ING. QCO. MARIO PEREZ
COLEGIADO No. 827



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

Guatemala, 24 de Junio de 2009
Ref. EI.Q.356.2009

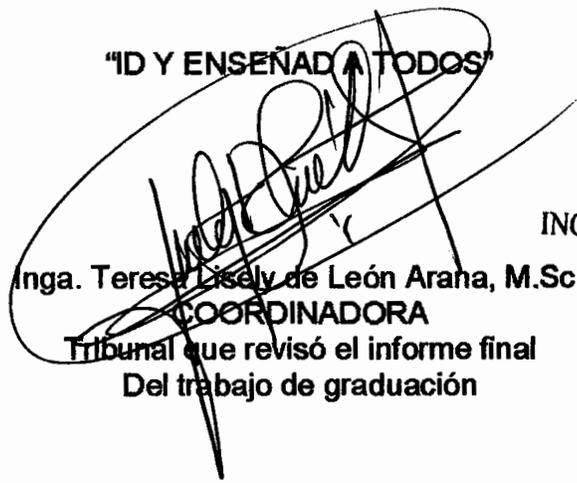
Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-035-09-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERA QUÍMICA a la estudiante universitaria **BRENDA LISSETH PUR PELÁEZ**, identificada con carné No. **2004-12503**, titulado: "**DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FORMACIÓN DE SACAROSA EN EL ALMACENAJE DEL PLÁTANO (*Musa paradisiaca*, variedad *Curraré*) CULTIVAR AAB EN UNA BODEGA DE MATERIA PRIMA A TEMPERATURA AMBIENTE**" el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico Mario Pérez Archila, como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice a la estudiante **Pur Peláez** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"



ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

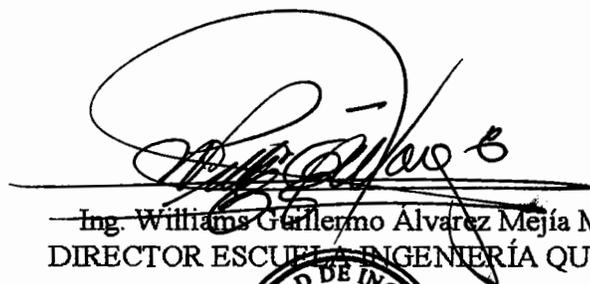
Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.
COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación

C.c.: archivo



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ingeniero Williams Guillermo Álvarez Mejía M.Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el trabajo de graduación de la estudiante: **Brenda Lisseth Pur Peláez** titulado: **“DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FORMACIÓN DE SACAROSA EN EL ALMACENAJE DEL PLÁTANO (*Musa paradisíaca*, variedad *Curraré*) CULTIVAR AAB, EN UNA BODEGA DE MATERIA PRIMA A TEMPERATURA AMBIENTE”**, procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.



Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M.Sc.
DIRECTOR ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



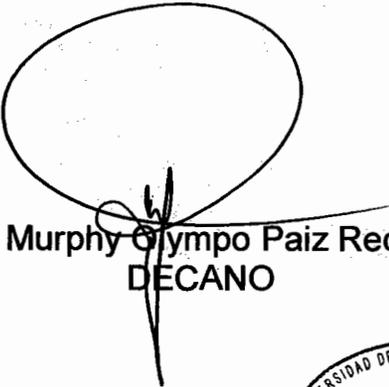
Guatemala, Julio de 2009

C.c.: archivo
WGAM/am



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE FORMACIÓN DE SACAROSA EN EL ALMACENAJE DEL PLÁTANO (Musa paradisíaca, variedad Curraré) CULTIVAR AAB, EN UNA BODEGA DE MATERIA PRIMA A TEMPERATURA AMBIENTE**, presentado por la estudiante universitaria **Brenda Lisseth Pur Peláez**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, julio de 2009



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Por la vida y todas las bendiciones que día a día me ha brindado, pero en especial por las personas que ha colocado en mi vida para enseñarme, guiarme y ayudarme a no alejarme de su lado.

MARÍA AUXILIADORA

Por protegerme bajo su manto y poner su mano antes que la mía en las diferentes experiencias de mi vida.

MIS PADRES

Luis Alberto y Brenda Maritza, por su cariño, enseñanzas, consejos, apoyo y regaños que han forjado mi vida personal y espiritual, especialmente gracias por enseñarme la "Calculadora" desde pequeña. Gracias por todo.

MIS HERMANOS

Luis Alberto y Karen Iveth, por todas las alegrías, risas, llantos, enojos y demás momentos compartidos, porque sé que cuento con ustedes. Gracias, los quiero mucho.

MIS FAMILIARES

A mis abuelitos Vicente y Juan de Dios que en paz descansen, mis abuelitas Felipa y Leonor y familia en general

MAMÁ WENDY

Por su apoyo incondicional, consejos y enseñanzas de madre, maestra y amiga que me han ayudado a ser una "Mujer" y no una "Gelatina".

MI MADRINA

Inga. Nancy Lorenzana por su cariño, consejos, apoyo y entusiasmo para guiarme en mi vida personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

MI ASESOR

Ing. Mario Pérez Archila, por su confianza, apoyo y ayuda en la realización del proyecto de trabajo de graduación y demás proyectos profesionales.

INGA. CLAUDIA MORALES Y Sr. HAMILTON SOMMER

Por su apoyo y confianza en la realización del proyecto de trabajo de graduación.

SUPERVISORES Y PERSONAL OPERATIVO DE LA EMPRESA SERIND S.A.

EMPRESA FRITO LAY CENTRAL AMÉRICA

HIJAS DE MARIA AUXILIADORA (FMA)

En especial a Sor Lesbia, Sor Maricela, Sor Trinidad y Sor Edith, por su amistad, apoyo y enseñanzas brindadas para forjar mi vida personal y espiritual.

MIS AMIGAS DE LA PROMOCIÓN XXXIX

En especial a Clarita Cordón, Kam Ling Chang, Paola Góngora, Melody de León, Elba Mazariegos, Amelia Estrada, Carmen López, Julissa Doren y Astrid Ovando

MIS AMIGOS

En particular a Andrea García-Salas, Delmy Contreras, María de los Ángeles Meza, Stuardo Soto, Jhonatan Ríos, Carlos Obando, Edwin Valenzuela, Jorge Flores, Ivan Morales y especialmente a Julio Mazariegos, por hacer que cada día sea más interesante.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN	XXI
OBJETIVOS	XXIII
HIPÓTESIS	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. MARCO TEORICO	1
1.1. Componentes de los alimentos	1
1.1.1. Carbohidratos	1
1.1.2. Proteínas	3
1.1.3. Grasas	3
1.2. Factores de calidad de alimentos	4
1.2.1. Factores de apariencia	4
1.2.2. Factores de textura	5
1.2.3. Factores de sabor	6
1.2.4. Factores adicionales de calidad	6
1.3. Factores de descomposición y control de alimentos	7
1.3.1. Bacterias, levaduras y mohos	8
1.3.2. Insectos, parásitos y roedores	8

1.3.3. Calor y frío	9
1.3.4. Humedad y sequedad	9
1.3.5. Aire y oxígeno	9
1.3.6. Luz	10
1.3.7. Tiempo	10
1.4. Bioquímica de la maduración del plátano	10
1.4.1. Respiración	11
1.4.2. Relaciones hídricas	11
1.4.3. Carbohidratos	12
1.4.4. Hemicelulosa, pectina y celulosa	12
1.4.5. Acidez	12
1.4.6. Taninos	13
1.4.7. Nitrógeno	13
1.4.8. Sustancias volátiles	13
2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	15
3. RESULTADOS	
3.1 Observaciones	23
3.2 Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de Sacarosa y velocidad de formación de sacarosa	24
3.2.1 Efecto volumen	24
3.2.2 Efecto concentración	26
3.2.3 Efecto temperatura ambiental	28
3.2.4 Efecto tiempo de maduración	30
3.3 Tablas de maduración	32
3.4 Condición óptima de maduración	40

4. ANÁLISIS DE ERROR	41
CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	49
APÉNDICE	53
COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS	109
ANÉXOS	111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Estructura molecular de glucosa y fructosa.	2
2	Estructura molecular de sacarosa.	2
3	Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración temprana. Concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	64
4	Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración temprana. Concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	65
5	Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración temprana. Concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 50 cajas.	67
6	Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración temprana. Concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 50 cajas	68
7	Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración	70

	temprana. Concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 192 cajas.	
8	Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración temprana. Concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 192 cajas.	71
9	Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía. Concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	73
10	Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía. Concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	74
11	Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía. Concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas. Temperatura ambiente baja.	76
12	Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía. Concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas. Temperatura ambiente baja.	77
13	Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía. Concentración de 5556.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	79
14	Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía. Concentración de 5556.00 g CaC ₂ / t y volumen de	80

	maduración 30 cajas.	
15	Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor B, Carburación seca, maduración temprana. Concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	82
16	Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor B, Carburación seca, maduración temprana. Concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	83
17	Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor B, Carburación seca, maduración temprana. Concentración de 2222.40 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	85
18	Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor B, Carburación seca, maduración temprana. Concentración de 2222.40 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	86
19	Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor B, Carburación seca, maduración temprana. Concentración de 2222.40 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 15 cajas.	88
20	Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor B, Carburación seca, maduración temprana. Concentración de 2222.40 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 15 cajas.	89
21	Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía. Concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	91

22	Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía. Concentración de 2778.00 g CaC_2 / t y volumen de maduración 30 cajas.	92
23	Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía. Concentración de 2222.40 g CaC_2 / t y volumen de maduración 30 cajas.	94
24	Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía. Concentración de 2222.40 g CaC_2 / t y volumen de maduración 30 cajas.	95
25	Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía. Concentración de 1851.81 g CaC_2 / t y volumen de maduración 30 cajas.	97
26	Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía. Concentración de 1851.81 g CaC_2 / t y volumen de maduración 30 cajas.	98
27	Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía. Concentración de 1851.81 g CaC_2 / t y volumen de maduración 30 cajas. Temperatura ambiente baja.	100
28	Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía. Concentración de 1851.81 g CaC_2 / t y volumen de maduración 30 cajas. Temperatura ambiente baja.	101

29	Distribución de carburo de calcio, concentración: 1851.81 g CaC ₂ /t.	106
30	Distribución de carburo de calcio, concentración: 2222.40 g CaC ₂ /t.	107
31	Distribución de carburo de calcio, concentración: 2778.00 g CaC ₂ /t.	108
32	Distribución de carburo de calcio, concentración: 5556.00 g CaC ₂ /t.	109
33	Bolsas de maduración.	110
34	Datos importantes sobre la musa paradisíaca.	112
35	Partes del plátano.	113
36	Gráfica generalizada de la ilustración de los cambios bioquímicos más importantes en los plátanos durante la maduración.	119
37	Respiración de plátanos, Gros Michel.	120
38	Presión osmótica en diversos tejidos del racimo de plátanos en maduración.	121
39	Transpiraciones diurnas (4 y 9 días después de haber regado por aspersión) de hojas expuestas al sol en relación con la intensidad del viento.	122
40	Curvas diurnas de transpiración del plátano.	123
41	Curvas diurnas de transpiración del plátano, de la evaporación y de la humedad relativa atmosférica, en un día soleado de la estación lluviosa.	124
42	Concentración de almidón, azúcar reducido y sacarosa en manzanas.	125
43	Mapa de las áreas aptas para el cultivo del plátano.	126
44	Familia Musáceas.	127

TABLAS

I	Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de sacarosa y velocidad de maduración. Efecto volumen, Proveedor A.	24
II	Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de sacarosa y velocidad de maduración. Efecto volumen, Proveedor B.	25
III	Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de sacarosa y velocidad de maduración. Efecto concentración, Proveedor A.	26
IV	Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de sacarosa y velocidad de maduración. Efecto concentración, Proveedor B.	27
V	Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de sacarosa y velocidad de maduración. Efecto temperatura ambiental, Proveedor A.	28
VI	Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de sacarosa y velocidad de maduración. Efecto temperatura ambiental, Proveedor B.	29
VII	Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de sacarosa y velocidad de maduración. Efecto tiempo de inicio de maduración, Proveedor A.	30
VIII	Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de sacarosa y velocidad de maduración. Efecto tiempo de inicio de maduración, Proveedor B.	31
IX	Tabla de maduración, Proveedor A, Carburación húmeda, concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen	32

	de maduración variado.	
X	Tabla de maduración, Proveedor A, Carburación húmeda, concentración de carburo de calcio variada.	33
XI	Tabla de maduración, Proveedor A, Carburación húmeda, concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y temperatura ambiente variada.	34
XII	Tabla de maduración, Proveedor A, Carburación húmeda, concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y tiempo de inicio de maduración variado.	35
XIII	Tabla de maduración, Proveedor B, Carburación seca, concentración de 2222.40 g CaC ₂ / t y volumen de maduración variado.	36
XIV	Tabla de maduración, Proveedor B, Carburación seca, concentración de carburo de calcio variada.	37
XV	Tabla de maduración, Proveedor B, Carburación seca, concentración de 1851.81 g CaC ₂ / t y temperatura ambiente variada.	38
XVI	Tabla de maduración, Proveedor B, Carburación seca, concentración de 2222.40 g CaC ₂ / t y tiempo de inicio de maduración variado.	39
XVII	Condiciones óptimas de maduración.	40
XVIII	Análisis de error promedio de resultados para la condición óptima.	41
XIX	Datos calculados, Proveedor A, Carburación húmeda, maduración temprana, concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	63
XX	Datos calculados, Proveedor A, Carburación húmeda, maduración temprana, concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 50 cajas.	66

XXI	Datos calculados, Proveedor A, Carburación húmeda, maduración temprana, concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 192 cajas.	69
XXII	Datos calculados, Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía, concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	72
XXIII	Datos calculados, Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía, concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas, temperatura ambiente baja.	75
XXIV	Datos calculados, Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía, concentración de 5556.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	78
XXV	Datos calculados, Proveedor B, Carburación seca, maduración temprana, concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	81
XXVI	Datos calculados, Proveedor B, Carburación seca, maduración temprana, concentración de 2222.40 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	84
XXVII	Datos calculados, Proveedor B, Carburación seca, maduración temprana, concentración de 2222.40 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 15 cajas.	87
XXVIII	Datos calculados, Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía, concentración de 2778.00 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	90
XXIX	Datos calculados, Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía, concentración de 2222.40 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	93
XXX	Datos calculados, Proveedor B, Carburación seca,	96

	maduración tardía, concentración de 1851.81 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas.	
XXXI	Datos calculados, Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía, concentración de 1851.81 g CaC ₂ / t y volumen de maduración 30 cajas, temperatura ambiente baja.	99
XXXII	Valores aproximados de los principales nutrientes y calorías de frutas y verduras comunes	114
XXXIII	Composición típica porcentual de frutas, porción comestible	115
XXXIV	Requisitos de almacenamiento y propiedades de algunas frutas	116
XXXV	Composición de banana y plantain	117
XXXVI	Composición química del plátano	118

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	SIGNIFICADO
$[S]$	Concentración de sacarosa ($^{\circ}\text{Bx}$)
t_m	Tiempo de maduración (horas)
V_m	Velocidad de maduración ($^{\circ}\text{Bx} / \text{horas}$)
$[S]_p$	Valor promedio de concentración de sacarosa ($^{\circ}\text{Bx}$)
$[S]_{\min}$	Valor mínimo de grados Brix medido en el refractómetro ($^{\circ}\text{Bx}$)
$\Delta[S]$	Incertidumbre del valor puntual de medición de grados Brix (\pm $^{\circ}\text{Bx}$)
D_i	Dato inferior ($^{\circ}\text{Bx}$, horas)
D_p	Dato promedio ($^{\circ}\text{Bx}$, horas)
D_s	Dato Superior ($^{\circ}\text{Bx}$, horas)
$\varepsilon_i \%$	Error de precisión por incertidumbre (%)
$\varepsilon_d \%$	Error de precisión por desviación (%)
$\varepsilon_e \%$	Error de exactitud (%)

GLOSARIO

Bolsa de maduración	Bolsa empleada para colocar la cantidad necesaria de piedras de carburo de calcio de acuerdo a la concentración necesaria para la maduración.
Carburación	Operación de introducir el Carburo de Calcio a las cajas de plátano a madurar.
Carburación húmeda	Consiste en introducir el carburo de calcio en las bolsas de maduración tipo 1 (ver apéndice 4), luego colocar dichas bolsas en el lugar adecuado de acuerdo a la distribución de las cajas a madurar. Por último rociar agua en las bolsas y cubrir el volumen de maduración.
Carburación seca	Consiste en introducir el carburo de calcio en las bolsas de maduración tipo 2 (ver apéndice 4), luego colocar dichas bolsas en el lugar adecuado de acuerdo a la distribución de las cajas a madurar. Por último cubrir el volumen de maduración.
Catalizador	Sustancia que influye de forma positiva una reacción recuperado sin alteraciones al final de la reacción.

Concentración	Cantidad de carburo de calcio en piedras en una tonelada de plátano.
Cultivar	Se refiere a las poblaciones de plantas cultivadas que son genéticamente homogéneas y comparten características de relevancia agrícola que permiten distinguir una población de un grupo de poblaciones de la especie, traspasando estas características de generación en generación.
Grados Brix	Mide el cociente total de sacarosa disuelta en una solución.
Híbrido	Organismo vivo animal o vegetal procedente del cruce de dos organismos de razas, especies o subespecies distintas, de alguna o varias cualidades diferentes.
Hibridación	Proceso de mezclar diferentes especies o variedades de organismos para crear un híbrido
Maduración	Conjunto de fenómenos de transformación que deja el fruto en condiciones de liberar las semillas en orden a las reproducción de la planta.
Maduración temprana	Maduración iniciada un día o dos días después de su ingreso a la planta.
Maduración tardía	Maduración iniciada más de dos días después de su ingreso a la planta.

Proveedor A	Ubicado en Coatepeque, provee plátano de variedad Currare con corte a las 77 semanas de floración.
Proveedor B	Ubicado en Coatepeque, provee plátano de variedad Currare con corte a las 85 semanas de floración.
Temperatura ambiente normal	Temperatura ambiente de la bodega con temperatura mínima de 16.00°C – 18.00°C y temperatura máxima de 23.00°C – 26.00°C.
Temperatura ambiente baja	Temperatura ambiente de la bodega con temperatura mínima de 10.00°C – 16.00°C y temperatura máxima de 20.00°C – 23.00°C.
Tiempo de inicio de maduración	Rango de tiempo entre el ingreso de plátano a la bodega y el inicio de la maduración del mismo
Volumen de maduración	Cantidad total de cajas de plátano a madurar.

RESUMEN

En la transformación del plátano verde a maduro, este realiza una serie de cambios bioquímicos, de ellos, el aumento de la sacarosa conforme aumenta el tiempo de maduración es el enfoque del presente informe.

La cantidad de sacarosa en un plátano fue determinada por un refractómetro, obteniéndose la medición en grados Brix, se realizaron mediciones hasta obtener la cantidad de 18°Bx, 22°Bx y 26°Bx.

La maduración del plátano fue realizada en una bodega tipo industrial; las condiciones de mayor relevancia en la maduración fueron la concentración de carburo de calcio, la cantidad de cajas o tarimas de plátano a madurar, el tiempo de inicio de maduración, el tipo de carburación y la temperatura ambiente de la bodega.

De los resultados obtenidos, se pudo determinar que la velocidad de formación de sacarosa en el transcurso de la maduración varía si alguna de las condiciones mencionadas anteriormente varían. Los modelos matemáticos derivados de los resultados general un estimado de tiempo de maduración con un error de exactitud de 1.29%.

OBJETIVOS

GENERAL:

- Relacionar la velocidad de maduración con la concentración de sacarosa presentes en el plátano (*Musa paradisiaca*, variedad *Currare*) de hibridación triploide AAB para dos proveedores.

ESPEPCÍFICOS:

1. Obtener una ecuación matemática de predicción para dos proveedores que relacione la concentración de sacarosa en el plátano (*Musa Paradisiaca*, variedad *Currare*) en función del tiempo de maduración dentro de la bodega de almacenamiento para cada condición de maduración.
2. Obtener una ecuación matemática de predicción para dos proveedores que relacione la velocidad de maduración del plátano (*Musa Paradisiaca*, variedad *Currare*) en función de la concentración de sacarosa para cada condición de maduración.

3. Elaborar tablas estandarizadas del tiempo de maduración de dos proveedores, para obtener la cantidad de grados Brix necesarios presentes en el plátano (*Musa Paradisiaca*, variedad *Currare*) en las diferentes condiciones de maduración.

4. Establecer las condiciones óptimas de maduración del plátano (*Musa Paradisiaca*, variedad *Currare*) proveniente de dos proveedores.

HIPÓTESIS

Existe variación de la velocidad de formación de sacarosa en función de la concentración de sacarosa en el plátano proveniente de dos proveedores al variar las condiciones de maduración, tales como Temperatura ambiental, volumen de maduración, concentración de carburo de calcio y tiempo de inicio de maduración.

INTRODUCCIÓN

En una industria de alimentos en la cual la materia prima es orgánica, es de suma importancia conocer, comprender y analizar la maduración de dicha materia prima, pues tal favorecerá al mejoramiento del proceso de transformación de la materia prima a producto terminado.

Para poder entender el comportamiento de la maduración del material orgánico es necesario conocer cuáles son los componentes del mismo, pues tanto las variables cualitativas como cuantitativas varían dependiendo de los componentes presentes y la proporción de los mismos.

Por tal razón, se realizó un análisis de maduración del plátano variedad “curraré”, en donde se relacionó el tiempo de maduración con la cantidad de sacarosa presentes en la muestra, proyectándose a la vez dicha relación a diferentes condiciones de maduración con el objetivo de determinar las condiciones de mayor beneficio.

1. MARCO TEÓRICO

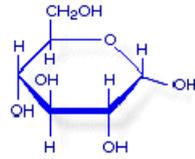
1.1 Componentes de los alimentos

La estructura, textura, sabor, color, valor nutritivo de los alimentos se debe a las características que proporcionan los componentes de los mismos, los cuales hacen la diferencia entre frutas, verduras, carnes, etc. Los componentes principales de los alimentos son los carbohidratos, proteínas y grasas. Además están el agua y los componentes minerales inorgánicos y sustancias orgánicas los cuales se encuentran en una pequeña proporción.

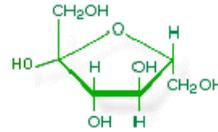
1.1.1. Carbohidratos

Entre esta clase de componentes se encuentran los azúcares, dextrinas, almidones, celulosas, hemicelulosas, pectinas y gomas. Entre los azúcares monosacáridos presentes en las frutas esta la glucosa, siendo este de seis átomos de carbonos, 12 átomos de hidrógeno y 6 de oxígeno; se diferencia de los demás azúcares de 6 carbonos en el arreglo de los mismos componentes, lo cual marca las diferencias de las propiedades físicas que caracteriza cada azúcar. Otro monosacárido presente en el plátano es la fructosa, siendo este de 5 carbonos.

Figura 1. Estructura molecular de glucosa y fructosa



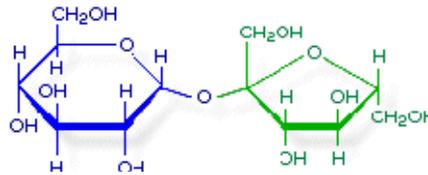
GLUCOSA



FRUCTOSA

La sacarosa es otro azúcar presente en las frutas, un disacárido formado de la α – D – glucosa y la β – D – Fructosa unidos por un enlace dicarbonílico lo cual define a la sacarosa como un azúcar no reductor.

Figura 2. Estructura molecular de sacarosa



SACAROSA

A medida que una fruta madura el almidón presente en alto porcentaje desaparece, mientras que el porcentaje de azúcar presente en la fruta aumenta; en el caso de los plátanos la proporción de disminución de almidón y aumento de azúcar es más pronunciado. Un plátano no maduro refrigerado en determinado tiempo, retrasa la maduración normal del plátano, es decir la reacción de hidrólisis del almidón.

Las celulosas son encargadas de dar fuerza y soporte a las células y tejidos de las plantas, es muy importante para dar forma a la textura de las frutas y verduras. Debido a las diferentes proporciones y componentes de

las frutas, las cantidades de pectinas varían de acuerdo a la fruta y a la madurez de la misma. Es debido a la degradación de la pectina a través de las enzimas lo que ocasiona los cambios en la textura de las frutas, menos adherencia de las células y el reblandecimiento de los tejidos.

1.1.2. Proteínas

Las moléculas de las proteínas están compuestas por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y en pequeñas cantidades azufre, fósforo y otros elementos. Las proteínas se encuentran formadas por aminoácidos polimerizados en cadenas largas, los cuales están caracterizados por poseer un grupo amino ($-NH_2$) y un grupo carboxilo ($-COOH$) ligados al mismo carbono.

Las frutas en general, contienen cantidades suficientes para los procesos vitales de la planta, pero no la cantidad suficiente para ser aportar una cantidad significativa en las necesidades humanas.

1.1.3. Grasas

La diferencia entre los carbohidratos, proteínas y grasas radica en que estas últimas no son polímeros de moléculas repetidas, no forman cadenas largas ni dan estructura a los tejidos; más bien es una sustancia suave, aceitosa e insoluble en agua.

Las grasas son una fuente de energía para los animales o plantas, en la mayoría de las ocasiones se encuentran combinadas con vitaminas solubles en grasa, tales como la vitamina A, D, E y K. La cantidad de grasa presente en las frutas es pequeña, con excepción de las aceitunas y aguacate.

1.2. Factores de calidad de alimentos

La calidad de los alimentos esta íntimamente ligada a la excelencia en todas las propiedades de los mismos. La calidad de los alimentos puede dividirse en tres categorías principales llamados propiedades organolépticas o sensoriales, los cuales son:

- Factores de apariencia
- Factores de textura
- Factores de sabor

1.2.1. Factores de apariencia

Esta categoría incluye el tamaño, forma, integridad, tipo de deterioro, brillo, color, consistencia, etc. La propiedad de integridad se refiere a la proporción de piezas enteras y rotas. El tamaño y forma son propiedades del alimento fácil de medir; tal es el caso de la curvatura del plátano la cual puede ser medida por medio de un transportador.

El color es una propiedad de los alimentos el cual determina su calidad como también la madurez o descomposición del alimento, determina también el término de una fritura, nivel de oxígeno en el almacenamiento, etc. La consistencia se considera como un atributo de calidad de la textura siempre y cuando la textura pueda observarse, que generalmente es medida en términos de resistencia al flujo.

1.2.2. Factores de textura

Textura se refiere a las cualidades de los alimento las cuales pueden ser sentidas ya sea con los dedos, paladar o dientes. Entre estos factores se incluye propiedades tales como la sensación de firmeza ya sea en la mano o boca, blandura, jugosidad, chiclosidad, etc.

Para el caso de la textura de los alimentos es expresada por medidas de l resistencia a la fuerza ya sea en compresión, tensión o incisión. Una de las variables muy importantes para el cambio de textura es el agua, pues al envejecer las frutas pierden agua, convirtiendo así la fruta seca, dura y chiclosa; esta característica será ideal para algunas frutas y será defecto para otras.

El azúcar afecta la textura de los alimentos dependiendo de la concentración del mismo, diluido la textura se siente en la boca, más concentrado da espesor y viscosidad, y mucho más concentrado se cristaliza.

1.2.3. Factores de sabor

Esta categoría incluye tanto el sabor como el olor del alimento, siendo estas propiedades difíciles de medir por las diferentes opiniones de quienes las califican. Una característica muy importante es la relación del color y textura con el sabor del alimento, pero que muchas veces puede ser un aspecto psicológico. Tal es el caso de un alimento de color verde, el catador o persona que ingiera el alimento estará predestinada a que el alimento tenga sabor de limón o lima.

1.2.4. Factores adicionales de calidad

Otros factores de calidad que son de importancia tomar en cuenta en los alimentos son la calidad nutritiva, la calidad sanitaria y la calidad de conservación. La calidad nutritiva se refiere a las vitaminas y nutrientes que posea el alimento, las cuales pueden ser evaluadas mediante análisis químicos o instrumentales, como también pueden ser pruebas de alimentación animal o biológica.

La calidad sanitaria se refiere a la inocuidad del alimento la cual es medida por cálculos de presencia de bacterias, levaduras, mohos o sedimentaciones a partir de las pruebas microbiológicas realizadas. La calidad de conservación o la estabilidad del alimento durante el almacenamiento la cual es medida dependiendo de las condiciones de almacenamiento y manipulación, generalmente se emplean pruebas aceleradas.

1.3. Factores de descomposición y control de alimentos

Luego de la cosecha del alimento inicia la etapa de descomposición del mismo, siendo muy variable dependiendo del tipo de alimento que sea, pues cada alimento tiene diferentes porciones de compuestos orgánicos con un equilibrio bioquímico sensible a las variaciones del medio ambiente en el que se encuentra el alimento, tal como el calor o frío, la luz, el oxígeno, la humedad, la sequedad, enzimas del alimento el tiempo.

Para la conservación de alimentos es necesario disminuir los factores de descomposición, siendo las principales causas de descomposición de alimento las siguientes:

- Crecimiento y actividad de microorganismos
- Actividad de las enzimas naturales de los alimentos
- Insectos, parásitos y roedores
- La temperatura
- Humedad y sequedad
- Aire y oxígeno
- Luz
- Tiempo

Varios de los factores no actúan de forma aislada, tal es el caso de las bacterias, insectos y la luz las cuales pueden descomponer a los alimentos en una bodega de almacenamiento, como también el la proliferación de bacterias debido a la actividad del calor, humedad y aire.

1.3.1. Bacterias, levaduras y mohos

Una gran cantidad de microorganismos se relacionan con los alimentos, sin embargo no todos favorecen a la descomposición del mismo, más bien la proliferación de microorganismos es la principal causa de descomposición de los alimentos. Los microorganismos que favorecen a la descomposición de los alimentos generalmente se encuentran presentes en las cáscaras y cortezas de las frutas y hortalizas, en equipos de procesamiento no esterilizado, manos, piel y ropa del personal operativo.

Las frutas, las hortalizas, los granos y nueces son contaminados al romper o debilitar las cáscaras o vainas de los mismos. Las bacterias, levaduras y mohos atacan todos los componentes de los alimentos, ya sea fermentando azúcares, hidrolizando almidones y celulosa, hidrolizando grasas produciendo rancidez o bien digiriendo proteínas y produciendo olores de putrefacción.

1.3.2. Insectos, parásitos y roedores

Los granos, frutas y hortalizas se ven principalmente afectados por los insectos, siendo el daño del alimento el mayor problema, pues el daño puede producir una infección provocada por microorganismos. Los insectos son controlados mediante las fumigaciones de productos químicos en las cosechas. Los parásitos se encuentran generalmente en carnes de puerco, tal como la triquinosis o el nematodo.

1.3.3. Calor y frío

Tanto el calor como el frío pueden causar el deterioro de los alimentos. Aproximadamente, por cada 10°C de aumento en la temperatura de ambiente duplica la velocidad de las reacciones químicas del alimento ya sea enzimática o no. El exceso de calor desnatura las proteínas elimina humedad y destruye las vitaminas; mientras que el exceso de frío agrieta las cáscaras y la congelación puede desnaturar las proteínas. Para una máxima calidad de plátanos, limones, calabazas y tomates la temperatura de conservación debe ser menor a 10°C.

1.3.4. Humedad y sequedad

La humedad es necesaria para la realización de las reacciones químicas y el crecimiento microbiano, la humedad permanece en la superficie de los alimentos se origina por los leves cambios de la humedad relativa en el alimento. Las frutas y hortalizas pueden producir humedad por respiración y transpiración.

1.3.5. Aire y oxígeno

Tanto las vitaminas, los colores, el sabor y otros componentes de los alimentos se ven afectados por el aire y el oxígeno, dado que el moho necesita del oxígeno para poder reproducirse. El oxígeno es excluido mediante la desaeración al vacío, envasado al vacío o inundación del envase con nitrógeno o dióxido de carbono.

1.3.6. Luz

La luz destruye las vitaminas, tales como la riboflavina, vitamina A y vitamina C, como también deteriora el color del alimento. Los alimentos sensibles a la luz son de fácil protección ya sea con un envase que no permita el paso de la luz.

1.3.7. Tiempo

El tiempo es un importante parámetro de calidad del alimento, pero dicho período de calidad es transitorio. Tanto el desarrollo microbiano, acción enzimática, efectos de calor o frío, humedad, oxígeno y luz se ve progresados con el pasar del tiempo. Es decir, a mayor tiempo mayor será la fuerza destructora de los factores de descomposición de los alimentos.

1.4. Bioquímica de la maduración del plátano

Las variaciones internas y superficiales del plátano son originadas por las actividades bioquímicas que se llevan a cabo en los componentes de la fruta como por las interacciones del ambiente con la misma. Los aspectos bioquímicos más relevantes de la maduración son los siguientes:

1.4.1 Respiración

Cuando el plátano se encuentra en estado verde la producción de dióxido de carbono (CO_2) es bajo y constante, a las primeras señales visibles de maduración, la producción de dióxido de carbono aumenta drásticamente hasta llegar al punto máximo e iniciar el descenso de la producción del mismo, con la diferencia de mantener una producción constante mayor a la producción de dióxido de carbono cuando el plátano se encontraba en estado verde. El contenido de oxígeno en la fruta está relacionado con la producción de dióxido de carbono, siendo el comportamiento del oxígeno inverso al comportamiento del dióxido de carbono. La respiración del plátano en estado verde (preclimática) se lleva a cabo mediante el ciclo de la pentosa, al aumentar la producción de dióxido de carbono hasta llegar al máximo (climaterio) la respiración del plátano se lleva a cabo mediante la glicólisis normal, es decir, mediante la transformación de glucosa a ácido láctico, la respiración vía glicólisis es predominante cuando la fruta se encuentra madura (posclimática).

1.4.2 Relaciones hídricas

Cortado el plátano en racimos, éste continúa transpirando gracias a estomas que posee su piel; la magnitud de la transpiración dependerá de la temperatura y de la humedad relativa. La relación entre la pulpa y cáscara para los plátanos en racimos aumenta conforme la fruta madura, es decir, el aumento se relaciona con la concentración de azúcar tanto en la cáscara como en la pulpa, aumentando con mayor rapidez la concentración de azúcar en la pulpa de la fruta provocando la extracción del agua de la cáscara.

1.4.3 Carbohidratos

De los carbohidratos presentes en el plátano, el más predominante en el plátano en estado verde es el almidón y cuando madura es reemplazado por los azúcares sacarosa, glucosa y fructosa. La presencia de almidón en el plátano es inversamente proporcional respecto al tiempo de maduración, mientras que la presencia de azúcares es directamente proporcional. De acuerdo a investigaciones ya realizadas han observado que la cantidad de glucosa excede ligeramente a la cantidad de fructosa.

1.4.4 Hemicelulosa, pectina y celulosa

Las hemicelulosas constituyen una fracción de materia seca de la fruta no madura, el cual decrece de un 7% (estado verde) a un 1% aproximadamente durante la maduración. La pectina por otro lado, aumenta conforme el tiempo de maduración, con la particularidad que su concentración no excede el 0.5% del peso del fruto tierno.

1.4.5 Acidez

Cuando el plátano se encuentra en la etapa de climaterio, la pulpa de la fruta alcanza el valor máximo de acidez, procedida de un ligero descenso conforme la maduración progresa. De acuerdo investigaciones, se ha reportado que el ácido oxálico excedió al ácido málico y al ácido cítrico cuando el plátano se encontraba en estado verde, mientras que en la maduración es el ácido málico el principal componente.

1.4.6 Taninos

Los taninos son componentes presentes en los tejidos vegetales, considerados responsables del sabor astringente de los productos vegetales, debido a la disminución de los mismos al madurar la fruta tanto en la cáscara como en la pulpa, con la diferencia de ser más abundante en la cáscara que en la pulpa.

1.4.7 Nitrógeno

El contenido de nitrógeno en el plátano no varía significativamente, y la proteína varía de un 0.5 a 1.5% aproximadamente al madurar la fruta.

1.4.8 Sustancias volátiles

El componente principal del aroma del plátano maduro es el acetato de amilo con un rendimiento del aceite crudo de 0.0013% de la pulpa fresca. Los gases producidos por los plátanos al madurar aceleran la maduración del mismo, tal es el caso del etileno, considerado como un acelerador autocatalítico de la maduración del plátano.

2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

2.1 Localización

El procedimiento experimental realizado para determinar la velocidad de maduración del plátano (*Musa paradisíaca*, variedad *Currare*) se realizó en las instalaciones de la empresa Servicios Industriales SERIND S.A.; ubicada sobre la 35 calle 7-61 zona 11 de la ciudad de Guatemala, la cual realiza la operación de maduración de plátano para la empresa Frito Lay Central América. La planta cuenta con instalaciones de servicios personales y operacionales para el pelado y maduración del plátano.

2.2 Recursos humanos

2.2.1 Responsable del proyecto: Brenda Lisseth Pur Peláez

2.2.2 Asesor: Ing. Mario Pérez Archiva

2.2.3 Departamento de agronomía: Ing. Claudia Morales

2.2.4 Empresa SERIND: Ing. Hamilton Sommer

2.3 Recursos materiales

2.3.1 Plátanos: Estos son provenientes de dos proveedores diferentes, se trabajaron cajas de plátano estibadas de diferentes formas para cumplir con el volumen de maduración necesario.

2.3.2 Carburo de calcio: La concentración empleada fue de:

- 5556.00 g CaC_2 / T
- 2778.00 g CaC_2 / T
- 2222.40 g CaC_2 / T
- 1851.81 g CaC_2 / T

2.4 Cristalería y equipo

2.4.1 Refractómetro análogo: Marca Vee Gee, modelo BX-1 serie 027399, con rango de medición de 0 – 32 grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) y una incertidumbre de 0.10 $^{\circ}\text{Bx}$. Empleado para medir los grados Brix presentes en la muestra de plátano.

2.4.2 Reloj: Para el control del tiempo de maduración, empleando un medidor análogo.

2.5 Metodología experimental

2.5.1 Diseño del tratamiento

La maduración del plátano se evaluó en función de la concentración de sacarosa presente en el plátano proveniente de dos proveedores, mediante la medición de grados Brix conforme aumenta el tiempo de maduración en la experimentación. Se realizó el experimento bajo las siguientes condiciones de maduración: Temperatura ambiental, volumen de maduración, concentración de carburo de calcio y tiempo de maduración. En todos los experimentos realizados se especificó la hora del día en que inicio el proceso de maduración en la bodega de materia prima.

2.5.2 Diseño experimental

Se realizaron corridas en las que se midió los grados brix presentes en el plátano cada 2 a 3 horas desde que se dio inicio del almacenamiento del volumen de maduración a estudiar hasta obtener una medición de aproximadamente 18°Bx - 30°Bx dependiendo del análisis que se realizó. Se analizaron de 6 – 10 muestras por corrida, tomadas aleatoriamente del volumen de maduración; a cada muestra se le realizó una medición en el medio del plátano.

2.5.3 Unidad experimental

Las muestras de plátanos de ambos proveedores fueron llevados al laboratorio de calidad de la empresa ya citada, donde se removió la cáscara del plátano, seguido del corte de una rodaja pequeña del medio del plátano, se raspa y luego la pulpa del plátano se coloca en el refractómetro, el cuantifica los grados Brix presentes en la muestra.

2.5.4 Manejo del experimento

Los plátanos provenientes de ambos proveedores fueron ingresados en la bodega de materia prima, se toman las muestras necesarias, se trasladan al laboratorio de calidad, se remueve la cáscara del plátano. De una rodaja del medio del plátano se obtiene la pulpa del plátano para cuantificar la cantidad de grados Brix en los plátanos al inicio de la maduración en la bodega de materia prima. Se realizó el mismo procedimiento cada 2 – 3 horas hasta obtener una medición cercana a 18 - 30°Bx dependiendo del análisis a realizar.

2.5.5 Procedimiento

1. Recepción de plátanos en bodega de materia prima
2. La primera medición de grados Brix pertenece al tiempo cero de maduración de plátano en la bodega de materia prima (ingreso de materia)
3. Tomar las muestras de plátanos e identificarlas, luego trasladarlas al laboratorio de calidad.
4. Remover la cáscara del plátano de forma manual.

5. Cortar una rodaja de plátano en su parte central
6. Machacar la rodaja hasta formar la pulpa
7. Tomar una pequeña de cantidad pulpa y colocar la muestra en el refractómetro.
8. Recolección de grados Brix medidos a las muestras
9. Repetir los pasos 3 al 7 cada 2 - 3 horas de almacenamiento en la bodega de materia prima, para cada condición de maduración fijadas.
10. Realizar observaciones cada medición de grados brix.

2.5.6 Evaluación estadística

Se realizó un análisis de regresión obteniendo el mayor ajuste a través de ecuaciones matemáticas tanto para los grados Brix presentes en el plátano en función del tiempo de maduración como para la velocidad de formación de sacarosa en función de los grados Brix presentes en el plátano.

2.6 Metodología de estimación

- 2.6.1 **Observación.** Consiste en determinar las características físicas del plátano, las cuales definen las variables cualitativas.
- 2.6.2 **Recolección de datos.** Consiste en la medición de cantidad de sacarosa presente en el plátano en diferentes tiempos de maduración y en diferentes condiciones de maduración.

2.6.3 **Medidas de tendencia central.** Consiste en el promedio de los datos medidos para cada corrida.

2.6.4 **Realización de Gráficas de Concentración.** Se elaboraron gráficas en las cuales se observó el comportamiento de la cantidad de sacarosa (°Brix) presentes en el plátano en función del tiempo de maduración. Las gráficas están definidas mediante las condiciones de maduración tales como: Temperatura ambiental, volumen de maduración, concentración de carburo de calcio y tiempo de maduración.

2.6.5 **Correlación y regresión de gráficas de concentración.** Consiste en hallar por medio de programas computarizados la ecuación matemática de mayor correlación para la gráfica de Concentración de sacarosa en función del tiempo.

2.6.6 **Análisis diferencial de la ecuación matemática de concentración.** La ecuación matemática de concentración en función del tiempo se derivó respecto del tiempo, para obtener así una ecuación matemática de derivada de la concentración respecto a derivada de tiempo de maduración, la cual es igual a la velocidad de maduración del plátano. Se realizaron cálculos de la velocidad de maduración para las concentraciones medias de sacarosa.

2.6.7 Realización de gráficas de velocidad de maduración y correlación de la misma. Consiste en graficar los datos de la velocidad de maduración obtenidos con la derivada de la ecuación de concentración en función de la concentración de sacarosa. Luego de graficar se encontró la ecuación matemática de mayor correlación, el cual es la ecuación de velocidad de maduración.

2.6.8 Realización de tablas de maduración. Es la tabulación de tiempos de maduración para obtener la concentración necesaria de sacarosa. Dicha tabla de maduración está definida para cada condición de maduración trabajada.

3. RESULTADOS

3.1 Observaciones

- La concentración de sacarosa en los plátanos no es homogénea al ingresar a la bodega de maduración, aproximadamente el 5% de plátanos se encuentran arriba del promedio de concentración de sacarosa.
- Los plátanos ingresan a la bodega de maduración en condiciones físicas no homogéneas, tales como:
 - Plátanos quebrados
 - Plátanos con corte en sus laterales
 - Plátanos con puntas quemadas de forma exagerada
- La carburación húmeda emite gases intolerables y asfixiantes (acetileno).
- Durante la maduración el volumen de maduración se torna húmedo y ligeramente caliente.
- Si el residuo de la carburación (óxido de calcio) no es retirado adecuadamente, este puede contaminar el plátano maduro.

3.2 Ecuaciones de predicción concentración de sacarosa y velocidad de formación de sacarosa

3.2.1 Efecto volumen

Tabla I. Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de sacarosa y velocidad de maduración.

Efecto volumen, proveedor A

VOLUMEN (Cajas)	Concentración de sacarosa (°Bx)	Velocidad de Maduración (°Bx/h)
30	$[S] = -0.0004 t_m^2 + 0.2918 t_m + 4.8329$	$V_m = -4E-06 [S]^3 + 0.0002 [S]^2 - 0.0057 [S] + 0.3173$
50	$[S] = 0.0005 t_m^3 - 0.0226 t_m^2 + 0.3687 t_m + 8.7654$	$V_m = 4E-06 [S]^4 - 0.0001 [S]^3 - 0.0002 [S]^2 + 0.0327 [S] + 0.082$
192	$[S] = 0.0037 t_m^2 - 0.0393 t_m + 10.343$	$V_m = 0.0006 [S]^3 - 0.0326 [S]^2 + 0.6063 [S] - 3.438$

NOTA:

Datos obtenidos para una carburación húmeda con plátanos de maduración temprana con una concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y una temperatura ambiente normal. Se realizó pre-corte a las 48 horas.

Fuente: Datos calculados

Tabla II. Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de sacarosa y velocidad de maduración.
Efecto volumen, proveedor B

VOLUMEN (Cajas)	Concentración de sacarosa (°Bx)	Velocidad de Maduración (°Bx/h)
15	$[S] = -0.0015 t_m^2 + 0.4332 t_m + 3,0266$	$V_m = -6E-05 [S]^3 + 0.0027 [S]^2 - 0.0461 [S] + 0.6114$
30	$[S] = 0,0038 t_m^2 + 0,0828 t_m + 4,5691$	$V_m = 0.0001 [S]^3 - 0.0066 [S]^2 + 0.1201 [S] - 0.3374$

NOTA:

Datos obtenidos para una carburación seca con plátanos de maduración temprana con una concentración de 2222.40 g CaC₂ / t y una temperatura ambiente normal.

Fuente: Datos calculados

3.2.2 Efecto concentración

Tabla III. Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de sacarosa y velocidad de maduración.

Efecto concentración, proveedor A

Concentración (g CaC ₂ /t)	Concentración de sacarosa (°Bx)	Velocidad de Maduración (°Bx/h)
2778.00	$[S] = 0.0019 t_m^2 + 0.1032 t_m + 8.4128$	$V_m = 7E-05 [S]^3 - 0.0035 [S]^2 + 0.0656 [S] - 0.2424$
5556.00	$[S] = 0.0084 t_m^2 - 0.1582 t_m + 7.4185$	$V_m = -0.0001[S]^4 + 0.0071[S]^3 - 0.1681 [S]^2 + 1.7251 [S] - 6.0873$

NOTA:

Datos obtenidos para una carburación húmeda con plátanos de maduración tardía y una temperatura ambiente normal.

Fuente: Datos calculados

Tabla IV. Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de sacarosa y velocidad de maduración.
Efecto concentración, proveedor B

Concentración (g CaC ₂ /t)	Concentración de sacarosa (°Bx)	Velocidad de Maduración (°Bx/h)
1851.81	$[S] = 0.0018 t_m^2 + 0.1505 t_m + 6.2372$	$V_m = -0.0002 [S]^2 + 0.0184 [S] + 0.0638$
2222.40	$[S] = 0.0004 t_m^3 - 0.0229 t_m^2 + 0.3523 t_m + 7.6697$	$V_m = 0.007 [S]^2 - 0.12 [S] + 0.493$
2778.00	$[S] = 0.0002 t_m^3 - 0.0079 t_m^2 + 0.1291 t_m + 8.0358$	$V_m = 0.0003 [S]^3 - 0.0051 [S]^2 + 0.0765 [S] + 0.3782$

NOTA:

Datos obtenidos para una carburación seca con plátanos de maduración tardía y una temperatura ambiente normal.

Fuente: Datos calculados

3.2.3 Efecto temperatura ambiental

Tabla V. Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de sacarosa y velocidad de maduración.
Efecto temperatura ambiental, proveedor A

TEMPERATURA AMBIENTE	Concentración de sacarosa (°Bx)	Velocidad de Maduración (°Bx/h)
NORMAL	$[S]_3 = 0.0019 t_m^2 + 0.1032 t_m + 8.4128$	$V_m = 7E-05 [S]_3^3 - 0.0035 [S]_3^2 + 0.0656 [S]_3 - 0.2424$
BAJA	$[S]_3 = -0.0009 t_m^2 + 0.3008 t_m + 2.8775$	$V_m = -6E-05 [S]_3^3 + 0.0022 [S]_3^2 - 0.0315 [S]_3 + 0.3984$

NOTA:

Datos obtenidos para una carburación húmeda con plátanos de maduración tardía y una concentración de 2778.00 g CaC₂ / t.

Fuente: Datos calculados

Tabla VI. Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de sacarosa y velocidad de maduración.

Efecto temperatura ambiental, proveedor B

TEMPERATURA AMBIENTE	Concentración de sacarosa (°Bx)	Velocidad de Maduración (°Bx/h)
NORMAL	$[S] = 0.0018 t_m^2 + 0.1505 t_m + 6.2372$	$V_m = -0.0002 [S]^2 + 0.0184 [S] + 0.0638$
BAJA	$[S] = 0.0018 t_m^2 + 0.0567 t_m + 8.1209$	$V_m = 0.0003 [S]^3 - 0.0151 [S]^2 + 0.2319 [S] - 1.0023$

NOTA:

Datos obtenidos para una carburación seca con plátanos de maduración tardía y una concentración de 1851.81 g CaC₂ / t.

Fuente: Datos calculados

3.2.4 Efecto Tiempo de inicio de maduración

Tabla VII. Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de sacarosa y velocidad de maduración.

Efecto tiempo de inicio de maduración, proveedor A

TIEMPO DE MADURACIÓN	Concentración de sacarosa (°Bx)	Velocidad de Maduración (°Bx/h)
Temprana	$[S] = 0.0005 t_m^2 + 0.2159 t_m + 6.0628$	$V_m = -4E-06 [S]^3 + 0.0002 [S]^2 - 0.0057 [S] + 0.3173$
Tardía	$[S] = 0.0019 t_m^2 + 0.1032 t_m + 8.4128$	$V_m = 7E-05 [S]^3 - 0.0035 [S]^2 + 0.0656 [S] - 0.2424$

NOTA:

Datos obtenidos para una carburación húmeda con una concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y temperatura ambiente normal.

Fuente: Datos calculados

Tabla VIII. Ecuaciones de predicción para determinar la concentración de sacarosa y velocidad de maduración.

Efecto tiempo de inicio de maduración, proveedor B

TIEMPO DE MADURACIÓN	Concentración de sacarosa (°Bx)	Velocidad de Maduración (°Bx/h)
Temprana	$[S] = 0.002 t_m^2 + 0.203 t_m + 4.4461$	$V_m = 0.0001 [S]^3 - 0.0053 [S]^2 + 0.0858 [S] - 0.1323$
Tardía	$[S] = 0.0017 t_m^2 + 0.0744 t_m + 7.6710$	$V_m = -0.0004 [S]^3 + 0.0228 [S]^2 - 0.4394 [S] + 2.3299$

NOTA:

Datos obtenidos para una carburación seca con una concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y una temperatura ambiente normal.

Fuente: Datos calculados

3.3 Tablas de maduración

Tabla IX. Tabla de maduración

Proveedor A, Carburación húmeda, concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración variado

Volumen de Maduración (cajas)	CONCENTRACIÓN DE SACAROSA (°Bx)	TIEMPO (horas)					Tiempo de precorte (Horas)
		18 °Bx	20 °Bx	22 °Bx	24 °Bx	26 °Bx	
30	$[S] = -0.0004 t_m^2 + 0.2918 t_m + 4.8329$	48.32	56.33	64.54	72.99	81.69	51
50	$[S] = 0.0005 t_m^3 - 0.0226 t_m^2 + 0.3687 t_m + 8.7654$	47.88	53.43	58.75	63.90	68.88	--
192	$[S] = 0.0037 t_m^2 - 0.0393 t_m + 10.343$	51.11	56.67	61.69	66.30	70.58	52

NOTA:

Datos obtenidos para una carburación húmeda con plátanos de maduración temprana con una concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y una temperatura ambiente normal. El precorte realizado a las de volumen de maduración de 30 y 192 cajas fue hecho al obtenerse 18°Bx.

Tabla X. Tabla de maduración
 Proveedor A, Carburación húmeda y concentración de carburo de calcio variada

Concentración (g CaC ₂ /t)	CONCENTRACIÓN DE SACAROSA (°Bx)	TIEMPO (horas)				
		18°Bx	20°Bx	22°Bx	24°Bx	26°Bx
2778.00	$[S] = 0.0019 t_m^2 + 0.1032 t_m + 8.4128$	48.89	55.52	61.66	67.40	72.81
5556.00	$[S] = 0.0084 t_m^2 - 0.1582 t_m + 7.4185$	46.14	49.24	52.13	54.83	57.38

NOTA:

Datos obtenidos para una carburación húmeda con plátanos de maduración tardía y una temperatura ambiente normal. El precorte fue realizado en ambas pruebas al obtener un promedio de 18°Bx.

Tabla XI. Tabla de maduración
 Proveedor A, carburación húmeda, concentración de 2778.00 g
 CaC₂ / t y temperatura ambiente variada

Temperatura ambiente	CONCENTRACIÓN DE SACAROSA (°Bx)	TIEMPO (horas)				
		18 °Bx	20 °Bx	22 °Bx	24 °Bx	26 °Bx
NORMAL	$[S] = 0.0019 t_m^2 + 0.1032 t_m + 8.4128$	48.89	55.52	61.66	67.40	72.81
BAJA	$[S] = -0.0009 t_m^2 + 0.3008 t_m + 2.8775$	61.64	72.77	85.39	100.35	119.84

NOTA:

Datos obtenidos para una carburación húmeda con plátanos de maduración tardía y una concentración de 2778.00 g CaC₂ / t. Al volumen de maduración de ambas pruebas se les realizó precorte cuando el mismo obtuvo una concentración de 18°Bx, para la prueba realizada a temperatura normal el precorte se realizó a las 48 horas mientras que para la prueba realizada a temperatura baja el precorte se realizó a las 53 horas

Tabla XII. Tabla de maduración
 Proveedor A, carburación húmeda, concentración de 2778.00 g
 CaC₂ / t y tiempo de inicio de maduración variado

TIEMPO DE MADURACIÓN	CONCENTRACIÓN DE SACAROSA (°Bx)	TIEMPO (horas)				
		18 °Bx	20 °Bx	22 °Bx	24 °Bx	26 °Bx
Temprana	$[S] = 0.0005 t_m^2 + 0.2159 t_m + 6.0628$	49.59	57.02	64.26	71.31	78.18
Tardía	$[S] = 0.0019 t_m^2 + 0.1032 t_m + 8.4128$	48.89	55.52	61.66	67.40	72.81

NOTA:

Datos obtenidos para una carburación húmeda con una concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y temperatura ambiente normal. El precorte fue realizado en ambas pruebas al obtener un promedio de 18°Bx alrededor de las 48 horas de tiempo de maduración.

Tabla XIII. Tabla de maduración

Proveedor B, carburación seca, concentración de 2222.40 g CaC₂ / t y volumen de maduración variado

Volumen de Maduración (cajas)	CONCENTRACIÓN DE SACAROSA (°Bx)	TIEMPO (horas)					Tiempo de precorte (Horas)
		18 °Bx	20 °Bx	22 °Bx	24 °Bx	26 °Bx	
15	$[S] = -0.0015 t_m^2 + 0.4332 t_m + 3,0266$	40.14	46.75	53.83	61.52	70.00	48
30	$[S] = 0,0038 t_m^2 + 0,0828 t_m + 4,5691$	49.55	53.75	57.70	61.44	64.99	--

NOTA:

Datos obtenidos para una carburación seca con plátanos de maduración temprana con una concentración de 2222.40 g CaC₂ / t y una temperatura ambiente normal.

Tabla XIV. Tabla de maduración

Proveedor B, carburación seca y concentración de carburo de calcio variada

Concentración (g CaC ₂ /t)	CONCENTRACIÓN DE SACAROSA (°Bx)	TIEMPO (horas)				
		18 °Bx	20 °Bx	22 °Bx	24 °Bx	26 °Bx
1851.81	$[S] = 0.0018 t_m^2 + 0.1505 t_m + 6.2372$	49.20	55.12	60.69	65.97	71.00
2222.40	$[S] = 0.0004 t_m^3 - 0.0229 t_m^2 + 0.3523 t_m + 7.6697$	49.96	51.74	53.33	54.78	56.11
2778.00	$[S] = 0.0002 t_m^3 - 0.0079 t_m^2 + 0.1291 t_m + 8.0358$	47.80	50.30	52.52	54.52	56.34

NOTA:

Datos obtenidos para una carburación seca con plátanos de maduración tardía y una temperatura ambiente normal. A las pruebas realizadas para computar los presentes resultados, a los plátanos no se les realizaron precorte ni el volumen de maduración fue descubierto hasta cumplir los 24 – 26 °Bx.

Tabla XV. Tabla de maduración

Proveedor B, carburación seca, concentración de 1851.81 g CaC₂ / t y temperatura ambiente variada

Temperatura ambiente	CONCENTRACIÓN DE SACAROSA (°Bx)	TIEMPO (horas)				
		18 °Bx	20 °Bx	22 °Bx	24 °Bx	26 °Bx
NORMAL	$[S] = 0.0084 t_m^2 + 0.1254 t_m + 6.8$	44.73	47.80	50.65	53.32	55.85
BAJA	$[S] = 0.0055 t_m^2 + 0.1245 t_m + 9.2206$	52.84	57.01	60.83	64.37	67.70

NOTA:

Datos obtenidos para una carburación seca con plátanos de maduración tardía y una concentración de 1851.81 g CaC₂ / t. Ambas pruebas concluyeron hasta obtener 18°Bx.

Tabla XVI. Tabla de maduración

Proveedor B, carburación seca, concentración de 2222.40 g CaC₂ / t y tiempo de inicio de maduración variado

TIEMPO DE MADURACIÓN	CONCENTRACIÓN DE SACAROSA (°Bx)	TIEMPO (horas)				
		18 °Bx	20 °Bx	22 °Bx	24 °Bx	26 °Bx
Temprana	$[S] = 0.007 t_m^2 - 0.036 t_m + 5.403$	39.93	43.17	46.18	49.04	51.73
Tardía	$[S] = 0.0004 t_m^3 - 0.0229 t_m^2 + 0.3523 t_m + 7.6697$	49.96	51.74	53.33	54.78	56.11

NOTA:

Datos obtenidos para una carburación seca con una concentración de 2222.40 g CaC₂ / t.

3.4 Condiciones óptimas de maduración

Tabla XVII. Condiciones óptimas de maduración

PROVEEDOR	TIEMPO DE INICIO MADURACIÓN	CONCENTRACIÓN DE CARBURO DE CALCIO (g CaC ₂ / t)	TIPO DE CARBURACIÓN	TEMPERATURA AMBIENTE
A	Tardía	2778.00	seca	normal
B	Temprana	1851.81	seca	normal

4. ANÁLISIS DE ERROR

Tabla XVIII. Análisis de error promedio de resultados para la condición óptima

TIPO DE ERROR	VALOR ACEPTABLE	VALOR OBTENIDO	Conclusión sobre el método
Error de precisión por incertidumbre	1%	0.94%	El método es aceptablemente preciso, por tal hubo buena elección de los instrumentos de medición
Error de precisión por desviación	1%	0.45%	El método es aceptablemente preciso, por tal hubo buen manejo de los instrumentos de medición por parte del experimentador
Error de exactitud	1.5%	1.29%	El método es aceptablemente preciso

Fuente: Análisis de error y datos calculados

Nota: Los datos de error de precisión por incertidumbre como por desviación son el promedio de los obtenidos en las mediciones realizadas de las maduraciones realizadas.

CONCLUSIONES

1. La condición física inicial de los plátanos (concentración alta de sacarosa, plátanos quebrados, corte en laterales puntas quemadas exageradamente) a madurar influye en el comportamiento de la maduración, provocando una aceleración en la maduración.
2. Las ecuaciones matemáticas obtenidas para la predicción de concentración de sacarosa en la maduración de plátano de variedad curraré poseen tendencia positiva, debido a la reacción irreversible.
3. De acuerdo a las ecuaciones matemáticas obtenidas para la predicción de velocidad de formación de sacarosa en la maduración de plátano de variedad curraré se concluye lo siguiente:
 - a. Para los resultados obtenidos del proveedor A:
 - La velocidad de maduración de formación de sacarosa es independiente del volumen de maduración.
 - La velocidad de maduración es directamente proporcional a la concentración de carburo de calcio.
 - La disminución de la temperatura ambiental de la bodega provoca una desaceleración en la maduración.
 - Existe una desaceleración en la maduración del plátano con carburación húmeda al iniciar la maduración de forma temprana.

- b. Para los resultados obtenidos del proveedor B:
- La velocidad de maduración de formación de sacarosa es independiente del volumen de maduración.
 - La velocidad de maduración es directamente proporcional a la concentración de carburo de calcio.
 - La temperatura ambiental en la bodega es directamente proporcional a la velocidad de formación de sacarosa.
 - La velocidad de maduración disminuye en un 15.30% cuando la maduración inicia de forma tardía.
4. El tamaño de volumen de maduración no afecta los resultados obtenidos en la maduración.
5. La concentración de carburo de calcio es inversamente proporcional al tiempo de maduración a transcurrido.
6. La temperatura ambiente en la cual se realice la maduración afecta significativamente el tiempo estimado para obtener una concentración de sacarosa óptima.
7. El tiempo de inicio de maduración se ve afectado de la siguiente forma:
- El proveedor A, necesita de menos tiempo maduración al iniciar la maduración de forma tardía.
 - El proveedor B, necesita de menos tiempo maduración al iniciar la maduración de forma temprana.

8. Las condiciones óptimas para la maduración de plátano curraré en la bodega de materia prima son:
- a. Proveedor A: Carburación seca, empleando una concentración de 2778 g CaC_2 / t, temperatura ambiente normal. Inicio de maduración tardía.

 - b. Proveedor B: Carburación seca, empleando una concentración de 1851.81 g CaC_2 / t, temperatura ambiente normal. Inicio de maduración temprana

RECOMENDACIONES

1. Asegurar que los plátanos se encuentren en buenas condiciones físicas al iniciar la maduración.
2. El rango de tiempo para la toma de medición de concentración de sacarosa (°Brix) no debe exceder a tres horas.
3. Realizar la maduración de plátano con carburación seca, ya que aumenta la velocidad de maduración y es de menor riesgo para el personal que realice la carburación.
4. Cubrir y sellar bien el volumen de maduración con la lona o toldo.
5. Respetar las condiciones establecidas de concentración y distribución de carburo de calcio en el volumen de maduración para la maduración de plátano.
6. Aislar el volumen de maduración del suelo con tarima para que la temperatura del suelo no afecte significativamente.

7. Realizar programa de maduración de plátano de acuerdo a las condiciones iniciales del plátano como requerimientos de planta.

8. Registrar las condiciones al ingreso, almacenaje, proceso y finales de la maduración de plátano para retroalimentación del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

1. Champion, Jean. **El Plátano**. Cuarta reimpresión de la primera edición. España: Editorial Blume, 1978.
2. Charley, Helen. **Tecnología de alimentos**. *Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos*. Primera edición. México: Editorial Limusa, 2000.
3. Dey, P. M.; R. A. Dixon. **Biochemistry of storage carbohydrates in green plants**. Edición 1985. Estados Unidos: Academic Press, 1985.
4. Elcoki Agricultura. **Manual técnico de producción comercial del plátano**. Primera edición. Guatemala: Editorial Serviprensa S.A., 2003.
5. Jonson, Robert y Patricia Kuby. **Estadística elemental. Lo esencial**. Segunda edición. México: Internacional Thomson Editores, 1999.
6. Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (ICAITI). **Guía para la exportación de productos agrícolas no tradicionales, Plátano**. Edición 1976. Guatemala: ICAITI, 1976.
7. Internacional Network for the Improvement of Banana and Plantain (INIBAP). **Banana and Plantain Breeding: Priorities and Strategies**. Francia: INIBAP, 1994.

8. Ministerio de Agricultura. **Proyecto de fomento para cultivo del plátano.** Guatemala: Ministerio de Agricultura, 1968.
9. Pineda Molina, Jose Antonio. “Evaluación del ciclo climatérico del banano (*Musa Sapientum* L.), bajo una atmósfera controlada libre de CO₂ a distintos flujos de aire y en condiciones de humedad extrema a una presión de 640 mmHg”. Trabajo de graduación de ingeniería Química. Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 2001
10. Potter, Norman N. **La ciencia de los alimentos.** Primera edición. México: Editorial Harla, 1973
11. Rodríguez Herrera, Margarita Geraldina. “**Caracterización reológica del pure de banano madurado en diferentes condiciones**” Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1984.
12. Simmonds, N. W. **Los plátanos.** Primera edición. España: editorial Blume, 1973.
13. Vargas Ruiz, Sandra Patricia. “**Cambio reológicos del plátano durante su maduración**”. Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1979.
14. Williams, Louis O. **The useful plants of Central America.** Volumen veinticuatro, número 1-2. Honduras: Editorial la Ceiba, A scientific Journal Issued by the Escuela Agrícola Panamericana, 1981.

Sitios Web

1. Arcila Pulgarín, M.I. “**Aspectos sobre fisiología y manejo poscosecha del plátano en la región cafetera central. Influencia de las condiciones ambientales sobre las propiedades físicas y químicas del fruto**”. 1998. www.musalit.inibap.org (23 de abril 2008)

2. Beaudry, R.M. **“Conversión de carbohidratos durante la maduración del banano - un estudio del metabolismo de carbono”**. 1999. www.musalit.inibap.org (23 de abril 2008)
3. Cortínez U., Rodrigo Cortínez U. **“Índices de Cosecha en Pomáceas”**. <http://www.geocities.com/Athens/Sparta/4704/indices.htm> (23 de abril 2008)
4. Departamento de Agricultura, depósito de documentos de la FAO. **“Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas”**. <http://www.fao.org/docrep/x5055s/x5055S02.htm>. (23 de abril 2008)
5. Nascimento, J.R.O.d.; Cordenunsi, B.R.; Lajolo, F.M. **“Proceso de metabolismo de almidón en sacarosa en bananos”**. www.musalit.inibap.org (23 de abril 2008)
6. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad de Iztapalapa. **“Método para la determinación del índice de cosecha.”** http://docencia.izt.uam.mx/lyanez/uueeaa/material_adicional/Semana%205/METODOS%20PARA%20INDICE%20DE%20COSECHA%20Y%20ETILENO.doc
7. Proyecto Desarrollo de la Fruticultura y Agroindustria. **“Mapa de zonificación de áreas aptas de cultivos frutales”**. http://www.profruta.gob.gt/index.php?option=com_zoom&Itemid=30&catid=1&PageNo=4 (23 de abril 2008)

APÉNDICE

APÉNDICE 1	Muestra de cálculo
APÉNDICE 2	Datos calculados
APÉNDICE 3	Concentración y distribución de carburo de calcio en la maduración de plátano
APÉNDICE 4	Bolsas de maduración

APÉNDICE 1

MUESTRA DE CÁLCULO

1. Ecuación de predicción de concentración de sacarosa en función del tiempo de maduración
 - 1.1. Tabular los datos obtenidos de las diferentes pruebas de maduración en una hoja de cálculo del programa Excel.
 - 1.2. Realizar una grafica de dispersión solo con marcadores, siendo la variable independiente el tiempo de maduración t_m (horas) y la variable dependiente la concentración de sacarosa $[S]$ ($^{\circ}\text{Bx}$).
 - 1.3. Agregar una línea de tendencia a través de las herramientas de gráficos.
 - 1.4. Seleccione el orden de polinomio de mayor grado de correlación, tomando en cuenta que no puede tener tendencia negativa ya que la sacarosa generada en la maduración se debe a una reacción irreversible. (ver anexo C gráfica C-7).
 - 1.5. El polinomio obtenido anteriormente es la ecuación de predicción de concentración de sacarosa en función del tiempo de maduración.

2. Ecuación de predicción de velocidad de maduración en función de la concentración de sacarosa

- 2.1. De los datos tabulados anterior mente de concentración de sacarosa y tiempo de maduración, obtener el dato promedio de acuerdo a:

$$D_p = \frac{D_s + D_i}{2} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

D_s : Dato superior (°Bx, horas)

D_i : Dato inferior (°Bx, horas)

- 2.2. Calcular la derivada de la ecuación matemática de concentración de sacarosa en función del tiempo de maduración
- 2.3. Calcular la velocidad de maduración instantánea mediante la ecuación calculada anteriormente, emplear el dato de tiempo medio.
- 2.4. Realizar una grafica de dispersión con marcadores, siendo la variable independiente la concentración sacarosa promedio C_{s_p} (°Bx) y la variable dependiente la velocidad de maduración V_m (°Bx / h).
- 2.5. Agregar una línea de tendencia a través de las herramientas de gráficos.
- 2.6. Seleccione el orden de polinomio de mayor grado de correlación.

2.7. El polinomio obtenido anteriormente es la ecuación de predicción de velocidad de maduración en función de la concentración de sacarosa.

Ejemplo 5: Para los datos experimentales obtenidos bajo las condiciones de maduración de maduración tardía y carburación seca de concentración 1851.81 g CaC₂ / t realizada a temperatura ambiente normal.

a. Para el tiempo de maduración

$$t_{mp} = \frac{0h + 26h}{2} = 13h$$

Para la concentración de sacarosa

$$[S]_p = \frac{9.25^\circ Bx + 6.83^\circ Bx}{2} = 8.04^\circ Bx$$

b. Derivada de la ecuación de predicción de concentración de sacarosa

$$\frac{[S]}{t_m} = 2 * 0.0018 t_m + 0.1505$$

c. Velocidad de maduración instantánea

$$\frac{[S]}{t_m} = 2 * 0.0018 (13) + 0.1505 = 0.197^\circ Bx/h$$

d. De la gráfica obtenida se obtiene la ecuación matemática

$$V_m = - 0.0002 [S]^2 + 0.0184 [S] + 0.0638$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento para obtener la ecuación matemática que prediga la velocidad de maduración para todos los valores promedios de concentración de sacarosa bajo las diferentes condiciones de maduración empleadas en este análisis y los dos proveedores.

3. Análisis de error

3.1. Error de precisión por incertidumbre

El refractómetro empleado para la medición de grados Brix del plátano posee una unidad mínima de medición de 0.2°Bx por tal la incertidumbre del valor de medición de grados brix es obtenida mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta[S] = \frac{[S]_{\min}}{2} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

$\Delta[S]$: Incertidumbre del valor puntual de medición de grados Brix (\pm °Bx)

$[S]_{\min}$: Valor mínimo de grados Brix medido en el refractómetro (°Bx)

Para el presente análisis se posee la siguiente incertidumbre del valor puntual de medición:

$$\Delta[S] = \frac{0.2^\circ \text{Bx}}{2} = \pm 0.1^\circ \text{Bx}$$

El **error de precisión por incertidumbre** es obtenido por la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_i \% = \frac{\Delta[S]}{[S]_p} * 100\% \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

$\Delta[S]$: Incertidumbre del valor puntual de medición de grados Brix (\pm °Bx)

$[S]_p$: Valor promedio de concentración (°Bx)

Ejemplo 1: Para el primer valor promedio de concentración de sacarosa bajo las condiciones de maduración de 30 cajas de plátanos con maduración tardía y carburación seca de concentración 1851.81 g CaC₂ / t realizada a temperatura ambiente normal.

$$\varepsilon_i \% = \frac{\pm 0.1^\circ \text{Bx}}{6.83^\circ \text{Bx}} * 100\% = 1.46\%$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento para calcular el error de precisión por incertidumbre para todos los valores promedios de concentración de sacarosa bajo las diferentes condiciones de maduración empleadas en este análisis y los dos proveedores.

3.2. Error de precisión por desviación

Dado a que el resultado obtenido es una regresión de concentración de sacarosa (°Bx) en función del tiempo de maduración (h) se calcula el **error típico** en dicha regresión. Para el cual se emplea el programa Excel de Microsoft, la herramienta Análisis de datos. Para Excel 2003 los pasos para calcular el error típico son:

- PASO 1 Clic en barra de menú
- PASO 2 Clic en complementos
- PASO 3 Herramienta para análisis
- PASO 4 Aceptar
- PASO 5 Clic en barra de herramientas
- PASO 6 Análisis de datos
- PASO 7 Regresión
- PASO 8 Ingresar columnas respectivas al eje X y eje Y de regresión

PASO 9 Clic en aceptar

PASO 10 En la tabla de resultados la intersección entre la columna de **error típico** y la fila **Variable X1** corresponde al error típico de la pendiente de la regresión.

Ejemplo 2: Para los datos obtenidos de concentración de sacarosa en la regresión obtenida bajo las condiciones de maduración de 30 cajas de plátanos con maduración tardía y carburación seca de concentración 1851.81 g CaC₂ / t realizada a temperatura ambiente normal. Se obtuvo un error típico de regresión de:

$$Error\ típico = \pm 0.0517^{\circ}Bx$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento para calcular el error de precisión por incertidumbre para todos los valores promedios de concentración de sacarosa bajo las diferentes condiciones de maduración empleadas en este análisis y los dos proveedores.

El **error de precisión por desviación** es obtenido por la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_d \% = \frac{Error\ típico}{[S]p} * 100\% \quad (Ec. 4)$$

Donde:

[S]p: Valor promedio de concentración (°Bx)

Ejemplo 3: Para el primer valor promedio de concentración de sacarosa bajo las condiciones de maduración de 30 cajas de plátanos con maduración tardía y

carburación seca de concentración 1851.81 g CaC₂ / t realizada a temperatura ambiente normal.

$$\varepsilon_d \% = \frac{0.0517^\circ Bx}{6.83^\circ Bx} * 100\% = 0.7568\%$$

Nota: se realizó el mismo procedimiento para calcular el error de precisión por incertidumbre para todos los valores promedios de concentración de sacarosa bajo las diferentes condiciones de maduración empleadas en este análisis y los dos proveedores.

3.3. Error de exactitud

Para realizar el análisis de error de exactitud se realizó una maduración de prueba con las condiciones de: plátanos procedentes del proveedor Jacobo Molina en maduración tardía con una carburación seca y concentración de 1851.81 g CaC₂ / t a temperatura ambiente normal. Los datos obtenidos en la maduración mencionada corresponden a los datos experimentales mientras que los datos teóricos fueron obtenidos mediante el modelo matemático de concentración de sacarosa de acuerdo a la tabla No. 14. La ecuación con la cual se calculo el error de exactitud al cumplir aproximadamente los 26°Bx fue la siguiente:

$$\varepsilon_e \% = \frac{|\text{Dato teórico} - \text{Dato experimental}|}{\text{Dato teórico}} * 100\% \quad (\text{Ec. 5})$$

Ejemplo 4: Para los datos experimentales obtenidos bajo las condiciones de maduración de maduración tardía y carburación seca de concentración 1851.81 g CaC₂ / t realizada a temperatura ambiente normal.

Para la concentración de sacarosa

$$\varepsilon_e \% = \frac{|25.67 - 26.00|}{25.67} * 100\% = 1.29\%$$

Nota: El procedimiento fue empleado únicamente para calcular el error de exactitud con los datos obtenidos en la medición realizada al finalizar la maduración de prueba con plátanos procedentes del proveedor Jacobo Molina en maduración tardía con una carburación seca y concentración de 1851.81 g CaC₂ / t a temperatura ambiente normal.

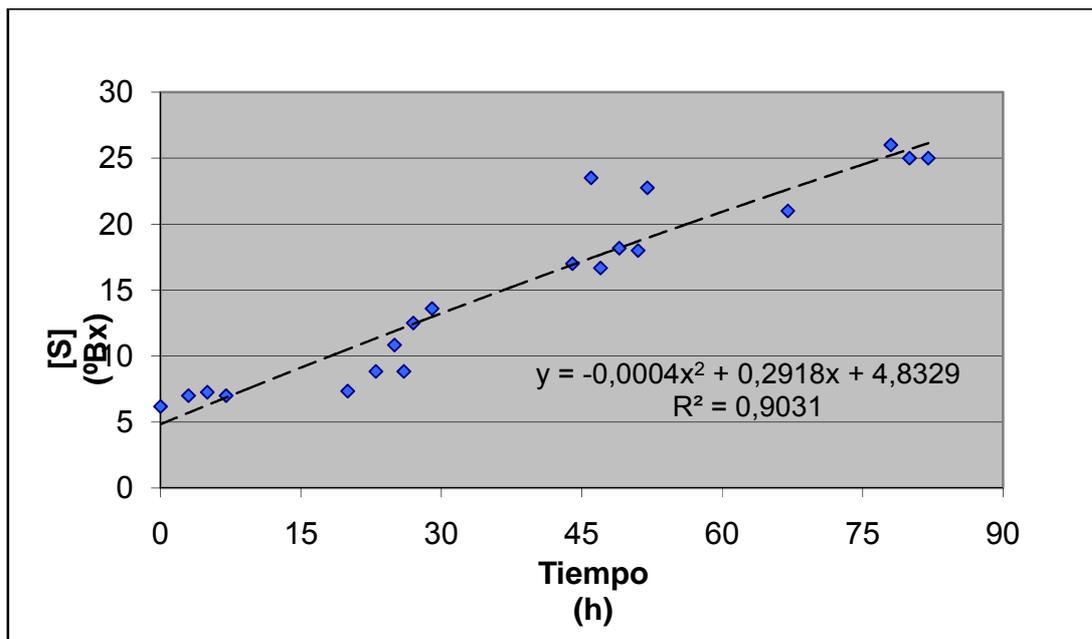
APÉNDICE 2

DATOS CALCULADOS

Tabla XIX. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración temprana
Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30
cajas

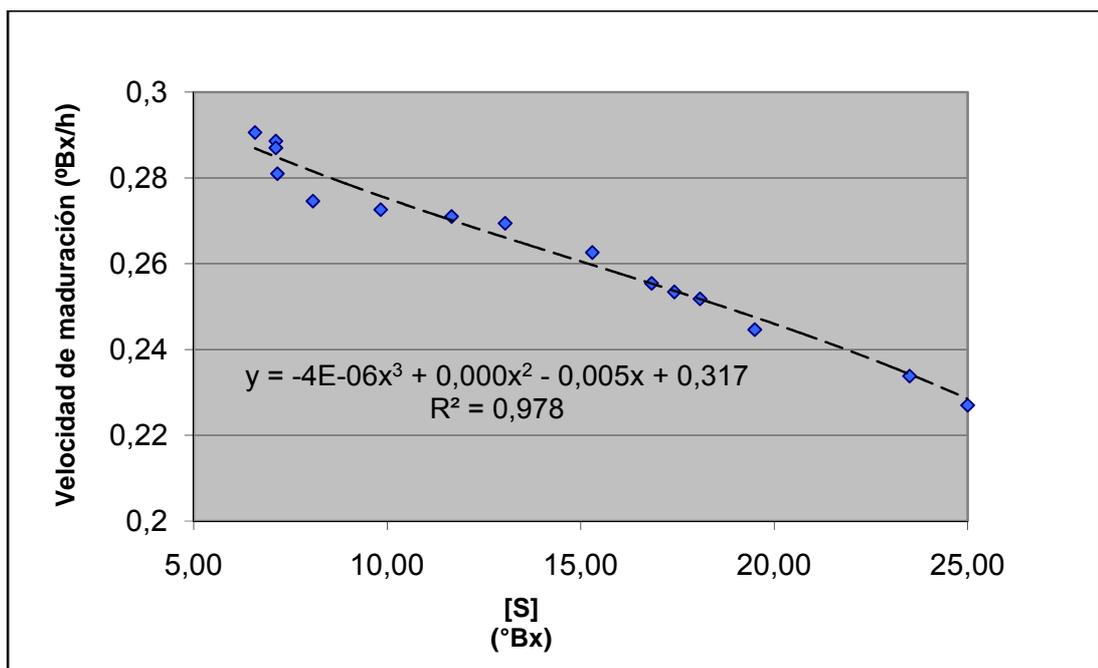
TIEMPO (horas)	°Bx	Error de precisión por desviación	Error de precisión por incertidumbre	TIEMPO promedio (horas)	Concentración PROMEDIO °Bx	VELOCIDAD DE MADURACIÓN (°Bx/h)
0	6.18	0.33	1.62			
3	7.00	0.29	1.43	1.50	6.59	0.291
5	7.25	0.28	1.38	4.00	7.13	0.289
7	7.00	0.29	1.43	6.00	7.13	0.287
20	7.33	0.28	1.36	13.50	7.17	0.281
23	8.84	0.23	1.13	21.50	8.08	0.275
25	10.83	0.19	0.92	24.00	9.83	0.273
27	12.50	0.23	1.13	26.00	11.67	0.271
29	13.60	0.16	0.80	28.00	13.05	0.269
44	17.00	0.15	0.74	36.50	15.30	0.263
47	16.67	0.12	0.59	45.50	16.84	0.255
49	18.17	0.09	0.43	48.00	17.42	0.253
51	18.00	0.12	0.60	50.00	18.09	0.252
67	21.00	0.11	0.55	59.00	19.50	0.245
78	26.00	0.11	0.56	72.50	23.50	0.234
80	25.00	0.09	0.44	79.00	25.50	0.229
82	25.00	0.10	0.48	81.00	25.00	0.227
PROMEDIO		0.17	0.84			
ERROR TÍPICO		0.0202				

Figura 3. Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración
Proveedor A, carburación húmeda, maduración temprana,
concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30
cajas



Fuente: tabla XIX

Figura 4. Relación entre Velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración temprana. Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas

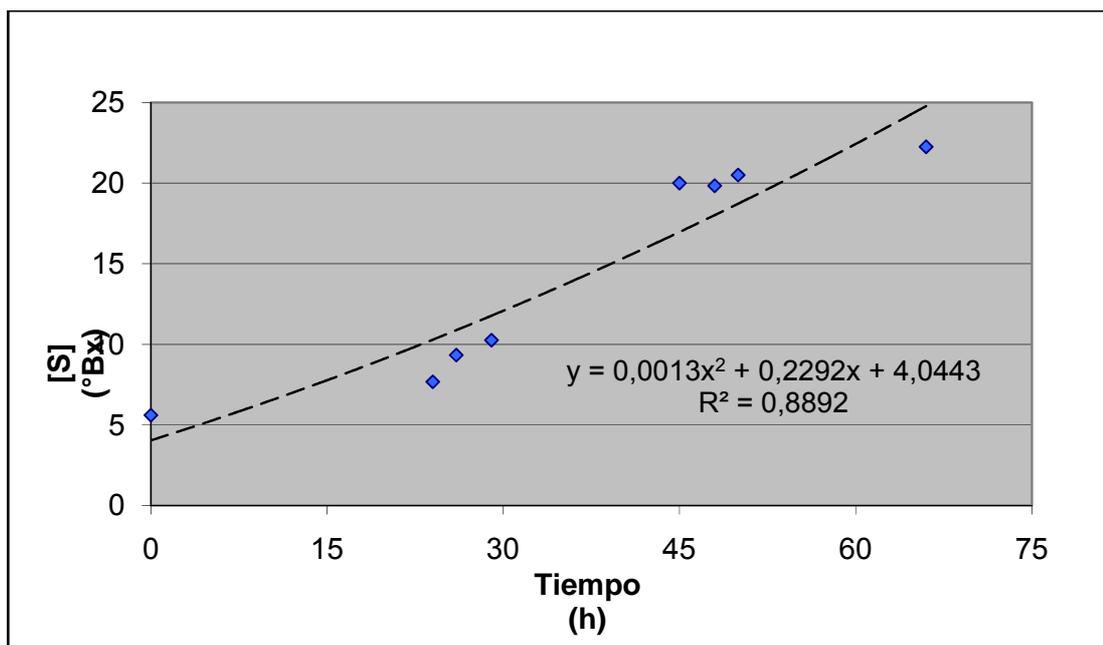


Fuente: tabla XIX

Tabla XX. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración temprana
 Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 50 cajas

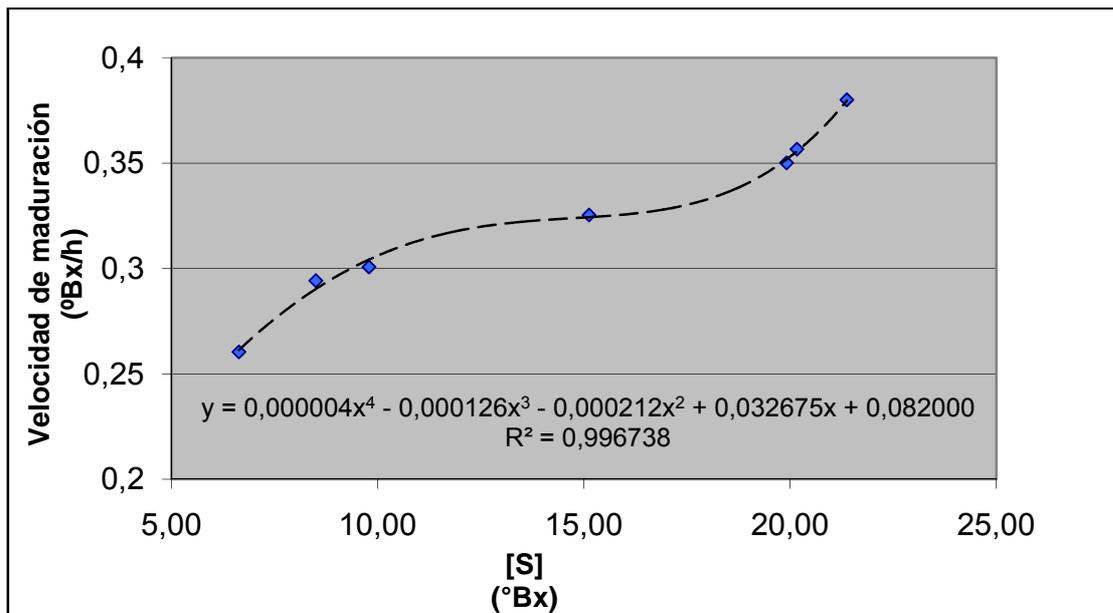
TIEMPO (horas)	°Bx	Error de precisión por desviación	Error de precisión por incertidumbre	TIEMPO promedio (horas)	Concentración PROMEDIO °Bx	VELOCIDAD DE MADURACIÓN (°Bx/h)
0	5.60	0.84	1.79			
24	7.67	0.61	1.30	12.00	6.64	0.260
26	9.33	0.50	1.07	25.00	8.50	0.294
29	10.25	0.46	0.98	27.50	9.79	0.301
45	20.00	0.23	0.50	37.00	15.13	0.325
48	19.83	0.24	0.50	46.50	19.92	0.350
50	20.50	0.23	0.49	49.00	20.17	0.357
66	22.25	0.21	0.45	58.00	21.38	0.380
PROMEDIO		0.41	0.88			
ERROR TÍPICO		0.0469				

Figura 5. Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración
Proveedor A, Carburación húmeda, maduración temprana.
Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 50
cajas



Fuente: tabla XX

Figura 6. Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa
Proveedor A, Carburación húmeda, maduración temprana.
Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 50
cajas

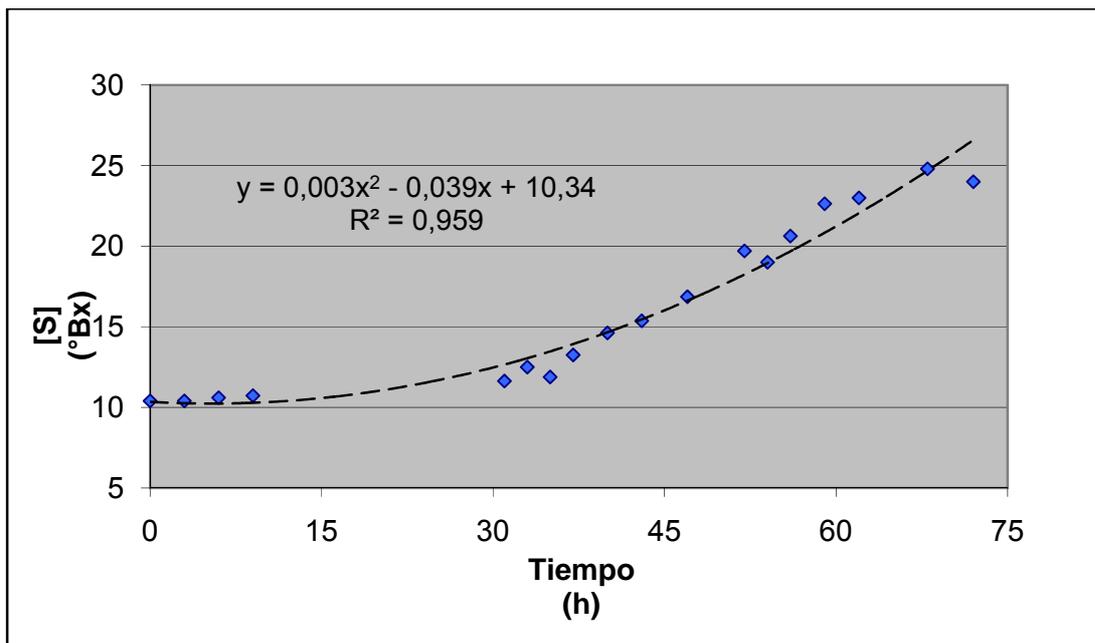


Fuente: tabla XX

Tabla XXI. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración temprana
 Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración
 192 cajas

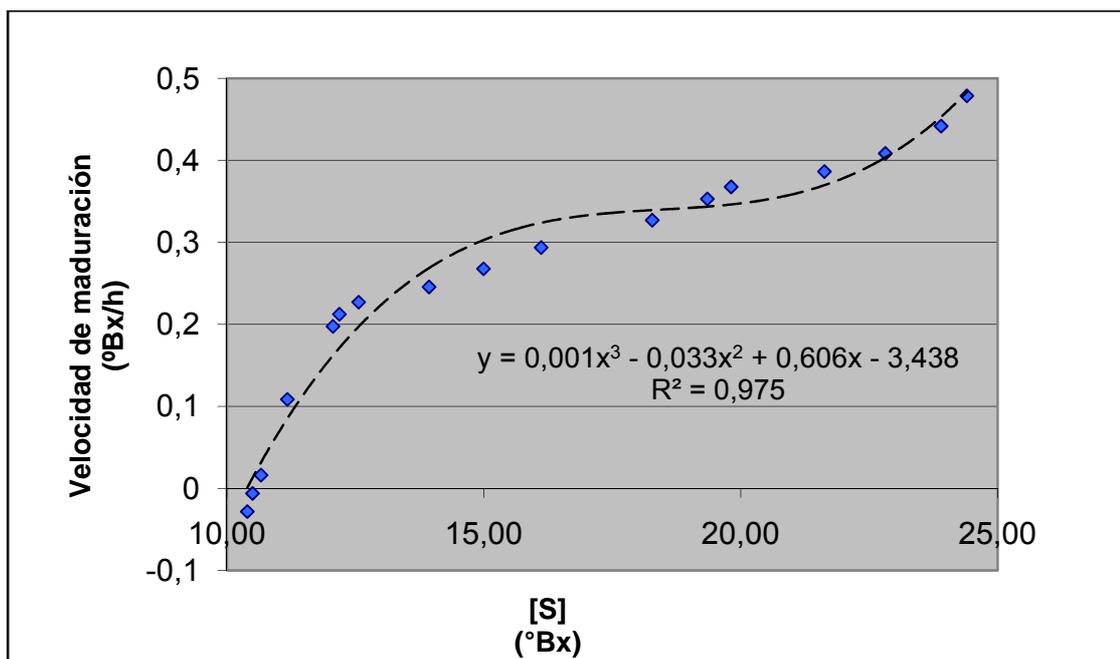
TIEMPO (horas)	°Bx	Error de precisión por desviación	Error de precisión por incertidumbre	TIEMPO promedio (horas)	Concentración PROMEDIO °Bx	VELOCIDAD DE MADURACIÓN (°Bx/h)
0	10.40	0.22	0.96			
3	10.40	0.22	0.96	1.50	10.40	-0.028
6	10.60	0.21	0.94	4.50	10.50	-0.006
9	10.73	0.21	0.93	7.50	10.67	0.016
31	11.63	0.19	0.86	20.00	11.18	0.109
33	12.50	0.18	0.80	32.00	12.07	0.198
35	11.88	0.19	0.84	34.00	12.19	0.212
37	13.25	0.17	0.75	36.00	12.57	0.227
40	14.62	0.15	0.68	38.50	13.94	0.246
43	15.37	0.15	0.65	41.50	15.00	0.268
47	16.86	0.13	0.59	45.00	16.12	0.294
52	19.70	0.11	0.51	49.50	18.28	0.327
54	19.00	0.12	0.53	53.00	19.35	0.353
56	20.63	0.11	0.48	55.00	19.82	0.368
59	22.63	0.10	0.44	57.50	21.63	0.386
62	23.00	0.10	0.43	60.50	22.82	0.408
68	24.80	0.09	0.40	65.00	23.90	0.442
72	24.00	0.09	0.42	70.00	24.40	0.479
PROMEDIO		0.15	0.68			
ERROR TÍPICO		0.0224				

Figura 7. Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración temprana. Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 192 cajas



Fuente: tabla XXI

Figura 8. Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa
Proveedor A, Carburación húmeda, maduración temprana.
Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 192
cajas

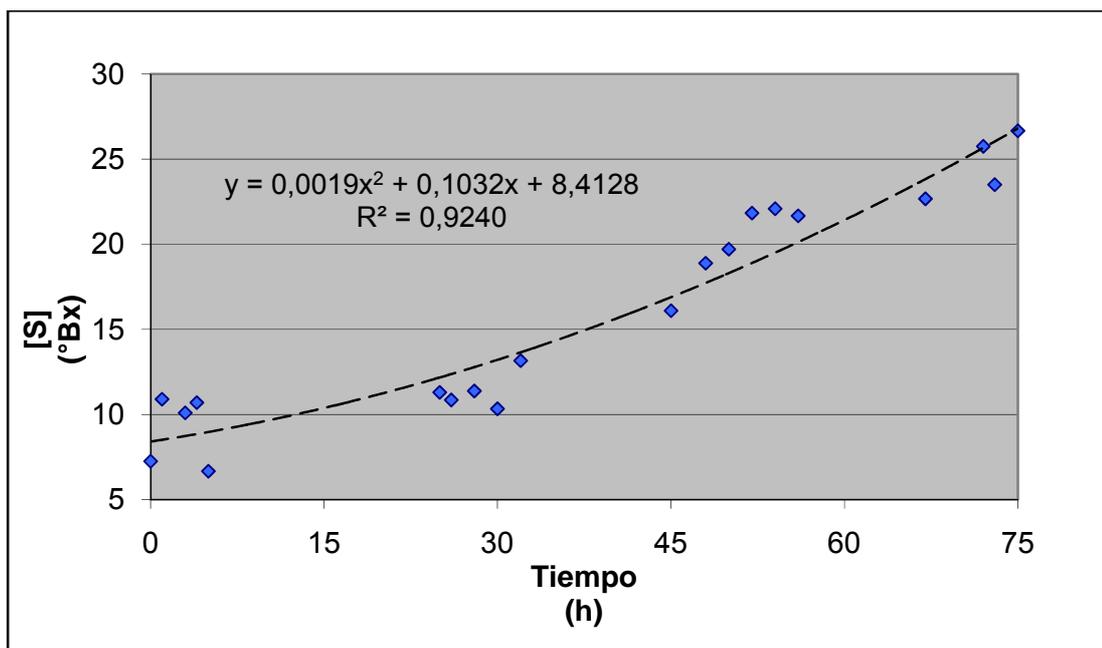


Fuente: tabla XXI

Tabla XXII. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía
 Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30
 cajas

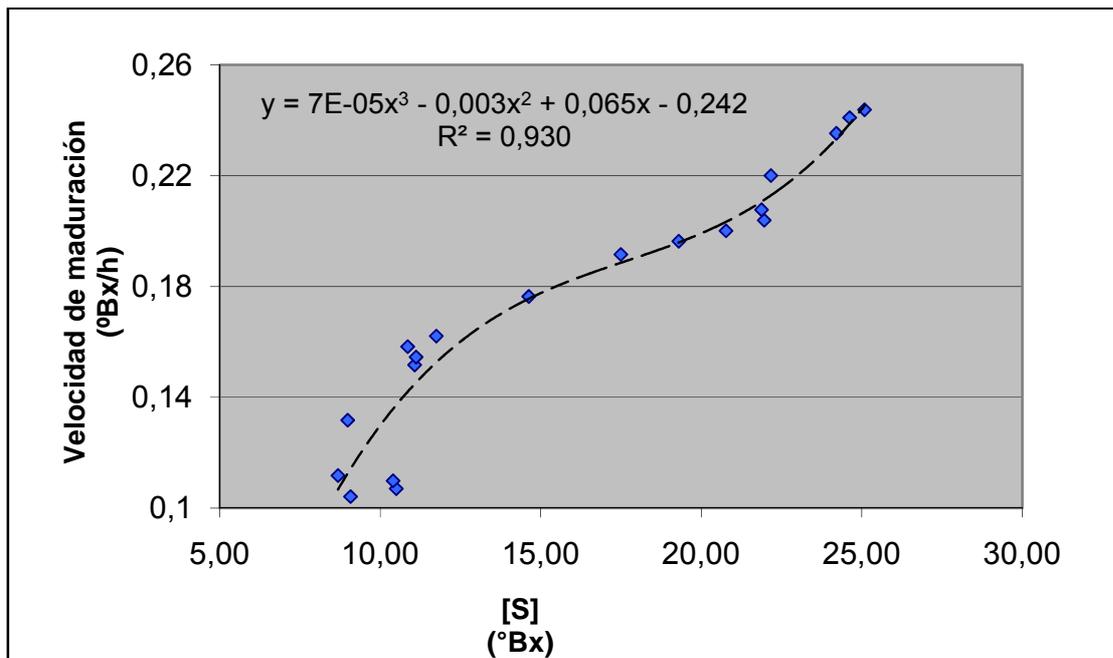
TIEMPO (horas)	°Bx	Error de precisión por desviación	Error de precisión por incertidumbre	TIEMPO promedio (horas)	Concentración PROMEDIO °Bx	VELOCIDAD DE MADURACIÓN (°Bx/h)
0	7.25	0.26	1.38			
1	10.90	0.17	0.92	0.50	9.08	0.104
3	10.10	0.19	0.99	2.00	10.50	0.107
4	10.70	0.18	0.93	3.50	10.40	0.110
5	6.67	0.29	1.50	4.50	8.69	0.112
25	11.30	0.17	0.88	15.00	8.99	0.132
26	10.85	0.18	0.92	25.50	11.08	0.152
28	11.38	0.17	0.88	27.00	11.12	0.155
30	10.33	0.18	0.97	29.00	10.86	0.158
32	13.16	0.14	0.76	31.00	11.75	0.162
45	16.10	0.12	0.62	38.50	14.63	0.176
48	18.89	0.10	0.53	46.50	17.50	0.192
50	19.71	0.10	0.51	49.00	19.30	0.196
52	21.84	0.09	0.46	51.00	20.77	0.200
54	22.09	0.09	0.45	53.00	21.96	0.204
56	21.67	0.09	0.46	55.00	21.88	0.208
67	22.67	0.08	0.44	61.50	22.17	0.220
PROMEDIO		0.07	0.39			
ERROR TÍPICO		0.0190				

Figura 9. Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía. Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas



Fuente: tabla XXII

Figura 10. Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía. Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas

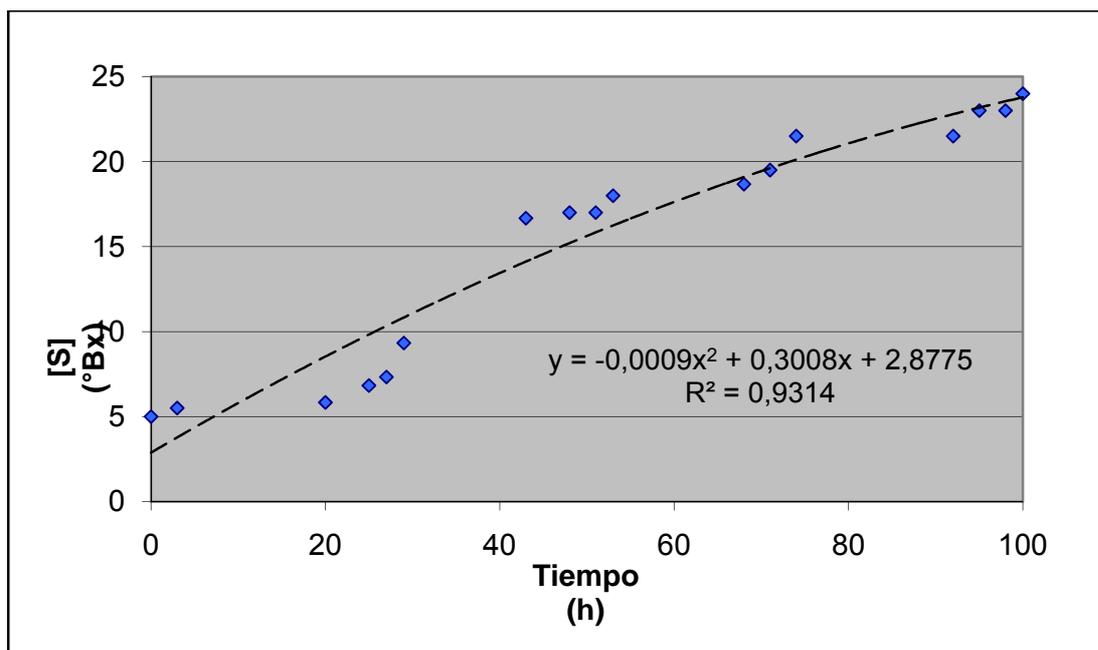


Fuente: tabla XXII

Tabla XXIII. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía
 Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración
 30 cajas, temperatura ambiente baja

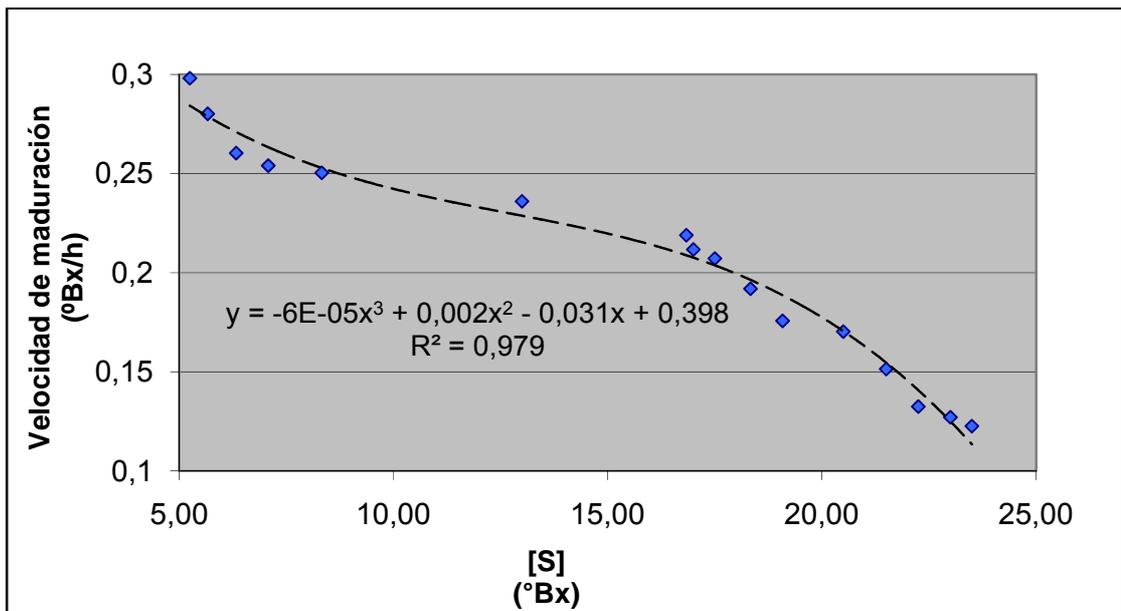
TIEMPO (horas)	°Bx	Error de precisión por desviación	Error de precisión por incertidumbre	TIEMPO promedio (horas)	Concentración PROMEDIO °Bx	VELOCIDAD DE MADURACIÓN (°Bx/h)
0	5.00	0.32	2.00			
3	5.50	0.29	1.82	1.50	5.25	0.298
20	5.83	0.27	1.72	11.50	5.67	0.280
25	6.83	0.23	1.46	22.50	6.33	0.260
27	7.33	0.22	1.36	26.00	7.08	0.254
29	9.33	0.17	1.07	28.00	8.33	0.250
43	16.67	0.10	0.60	36.00	13.00	0.236
48	17.00	0.09	0.59	45.50	16.84	0.219
51	17.00	0.09	0.59	49.50	17.00	0.212
53	18.00	0.09	0.56	52.00	17.50	0.207
68	18.67	0.09	0.54	60.50	18.34	0.192
71	19.50	0.08	0.51	69.50	19.09	0.176
74	21.50	0.07	0.47	72.50	20.50	0.170
92	21.50	0.07	0.47	83.00	21.50	0.151
95	23.00	0.07	0.43	93.50	22.25	0.133
98	23.00	0.07	0.43	96.50	23.00	0.127
100	24.00	0.07	0.42	99.00	23.50	0.123
PROMEDIO		0.14	0.88			
ERROR TÍPICO		0.0160				

Figura 11. Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía. Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas. Temperatura ambiente baja



Fuente: tabla XXIII

Figura 12. Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía. Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas. Temperatura ambiente baja

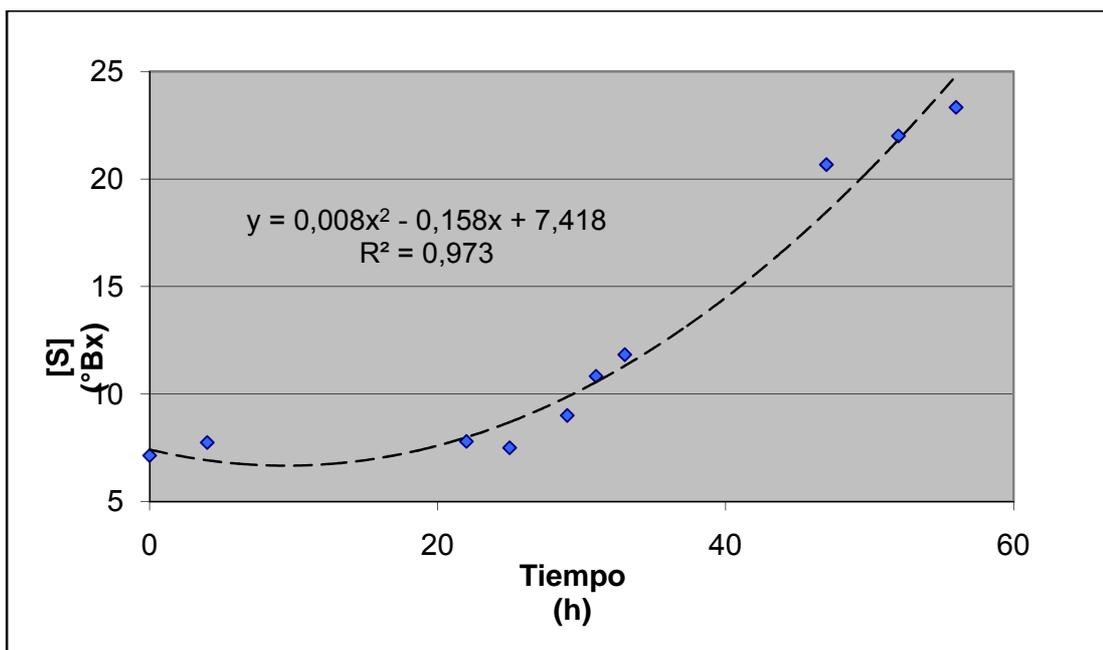


Fuente: tabla XXIII

Tabla XXIV. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía
 Concentración de 5556.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración
 30 cajas

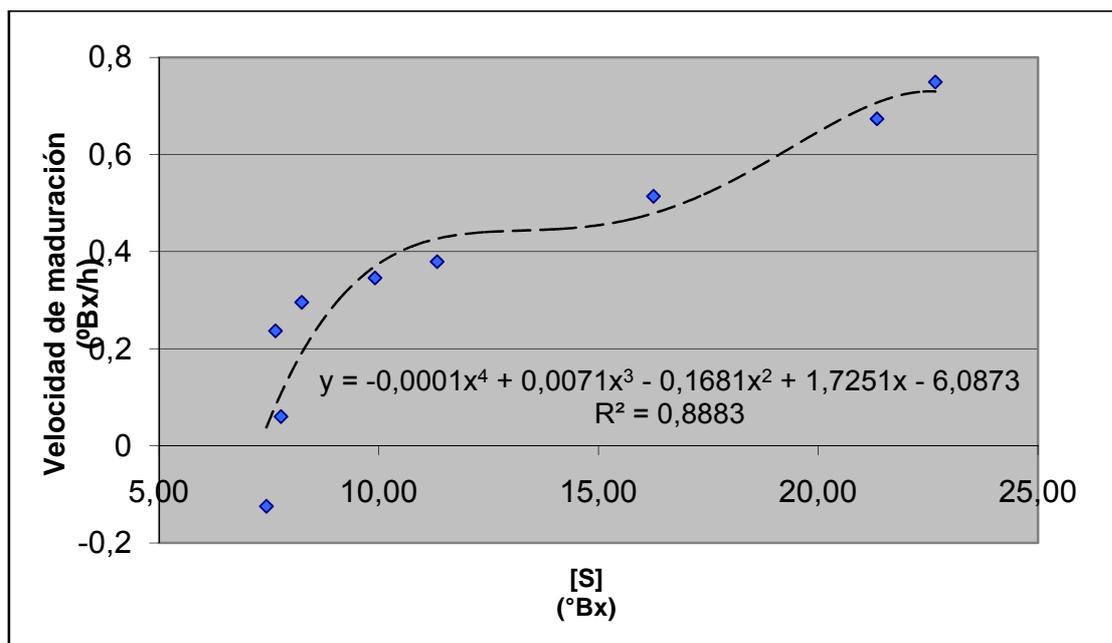
TIEMPO (horas)	°Bx	Error de precisión por desviación	Error de precisión por incertidumbre	TIEMPO promedio (horas)	Concentración PROMEDIO °Bx	VELOCIDAD DE MADURACIÓN (°Bx/h)
0	7.14	0.80	1.40			
4	7.75	0.74	1.29	2.00	7.45	-0.125
22	7.80	0.74	1.28	13.00	7.78	0.060
25	7.50	0.76	1.33	23.50	7.65	0.237
29	9.00	0.64	1.11	27.00	8.25	0.295
31	10.83	0.53	0.92	30.00	9.92	0.346
33	11.83	0.48	0.85	32.00	11.33	0.379
47	20.67	0.28	0.48	40.00	16.25	0.514
52	22.00	0.26	0.45	49.50	21.34	0.673
56	23.33	0.25	0.43	54.00	22.67	0.749
PROMEDIO		0.55	0.96			
ERROR TÍPICO		0.0573				

Figura 13. Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía. Concentración de 5556.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas



Fuente: tabla XXIV

Figura 14. Relación entre velocidad de maduración concentración de sacarosa. Proveedor A, Carburación húmeda, maduración tardía. Concentración de 5556.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas

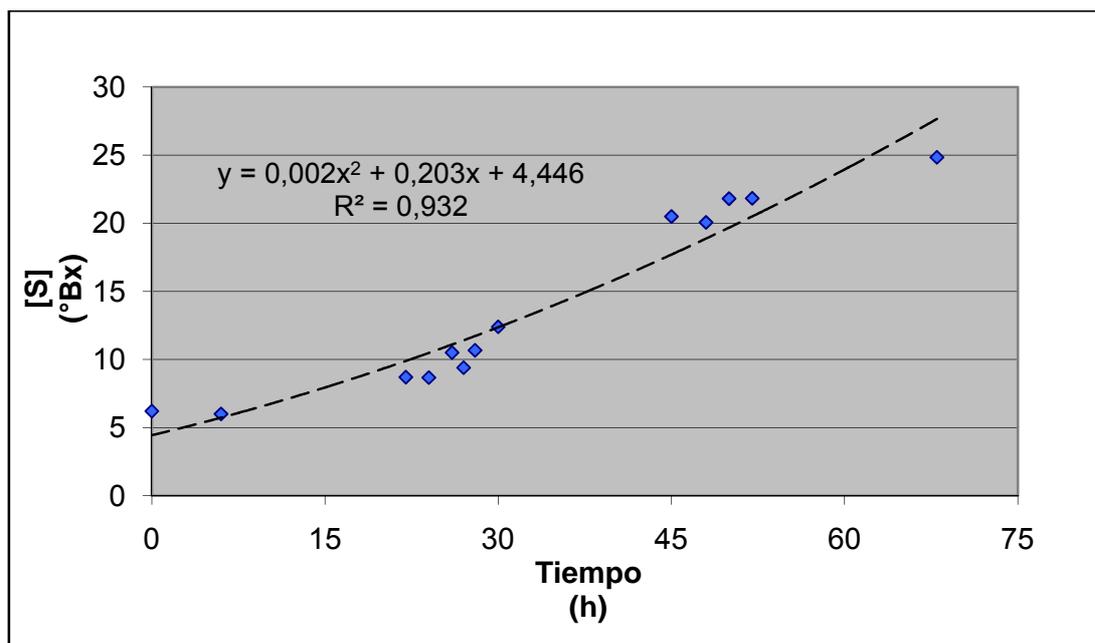


Fuente: tabla XXIV

Tabla XXV. Proveedor B, carburación seca, maduración temprana
 Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración
 30 cajas

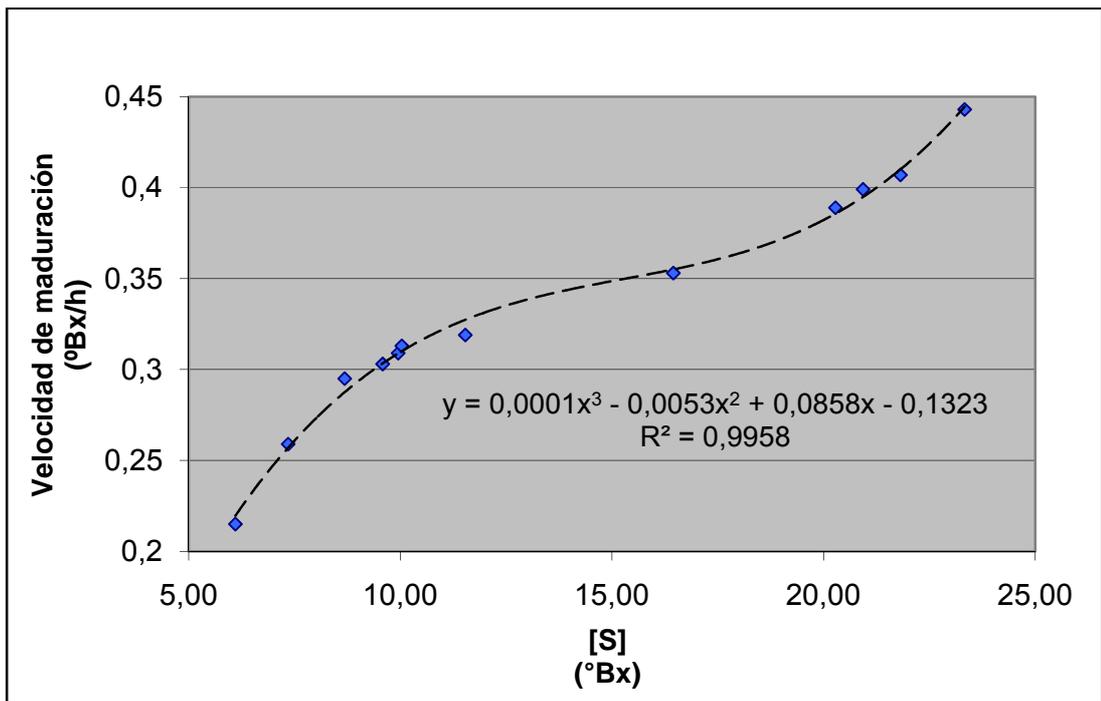
TIEMPO (horas)	°Bx	Error de precisión por desviación	Error de precisión por incertidumbre	TIEMPO promedio (horas)	Concentración PROMEDIO °Bx	VELOCIDAD DE MADURACIÓN (°Bx/h)
0	6.21	0.49	1.61			
6	6.00	0.51	1.67	3.00	6.10	0.215
22	8.70	0.35	1.15	14.00	7.35	0.259
24	8.67	0.35	1.15	23.00	8.69	0.295
26	10.50	0.29	0.95	25.00	9.59	0.303
27	9.40	0.33	1.06	26.50	9.95	0.309
28	10.67	0.29	0.94	27.50	10.04	0.313
30	12.40	0.25	0.81	29.00	11.54	0.319
45	20.50	0.15	0.49	37.50	16.45	0.353
48	20.07	0.15	0.50	46.50	20.28	0.389
50	21.80	0.14	0.46	49.00	20.93	0.399
52	21.83	0.14	0.46	51.00	21.82	0.407
68	24.84	0.12	0.40	60.00	23.33	0.443
PROMEDIO		0.27	0.90			
ERROR TÍPICO		0.0307				

Figura 15. Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor B, Carburación seca, maduración temprana. Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas



Fuente: tabla XXV

Figura 16. Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor B, Carburación seca, maduración temprana. Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas

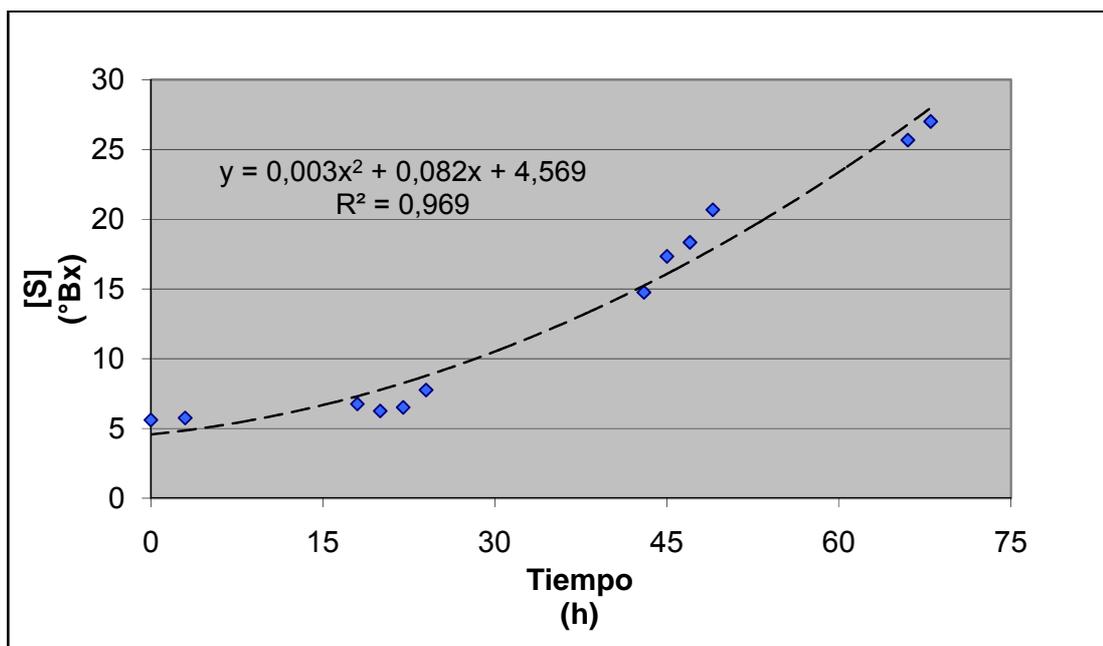


Fuente: tabla XXV

Tabla XXVI. Proveedor B, carburación seca, maduración temprana
 Concentración de 2222.40 g CaC₂ / t y volumen de maduración
 30 cajas

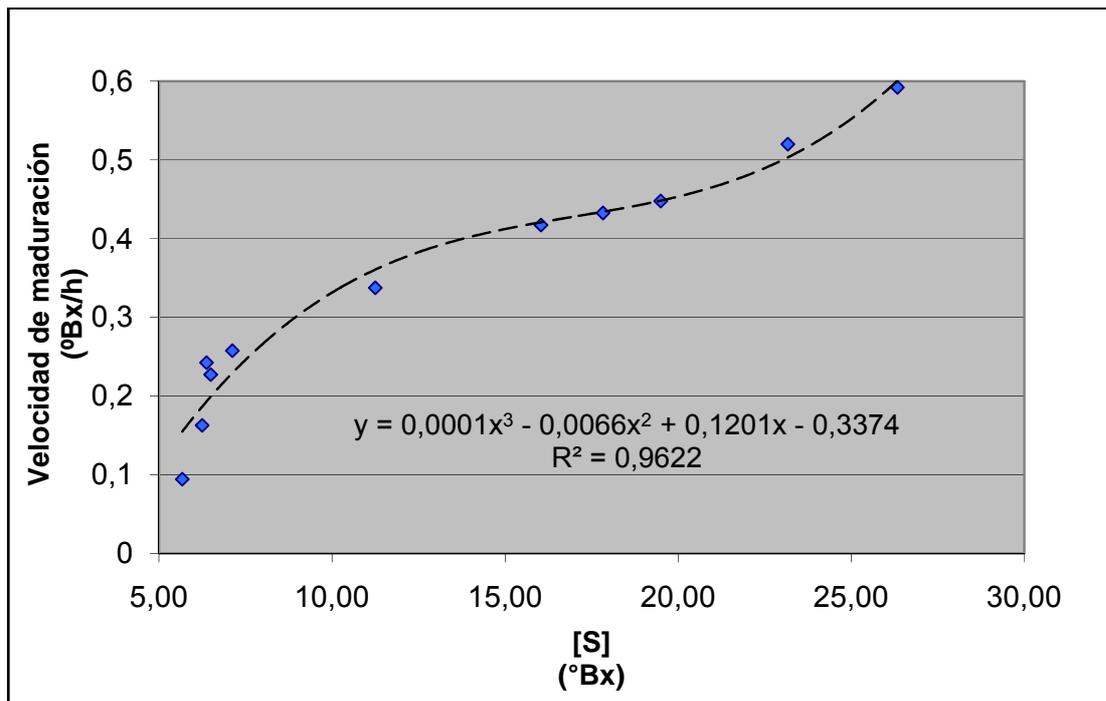
TIEMPO (horas)	°Bx	Error de precisión por desviación	Error de precisión por incertidumbre	TIEMPO promedio (horas)	Concentración PROMEDIO °Bx	VELOCIDAD DE MADURACIÓN (°Bx/h)
0	5.60	0.57	1.79			
3	5.75	0.55	1.74	1.50	5.68	0.094
18	6.75	0.47	1.48	10.50	6.25	0.163
20	6.25	0.51	1.60	19.00	6.50	0.227
22	6.50	0.49	1.54	21.00	6.38	0.242
24	7.75	0.41	1.29	23.00	7.13	0.258
43	14.75	0.21	0.68	33.50	11.25	0.337
45	17.33	0.18	0.58	44.00	16.04	0.417
47	18.33	0.17	0.55	46.00	17.83	0.432
49	20.67	0.15	0.48	48.00	19.50	0.448
66	25.67	0.12	0.39	57.50	23.17	0.520
68	27.00	0.12	0.37	67.00	26.34	0.592
PROMEDIO		0.33	1.04			
ERROR TÍPICO		0.0316				

Figura 17. Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor B, Carburación seca, maduración temprana. Concentración de 2222.40 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas



Fuente: tabla XXVI

Figura 18. Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor B, Carburación seca, maduración temprana. Concentración de 2222.40 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas

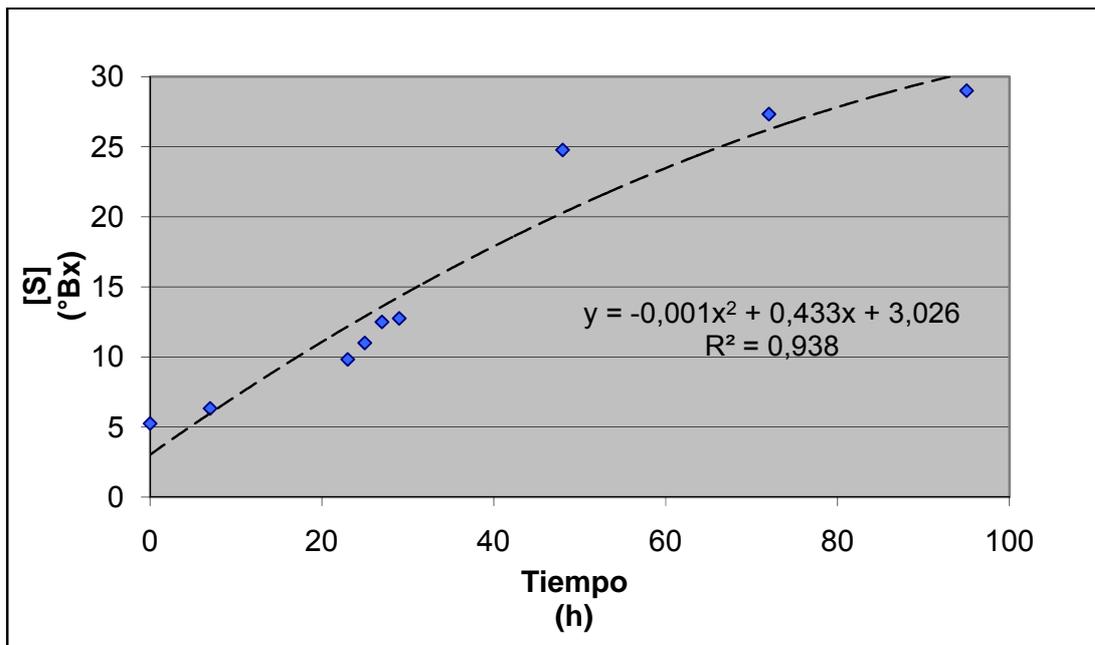


Fuente: tabla XXVI

Tabla XXVII. Proveedor B, carburación seca, maduración temprana
 Concentración de 2222.40 g CaC₂ / t y volumen de maduración
 15 cajas

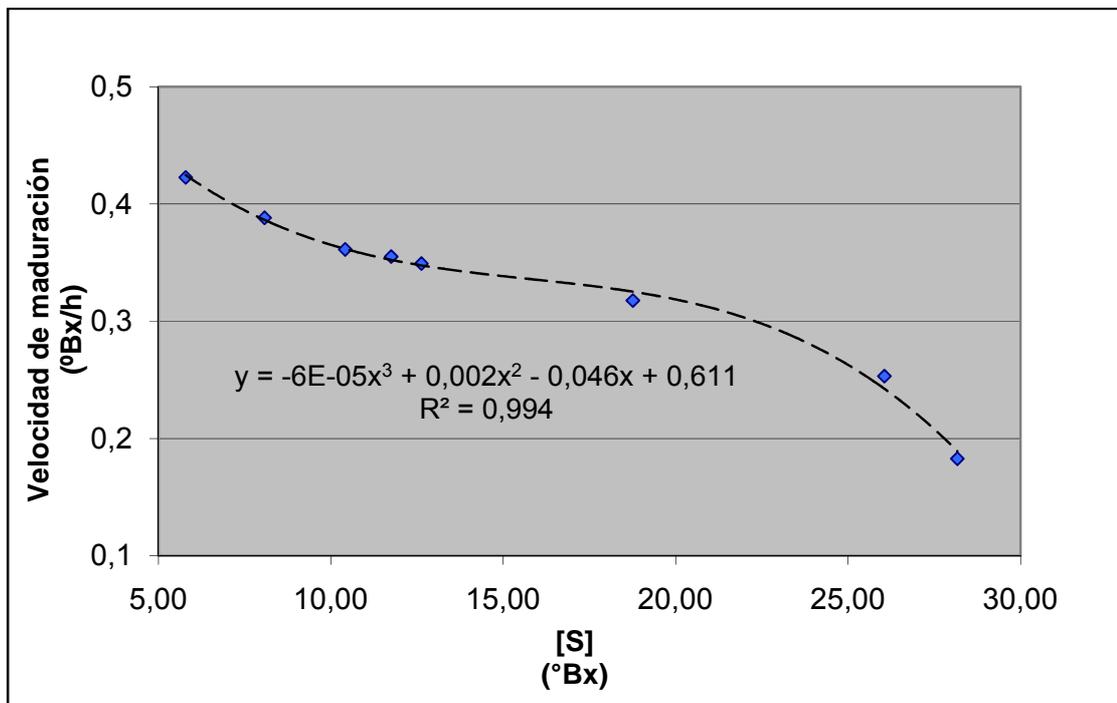
TIEMPO (horas)	°Bx	Error de precisión por desviación	Error de precisión por incertidumbre	TIEMPO promedio (horas)	Concentración PROMEDIO °Bx	VELOCIDAD DE MADURACIÓN (°Bx/h)
0	5.25	0.62	1.90			
7	6.33	0.51	1.58	3.50	5.79	0.423
23	9.83	0.33	1.02	15.00	8.08	0.388
25	11.00	0.29	0.91	24.00	10.42	0.361
27	12.50	0.26	0.80	26.00	11.75	0.355
29	12.75	0.25	0.78	28.00	12.63	0.349
48	24.77	0.13	0.40	38.50	18.76	0.318
72	27.33	0.12	0.37	60.00	26.05	0.253
95	29.00	0.11	0.34	83.50	28.17	0.183
PROMEDIO		0.29	0.90			
ERROR TÍPICO		0.0324				

Figura 19. Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor B, Carburación seca, maduración temprana. Concentración de 2222.40 g CaC₂ / t y volumen de maduración 15 cajas



Fuente: tabla XXVII

Figura 20. Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor B, Carburación seca, maduración temprana. Concentración de 2222.40 g CaC₂ / t y volumen de maduración 15 cajas

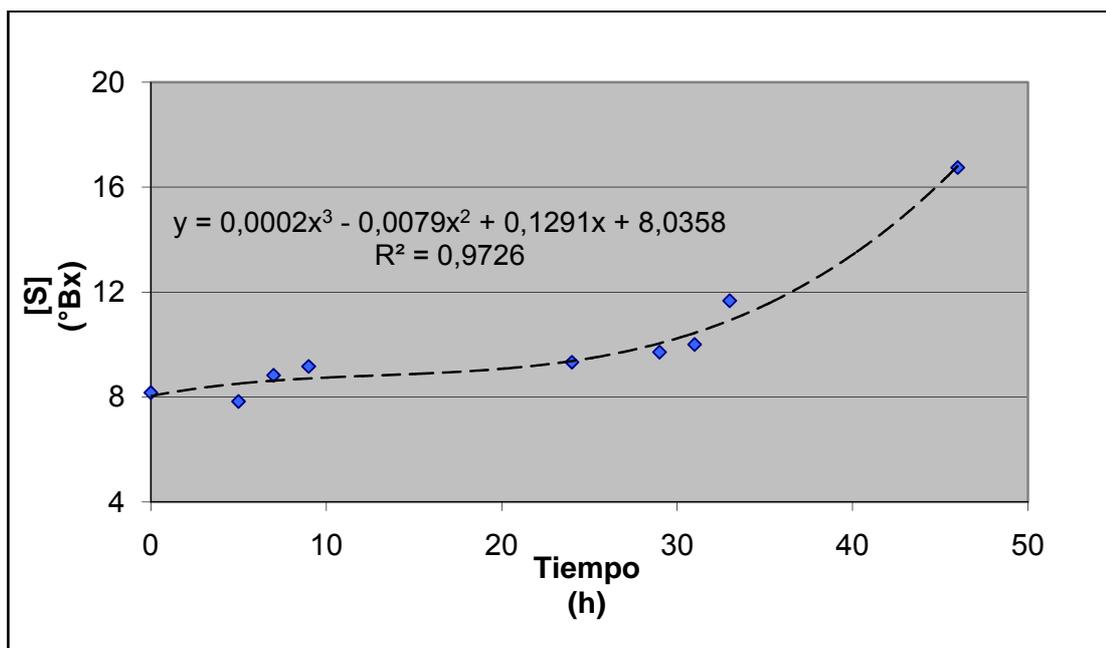


Fuente: tabla XXVII

Tabla XXVIII. Proveedor B, carburación seca, maduración tardía
 Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de
 maduración 30 cajas

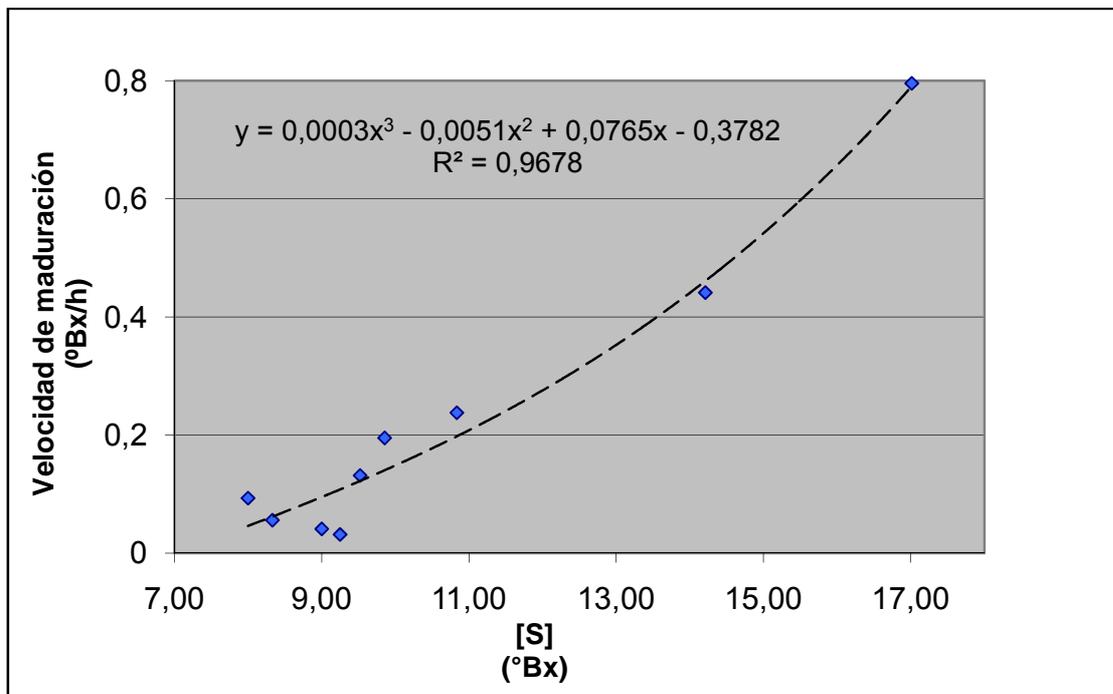
TIEMPO (horas)	°Bx	Error de precisión por desviación	Error de precisión por incertidumbre	TIEMPO promedio (horas)	Concentración PROMEDIO °Bx	VELOCIDAD DE MADURACIÓN (°Bx/h)
0	8.17	0.44	1.22			
5	7.83	0.46	1.28	2.50	8.00	0.091
7	8.83	0.41	1.13	6.00	8.33	0.038
9	9.17	0.39	1.09	8.00	9.00	0.007
24	9.33	0.38	1.07	16.50	9.25	-0.122
29	9.71	0.37	1.03	26.50	9.52	-0.274
31	10.00	0.36	1.00	30.00	9.86	-0.327
33	11.67	0.31	0.86	32.00	10.84	-0.357
46	16.75	0.21	0.60	39.50	14.21	-0.471
52	17.28	0.21	0.58	49.00	17.02	-0.616
55	17.75	0.20	0.56	53.50	17.52	-0.684
57	18.33	0.20	0.55	56.00	18.04	-0.722
74	21.33	0.17	0.47	65.50	19.83	-0.867
77	23.33	0.15	0.43	75.50	22.33	-1.019
79	24.00	0.15	0.42	78.00	23.67	-1.057
81	25.33	0.14	0.39	80.00	24.67	-1.087
PROMEDIO		0.28	0.79			
ERROR TÍPICO		0.0358				

Figura 21. Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía. Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas



Fuente: tabla XXVIII

Figura 22. Relación entre Velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía. Concentración de 2778.00 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas

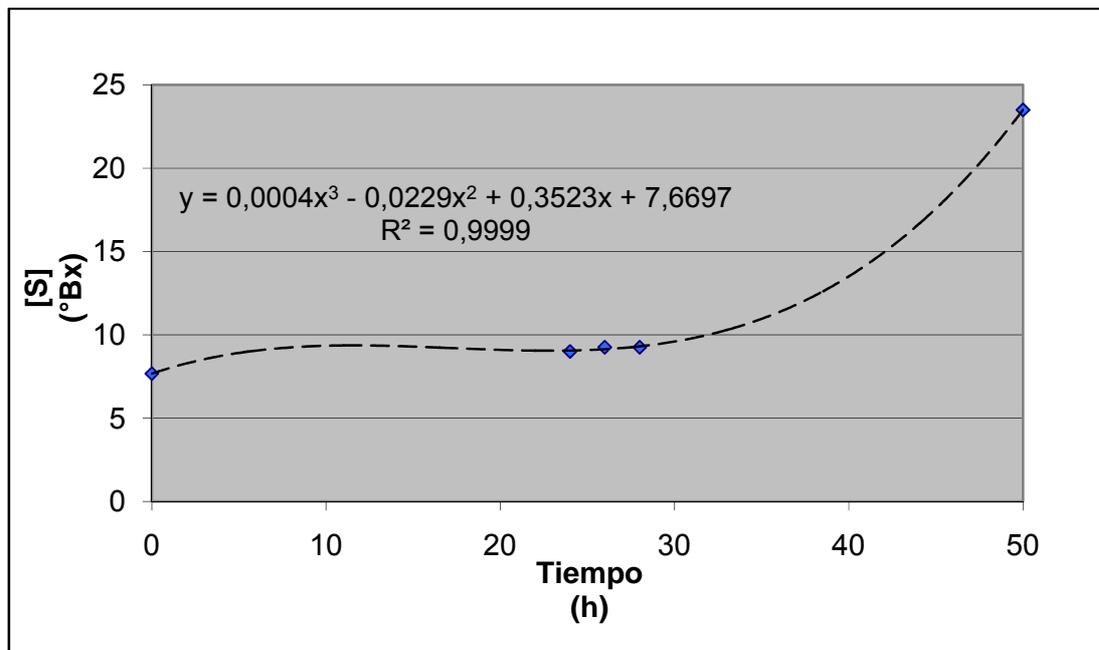


Fuente: tabla XXVIII

Tabla XXIX. Proveedor B, carburación seca, maduración tardía
 Concentración de 2222.40 g CaC₂ / t y volumen de maduración
 30 cajas

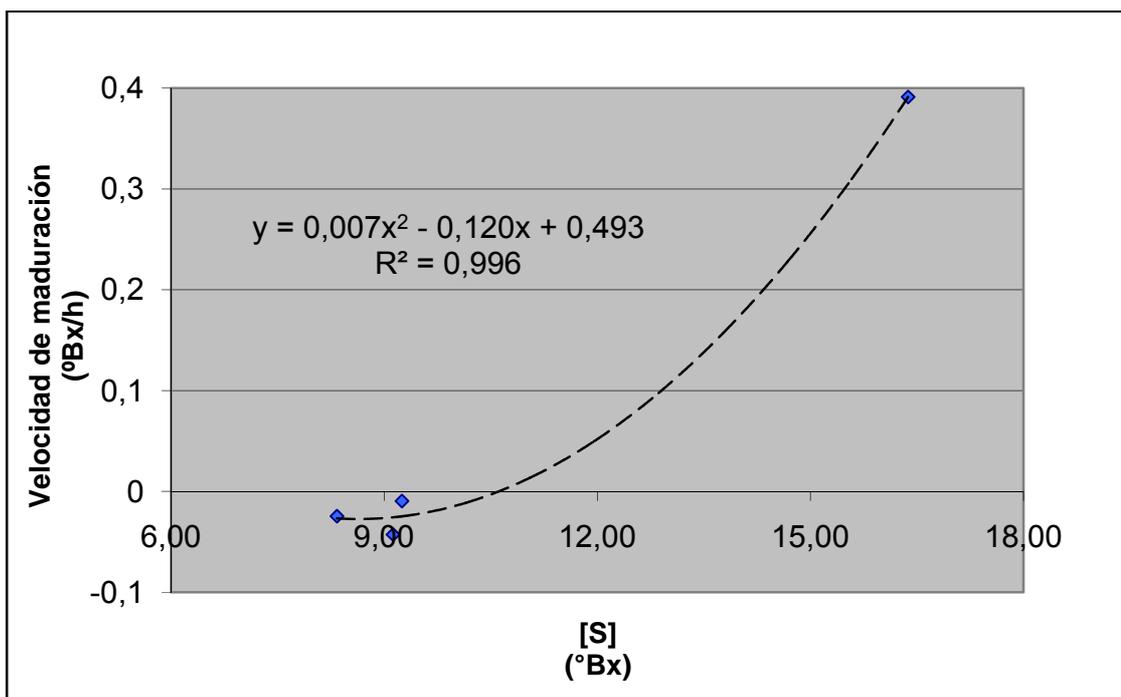
TIEMPO (horas)	°Bx	Error de precisión por desviación	Error de precisión por incertidumbre	TIEMPO promedio (horas)	Concentración PROMEDIO °Bx	VELOCIDAD DE MADURACIÓN (°Bx/h)
0	7.67	1.57	1.30			
24	9.00	1.34	1.11	12.00	8.34	-0.183
26	9.25	1.30	1.08	25.00	9.13	-0.763
28	9.25	1.30	1.08	27.00	9.25	-0.852
50	23.50	0.51	0.43	39.00	16.38	-1.387
PROMEDIO		1.21	1.00			
ERROR TÍPICO		0.1205				

Figura 23. Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía. Concentración de 2222.40 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas



Fuente: tabla XXIX

Figura 24. Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía. Concentración de 2222.40 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas

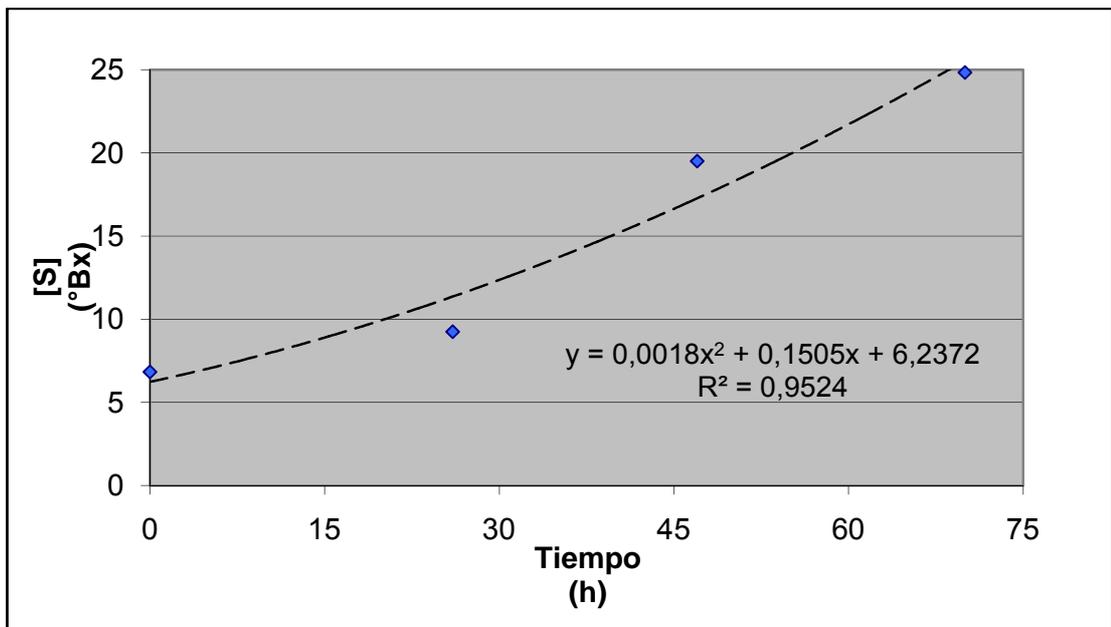


Fuente: tabla XXIX

Tabla XXX. Proveedor B, carburación seca, maduración tardía
 Concentración de 1851.81 g CaC₂ / t y volumen de maduración
 30 cajas

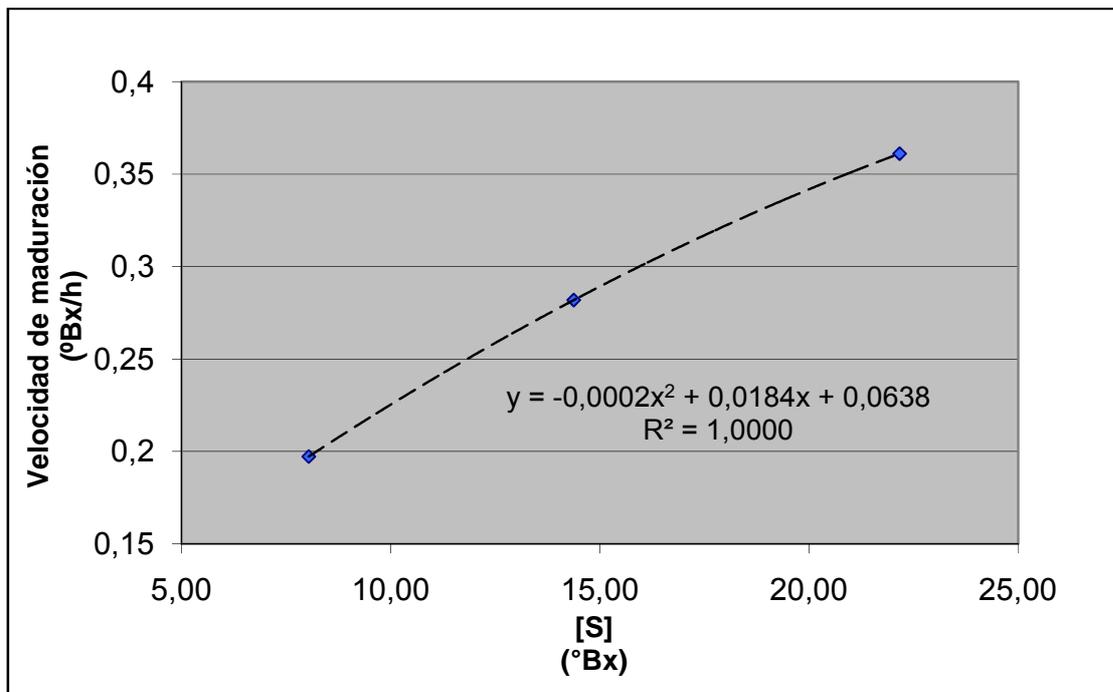
TIEMPO (horas)	°Bx	Error de precisión por desviación	Error de precisión por incertidumbre	TIEMPO promedio (horas)	Concentración PROMEDIO °Bx	VELOCIDAD DE MADURACIÓN (°Bx/h)
0	6.83	0.76	1.46			
26	9.25	0.56	1.08	13.00	8.04	0.197
47	19.50	0.27	0.51	36.50	14.38	0.282
70	24.83	0.21	0.40	58.50	22.17	0.361
PROMEDIO		0.45	0.87			
ERROR TÍPICO		0.0517				

Figura 25. Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía. Concentración de 1851.81 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas



Fuente: tabla XXX

Figura 26. Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía. Concentración de 1851.81 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas

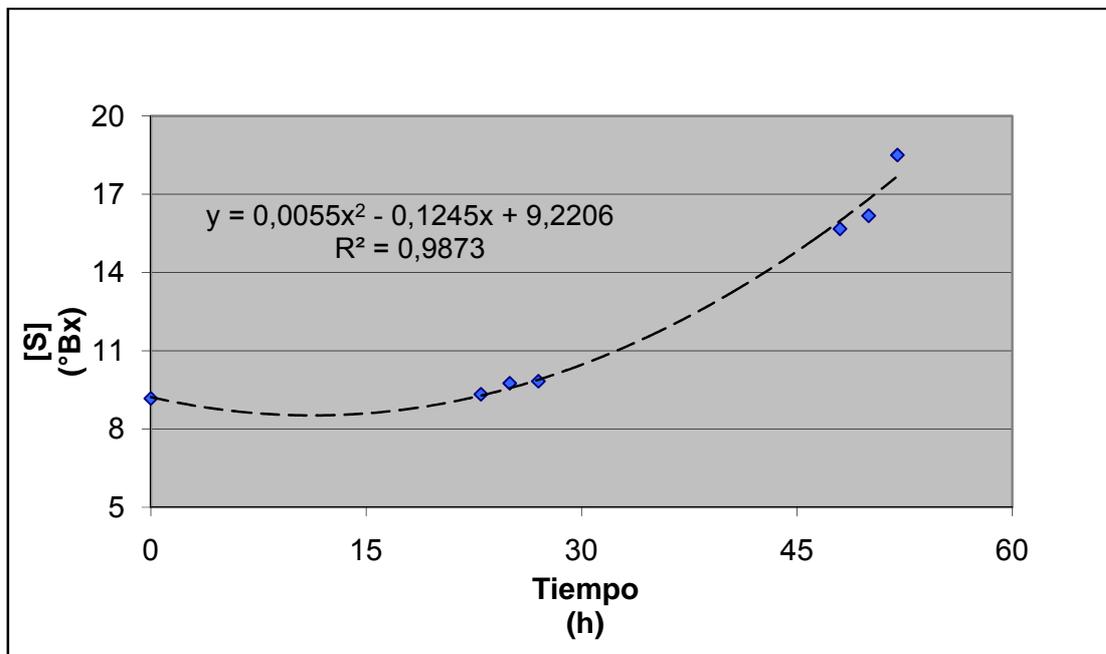


Fuente: tabla XXX

Tabla XXXI. Proveedor B, carburación seca, maduración tardía
 Concentración de 1851.81 g CaC₂ / t y volumen de maduración
 30 cajas, temperatura ambiente baja

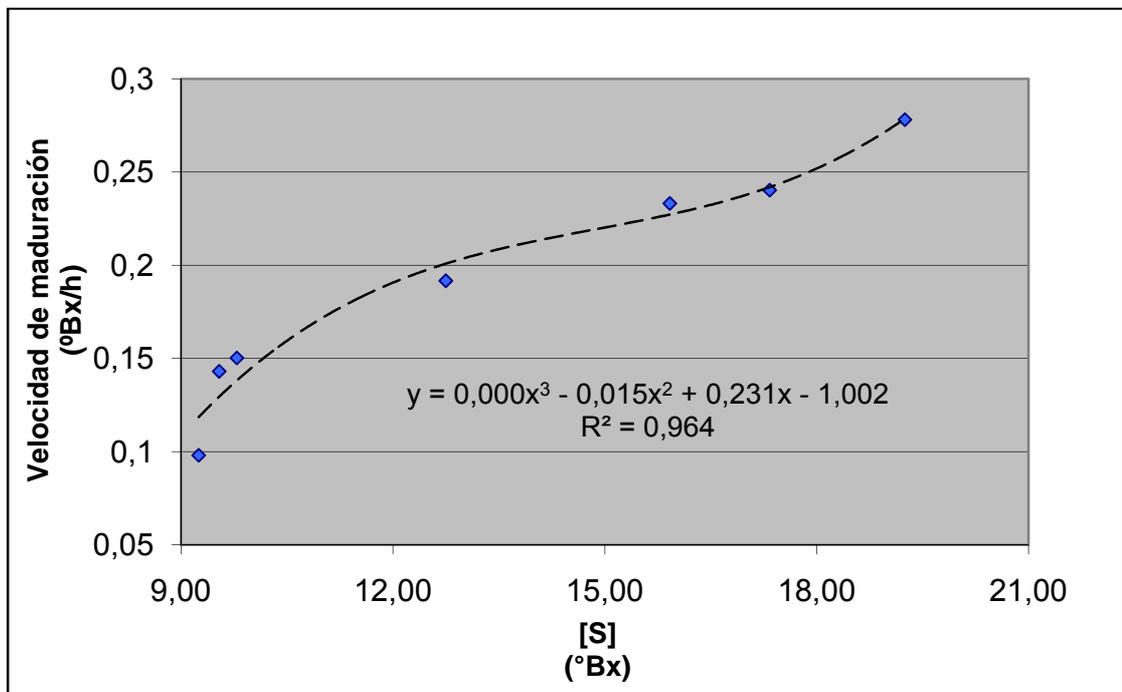
TIEMPO (horas)	°Bx	Error de precisión por desviación	Error de precisión por incertidumbre	TIEMPO promedio (horas)	Concentración PROMEDIO °Bx	VELOCIDAD DE MADURACIÓN (°Bx/h)
0	9.17	0.33	1.09			
23	9.33	0.33	1.07	11.50	9.25	0.098
25	9.75	0.31	1.03	24.00	9.54	0.143
27	9.83	0.31	1.02	26.00	9.79	0.150
48	15.67	0.20	0.64	37.50	12.75	0.192
50	16.17	0.19	0.62	49.00	15.92	0.233
52	18.50	0.17	0.54	51.00	17.34	0.240
71	20.00	0.15	0.50	61.50	19.25	0.278
PROMEDIO		0.25	0.81			
ERROR TÍPICO		0.0306				

Figura 27. Relación entre concentración de sacarosa y tiempo de maduración. Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía. Concentración de 1851.81 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas. Temperatura ambiente baja



Fuente: tabla XXXI

Figura 28. Relación entre velocidad de maduración y concentración de sacarosa. Proveedor B, Carburación seca, maduración tardía. Concentración de 1851.81 g CaC₂ / t y volumen de maduración 30 cajas. Temperatura ambiente baja



Fuente: tabla XXXI

APÉNDICE 3

CONCENTRACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL CARBURO DE CALCIO EN LA MADURACIÓN DE PLÁTANO

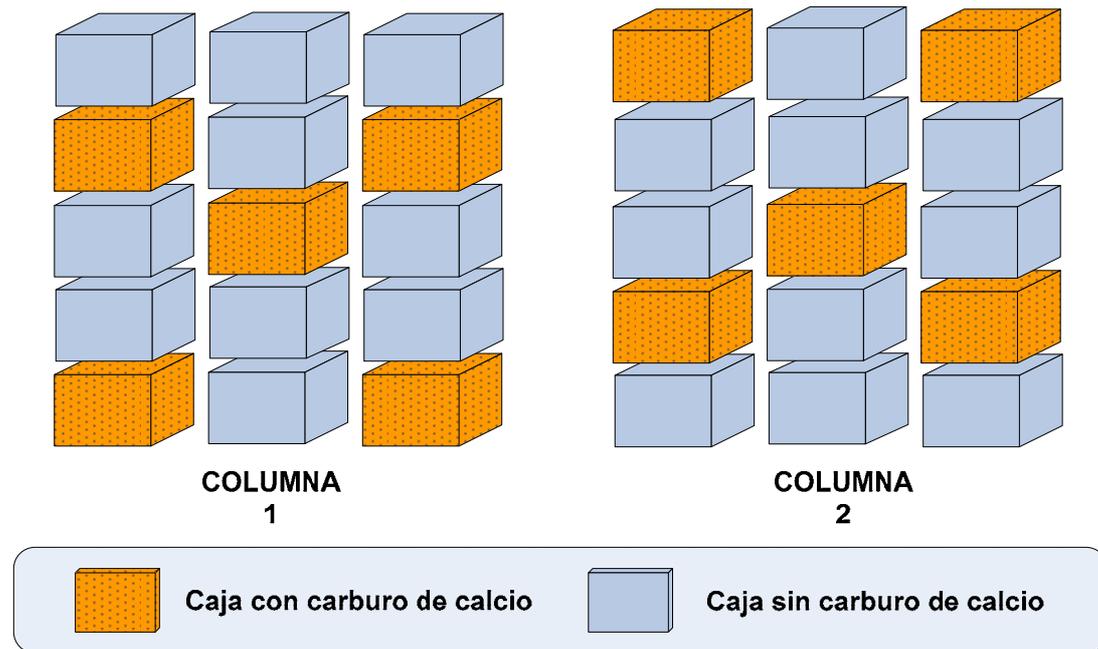
De acuerdo con estudios realizados, las concentraciones y las distribuciones empleadas para dichos estudios son los siguientes:

	Concentración (g CaC₂/t)
A	1851.81
B	2222.40
C	2778.00
D	5556.00

	DISTRIBUCIÓN
a	100 gramos cada 1 caja
b	200 gramos cada 1 caja
c	100 gramos cada 2 cajas

Figura 29. Distribución de carburo de calcio, concentración: 1851.81 g CaC_2 /t

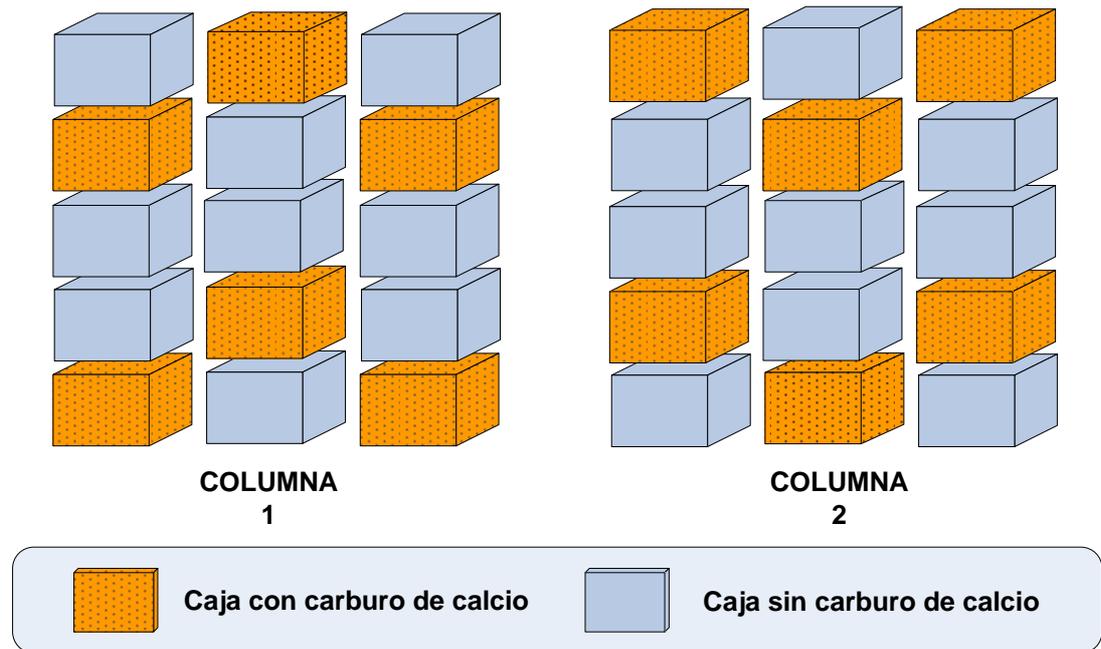
Para una tarima de 30 cajas



GRAMOS TOTALES POR TARIMA (30 cajas)	DISTRIBUCIÓN
1000 g	100 g cada 2 cajas

Figura 30. Distribución de carburo de calcio, concentración: 2222.40 g CaC_2/t

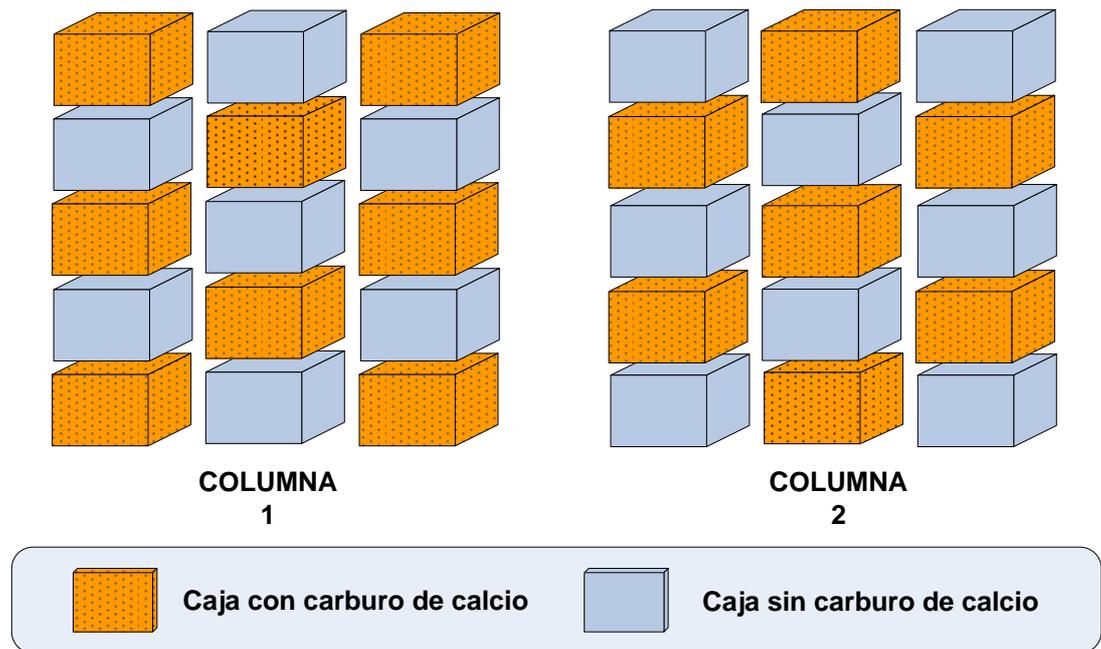
Para una tarima de 30 cajas



GRAMOS TOTALES POR TARIMA (30 cajas)	DISTRIBUCIÓN
1200 g	100 g cada 2 cajas

Figura 31. Distribución de carburo de calcio, concentración: 2778.00 g CaC_2 /t

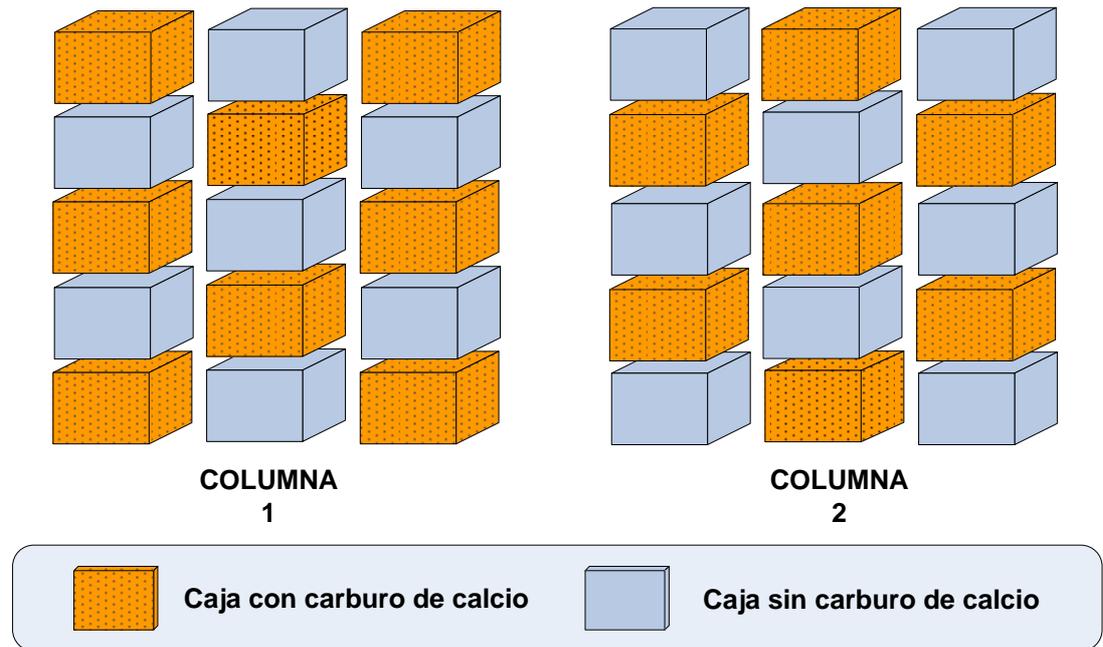
Para una tarima de 30 cajas



GRAMOS TOTALES POR TARIMA (30 cajas)	DISTRIBUCIÓN
1500 g	100 g cada 1 caja

Figura 32. Distribución de carburo de calcio, concentración: 5556.00 g CaC_2/t

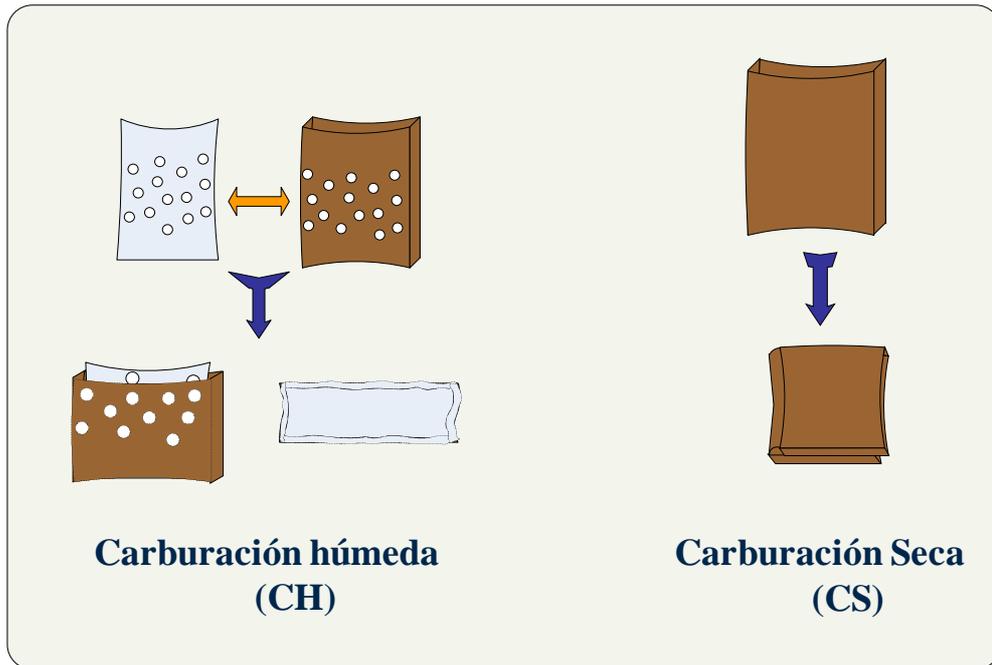
Para una tarima de 30 cajas



GRAMOS TOTALES POR TARIMA (30 cajas)	DISTRIBUCIÓN
3000 g	200 g cada 1 caja

APÉNDICE 4

Figura 33. Bolsas de maduración



COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

La relación entre la velocidad de formación de sacarosa y la concentración de sacarosa varía al modificar una de las condiciones de maduración, de la siguiente manera

a. Proveedor A

- La variación de volumen de maduración no afecta la velocidad de formación de sacarosa.
- El aumento de la concentración de carburo de calcio provoca un aumento en la velocidad de formación de sacarosa en condiciones de carburación húmeda.
- Al disminuir la temperatura ambiental de almacenaje provoca una desaceleración en la maduración.
- El iniciar la maduración de forma temprana provoca una desaceleración en la maduración del plátano con carburación húmeda.

b. Para los resultados obtenidos del proveedor B

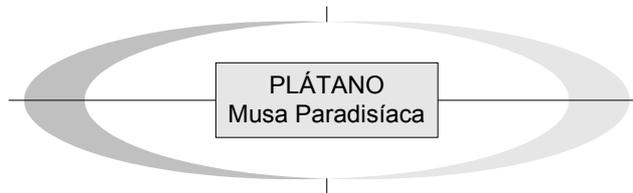
- La variación de volumen de maduración no afecta la velocidad de formación de sacarosa.
- El aumento de la concentración de carburo de calcio provoca un aumento en la velocidad de formación de sacarosa en condiciones de carburación seca.
- Al disminuir la temperatura ambiental de almacenaje provoca una disminución en la velocidad de formación de sacarosa.
- El iniciar la maduración de forma tardía provoca una disminución en la velocidad de formación de sacarosa.

ANEXOS

- ANEXO A** **Datos importantes sobre la Musa Paradisiaca.**
- ANEXO B** **Composición de frutas, verduras y plátano**
- ANEXO C** **Gráficas de aspectos bioquímicos de la maduración**
- ANEXO D** **Figuras**

ANEXO A

Figura 34. Datos importantes sobre la Musa Paradisiáca.



Tipo: Fanerogama
Sub-Tipo: Angiospermas
Familia: Musaceae
Grupo: Monocotiledóneas
Género: Musa
Serie: Eumusa
Especie: Musa paradisiáca

Hibridaciones a trabajar en el experimento:

? Cultivar AAB Variedad Curraré
? Cultivar AAB Variedad Cuerno

El plátano es una fruta climatérica la cual permanece en el árbol luego de haber llegado a la madurez fisiológica, este tipo de fruta necesita de ser cortada del árbol para que realicen su maduración de forma adecuada y pueda ser consumida.

El plátano de fruta comestible es una planta herbácea, el tallo verdadero es corto y permanece soterrado que emite ramificaciones laterales que brotan del suelo a su alrededor denominados retoños.

El meristema terminal de tallo produce hojas con una parte basal llamada vaina foliar, continuando con la aparición de hojas dispuestas de forma helicoidal formando el tronco del plátano.

Luego de haber producido cierto número de hojas funcionales el meristema central experimenta una acción hormonal lo cual detiene la diferenciación de los brotes foliares en formación y a la vez determina la inflorescencia.

La serie Eumusa llevan inflorescencias más o menos arqueadas hacia el suelo, los frutos dispuestos en manos son numerosos dispuestos en dos filas

Figura 35. Partes del plátano



1	Pedúnculo	2	Medio	3	Apice
---	-----------	---	-------	---	-------

ANEXO B

Composición y almacenamiento de frutas, verduras y plátano

Tabla XXXII. Valores aproximados de los principales nutrientes y calorías de frutas y verduras comunes

ALIMENTO	PORCIÓN	Calorías	Proteína (gm)	Agua (%)
Manzana, cruda	1 grande	117	0.6	85
Plátano, crudo	1 grande	176	2.4	76
Ejotes, cocidos	1 taza	27	1.8	92
Brócoli, cocido	2/3 taza	29	3.3	90
Zanahorias, crudas	1 taza, rallada	42	1.2	88
Naranja, entera	1 mediana	68	1.4	86
Tomates, crudos	1 grande	40	2.0	94
Papas blancas, al horno	1 mediana	98	2.4	75

Fuente:

1 De Potter (1973)

Tabla XXXIII. Composición típica porcentual de frutas. Porción comestible

FRUTAS	Carbohidratos	Proteínas	Grasa	Ceniza	Agua
Plátano	24.0	1.3	0.4	0.8	73.5
Naranja	11.3	0.9	0.2	0.5	87.1
Manzana	15.0	0.3	0.4	0.3	84.0
Fresa	8.3	0.8	0.5	0.5	89.9
Melón	6.0	1.6	1.2	1.4	92.8

Fuente:

1 De Potter (1973)

Tabla XXXIV. Requisitos de almacenamiento y propiedades de algunas frutas

FRUTA	Temperatura de almacenamiento (°F)	Humedad Relativa (%)	Vida aproximada de almacenamiento	Contenido de agua (%)
Manzanas	30 - 32	98 - 90		84.1
Plátanos	... ¹	85 - 95	... ¹	74.8
Uvas de corinto	32	80 - 85	10 - 14 días	84.7
Toronja	32 - 50	85 - 90	4 - 8 semanas	88.8
Limonos	32, 55 - 58	85 - 90	1 - 4 meses	89.3
Mangos	50	85 - 90	2 - 3 semanas	81.4
Melones	45 - 50	85 - 90	1 - 2 semanas	92.7

Fuente:

1 Véase capítulo 23 en el ASRE Data Book, 1959, o Agr. Handbook 66.

2 De Potter (1973)

Tabla XXXV. Composición de banana y plantain

COMPONENTE	Banana y Plantain
Agua	70 %
Hidratos de carbono	27
Fibras	0.5
Proteínas	1.2
Materias grasas	0.3
Cenizas	0.9
Calcio ppm	80
Fósforo	290
Hierro	6
β Caroteno ppm	2.4
Tiamina (B1)	0.5
Riboflavina (B2)	0.5
Niacina	7
Ácido ascórbico (C)	120
Energía en calorías (%)	104

Fuente:

1 De N. W. Simmonds (1973)

Tabla XXXVI. Composición química del plátano

INCAP (1)		FAO (2)	
COMPONETE	CANTIDAD	COMPONETE	CANTIDAD
Agua	62.6 g	Agua	68.2 g
Grasa	0.4 “	Grasa	0.5 “
Fibra cruda	0.8 “	Fibra cruda	0.4 “
Proteína	1.2 “	Proteína	1.2 “
Ceniza	1.3 “	Ceniza	- - -
Calcio	19.0 mg	Vitamina A	0.096 mg
Fósforo	22.0 “	Tiamina	0.06 “
Caroteno	9.2 “	Riboflavina	0.04 “
		Niasina	0.06 “
		Vitamina C	11.00 “

Fuente:

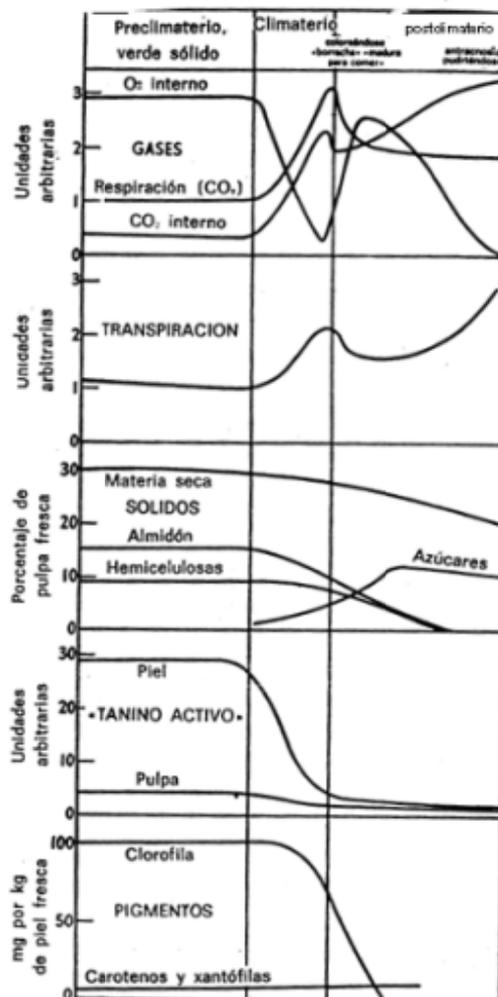
1 INCAP (1961)

2 Informe FAO (1958)

ANEXO C

Gráficas de aspectos bioquímicos de la maduración

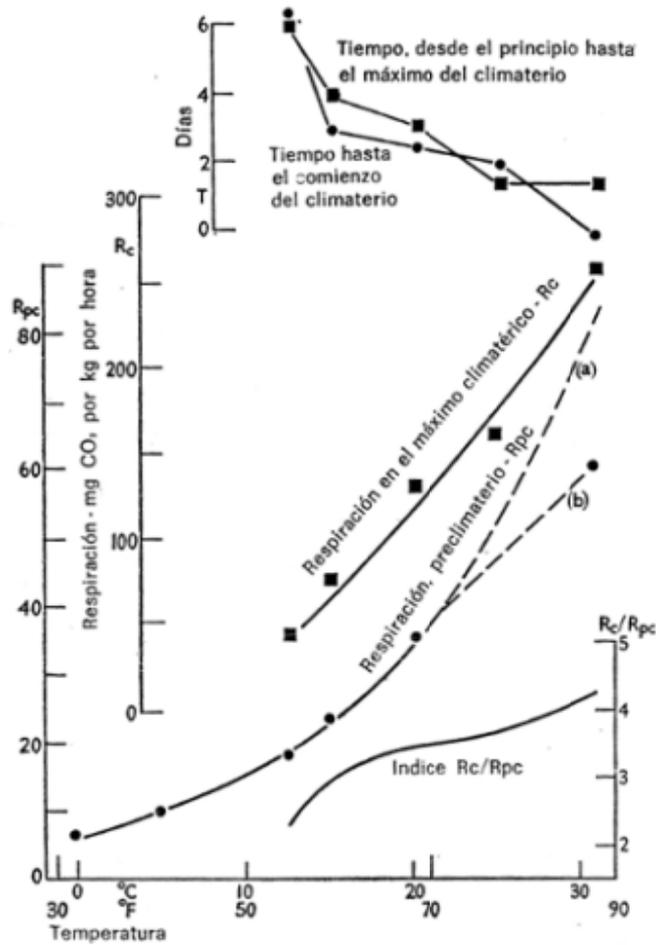
Figura 36. Gráfica generalizada de la ilustración de los cambios bioquímicos más importantes en los plátanos durante la maduración



Fuente:

1 De N. W. Simmonds (1973)

Figura 37. Respiración de plátanos, Gros Michel.



Índices de respiración (mg CO₂/Kg/por hora) a diferentes temperaturas:

Rc Máximo climaterio

Rpc Prelimaterio

Para el Rpc se marcan dos líneas punteadas

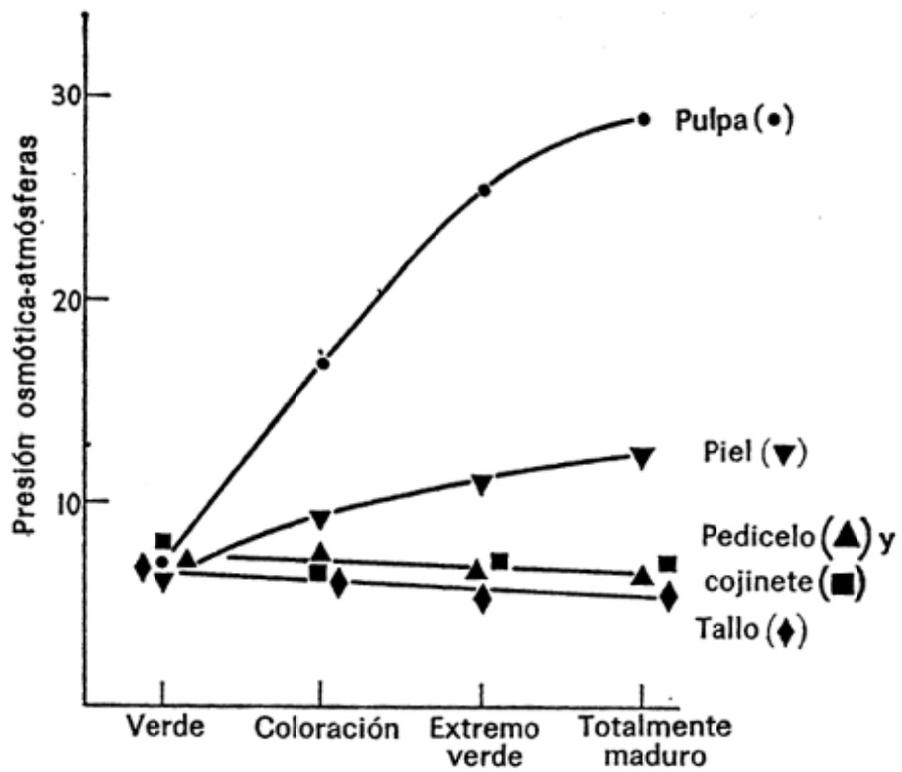
- (a) La línea calculada a partir de la ecuación de Cane que relaciona R con T
- (b) La línea que une el valor observado a 31°C con los valores observados a temperaturas más bajas.

En la parte superior derecha de la gráfica hay dos líneas que ilustran el efecto de la temperatura sobre la velocidad y la intensidad del climaterio, el tiempo al principio del climaterio es medido de un cero arbitrario a 31°C.

Fuente:

1 De N. W. Simmonds (1973)

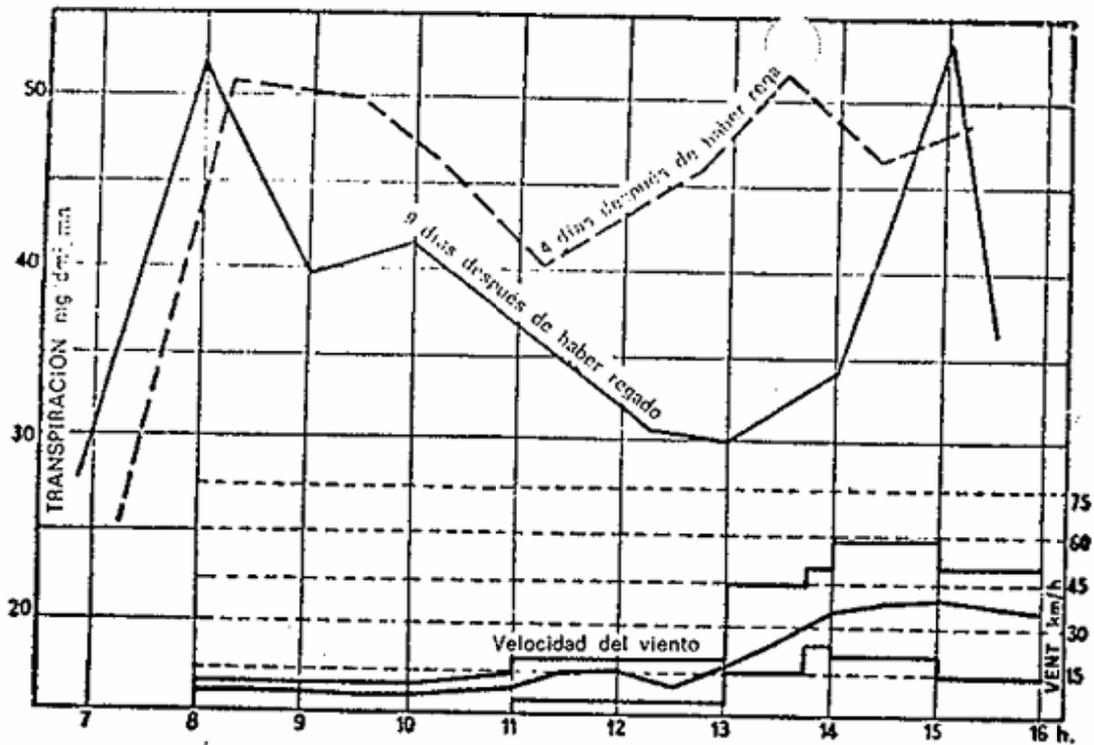
Figura 38. Presión osmótica en diversos tejidos del racimo de plátanos en maduración



Fuente:

1 De N. W. Simmonds (1973)

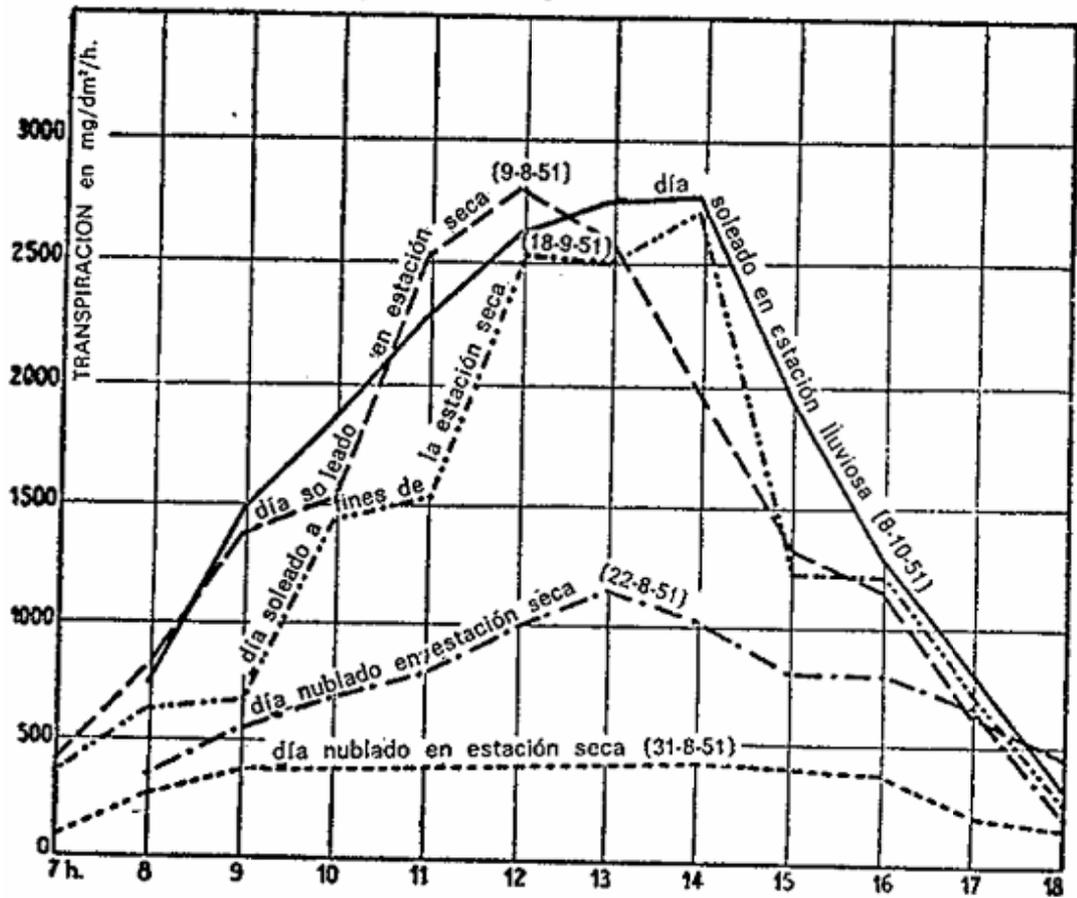
Figura 39. Transpiraciones diurnas (4 y 9 días después de haber regado por aspersión) de hojas expuestas al sol en relación con la intensidad del viento



Fuente:

1 De Jean Champion (1978)

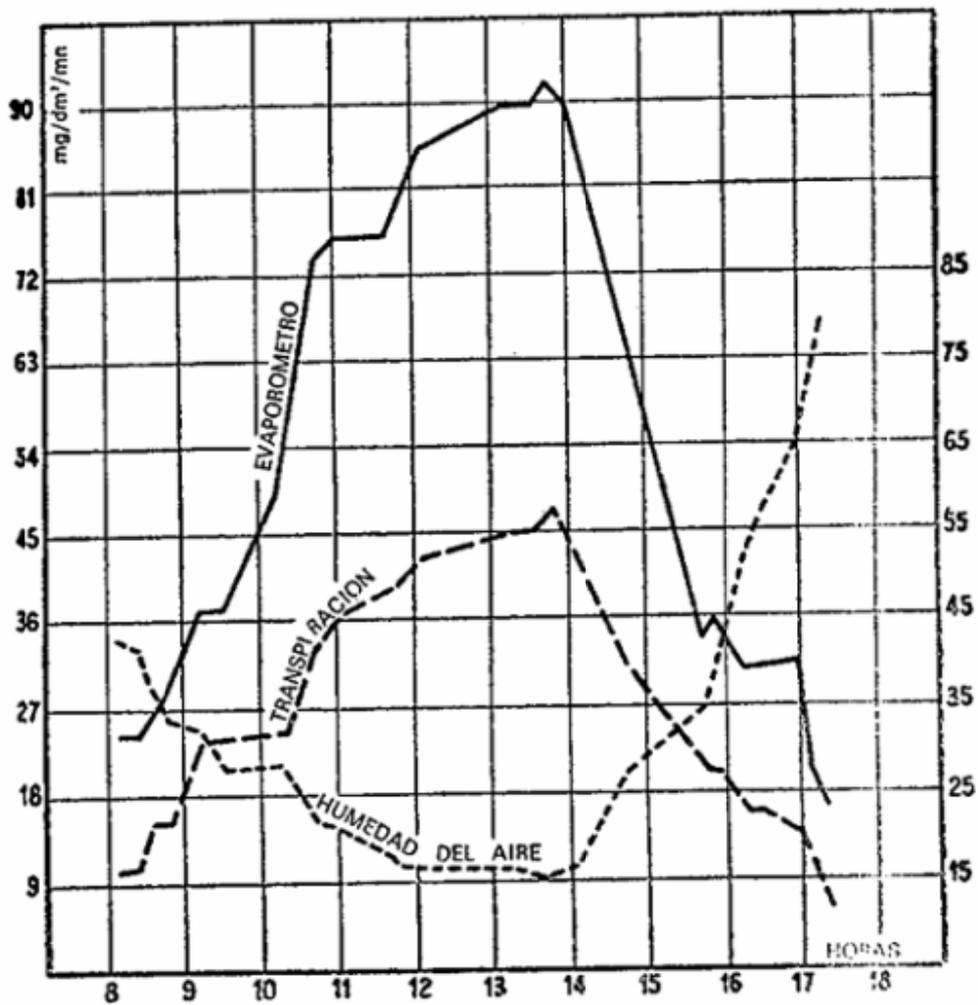
Figura 40. Curvas diurnas de transpiración del plátano



Fuente:

1 De Jean Champion (1978)

Figura 41. Curvas diurnas de transpiración del plátano, de la evaporación y de la humedad relativa atmosférica, en un día soleado de la estación lluviosa

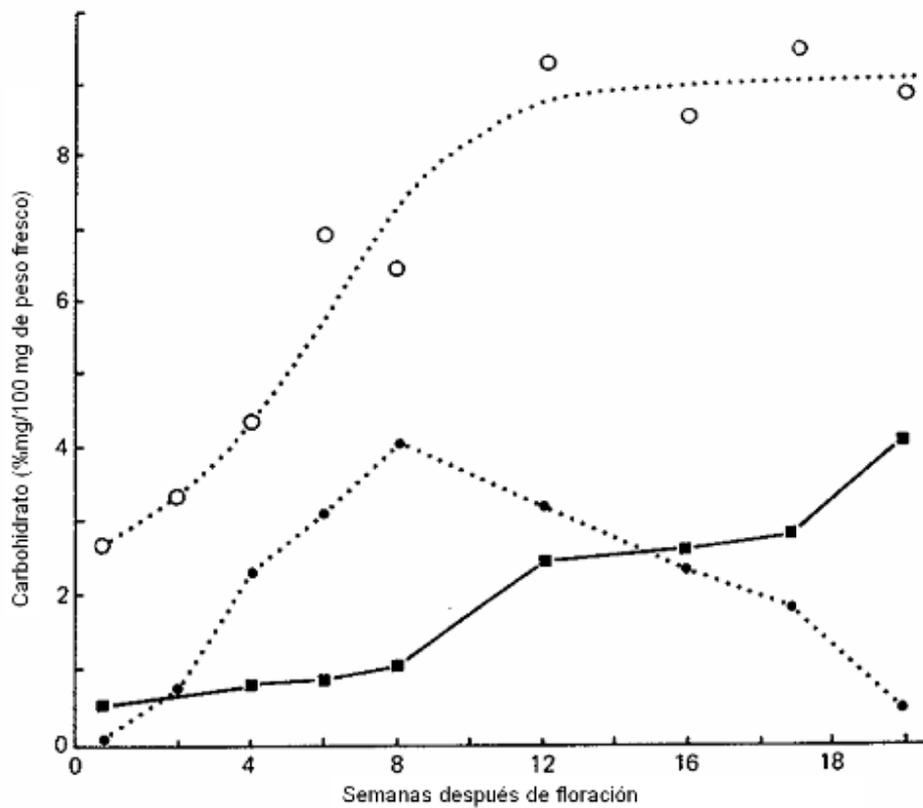


La evaporación se calcula pesada simultánea de discos de papel verde, saturados de agua, de las mismas dimensiones de las porciones foliares que sirven par los cálculos de la transpiración. El evaporómetro Puche de indicaciones más elevadas, sobre todo por el viento.

Fuente:

1 De Jean Champion (1978)

Figura 42. Concentración de almidón, azúcar reducido y sacarosa en manzanas



Concentración de:

- (●) Almidón
- (□) Sacarosa
- (○) Azúcar reductor

Fuente:

1 De P. M. Dey y R. A. Dixon (1985)

ANEXO D

Figura 43. Mapa de las áreas aptas para el cultivo de plátano

