

**Universidad de El Salvador
Facultad de Ciencias Agronómicas**



“Efecto de tres dosis de etileno comercial sobre la maduración de plátano (*Musa paradisiaca* L.) cv *Cuerno Enano*”

por

Br. Rodrigo Samuel Galdámez Galdámez

Ingeniería Agroindustrial

**Universidad de El Salvador
Facultad de Ciencias Agronómicas
Departamento de Ingeniería Agroindustrial**



“Efecto de tres dosis de etileno comercial sobre la maduración de plátano (*Musa paradisiaca* L.) cv *Cuerno Enano*”

por

Br. Rodrigo Samuel Galdámez Galdámez

**Presentada como requisito para obtener el
Título de Ingeniero Agroindustrial**

Ciudad Universitaria, Septiembre 2024

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DECANO

MAECE. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

SECRETARIO

M. Sc. EDGAR GEOVANY REYES MELARA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA

M. Sc. HUMBERTO RUIZ MEJÍA

COORDINADOR DEL CURSO

M. Sc. OMAR ANTONIO LARA DÍAZ

ASESOR DIRECTO

ING. AGR. OSCAR MAURICIO CARRILLO TURCIOS

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

ING. Qco. HAYDEE ESMERALDA MUNGUÍA DE PÉREZ

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación va dedicado especialmente a mis padres Samuel de Jesús Galdámez Pineda y Dora Elizabeth Galdámez Carbajal quienes me dieron todo su apoyo y supieron guiar siempre por el camino correcto a lo largo de mi carrera universitaria, a mis verdaderos amigos que de alguna manera me brindaron siempre su ayuda.

A Dios por brindarme sabiduría, entendimiento y la fuerza para sobrellevar y superar cada una de las pruebas que se presentaron día con día.

Rodrigo Samuel Galdámez Galdámez

Agradecimientos

A Dios

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme salud, sabiduría, entendimiento y fuerza a lo largo de mi carrera, por ser siempre mi fortaleza en todos los momentos difíciles.

A mis Padres

De manera muy especial quiero agradecer a mis padres Samuel de Jesús Galdámez Pineda y Dora Elizabeth Galdámez Carbajal por educarme con buenos principios siempre y enseñarme que las mejores cosas siempre son difíciles de conseguir, pero que llevadas de la mano de Dios y yendo siempre por el camino correcto y dedicación siempre es posible conseguir las. Gracias por luchar a diario y sin descanso para poder darme todo lo necesario y poder culminar mi carrera profesional, gracias por siempre, queridos padres.

A mi pareja

Por haberme acompañado siempre a lo largo de la carrera y continuamente en el presente, gracias por estar en las buenas y en las malas y por comprenderme en situaciones en las que creí que no lo lograba, sin duda alguna la carrera universitaria fue mucho más bonita a su lado, gracias de todo corazón Fatima Gabriela Guardado Guardado.

A mis compañeros y amigos

Gracias por su apoyo y colaboración constantes. Aprecio su dedicación y trabajo en equipo y agradezco todos esos momentos a su lado que se convertirán en historias que quedarán plasmadas en mi mente junto a ustedes.

A mis asesores

A mi asesor directo Ing. Oscar Mauricio Carrillo Turcios por guiarme en todo el desarrollo de mi investigación, al Ing. Juan de Dios Santamaría por el apoyo en el desarrollo y finalización del montaje del ensayo, a los Ings. Haydee Esmeralda Munguía de Pérez y Humberto Ruiz Mejía que estuvieron siempre al pendiente del proceso de la investigación y al Lic. Wilmar Morales por el apoyo en el diseño estadístico.

A la Universidad Nacional de El Salvador.

Finalmente, a mi alma mater por acogerme en sus instalaciones y hacerme parte de los muchos profesionales que han surgido de ella a lo largo de su historia.

Índice General

Tabla de contenido	pag
I. Introducción	1
II. Antecedentes	2
III. Planteamiento del problema	4
IV. Objetivos	6
4.1. Objetivo general.....	6
4.2. Objetivos específicos	6
V. Marco teórico	7
5.1. Plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.), origen y distribución.	7
5.1.1. Importancia nutricional.....	7
5.1.2. Condiciones a las que se adapta el cultivo del Plátano.....	8
5.1.3. Taxonomía.	8
5.1.4. Cultivares de plátano en El Salvador.....	8
□ Plátano criollo o Usulután	9
□ Plátano cuerno enano	9
5.1.5. Fisiología poscosecha del plátano	9
5.1.5.1. Respiración.....	9
5.1.5.2. Transpiración.	9
5.1.5.3. Factores que afectan la respiración y la transpiración.....	10
5.1.6. Cambios fisicoquímicos que presenta el plátano en la maduración.	10
5.2. Maduración artificial.....	10
5.2.1. Condiciones para la maduración artificial.	11
5.2.2. Gases utilizados para la maduración artificial.....	11
5.3. Comportamiento climatérico de las frutas.	11
5.4. Relación entre el etileno y la madurez de las frutas.	12
5.5. Efectos del etileno en la maduración.	13
5.5.1. Modo de acción del etileno.....	14
5.5.2. El etefón como agente madurador.	14
VI. Metodología.....	15
6.1. Ubicación del estudio.....	15
6.2. Fase de campo.....	15
6.2.1. Materiales y equipo	16
6.2.1.1. Materiales y equipos de campo.	16

6.2.1.2.	Materiales y equipos de oficina.....	16
6.2.1.3.	Materiales y equipo de laboratorio.....	16
6.2.2.	Descripción de la materia prima.....	17
6.2.2.1.	Procedimiento para el desmane, lavado, empaque y transporte de los racimos de plátano cosechados en la cooperativa San Carlos.....	18
6.2.3.	Tamaño de la muestra.....	19
6.2.4.	Fuentes de recopilación de información.....	20
6.2.5.	Procedimiento para la preparación de solución de etileno.....	20
6.2.6.	Procedimiento para aplicación de los tratamientos de madurante en plátanos.....	21
6.3.	Fase de laboratorio.....	23
6.3.1.	Parámetros evaluados.....	23
6.3.1.1.	Tiempo de maduración (días).....	23
6.3.1.2.	Pérdida de peso.....	23
6.3.1.3.	Medición de color.....	24
6.3.1.4.	Sólidos solubles totales (°Brix).....	24
6.3.1.5.	Acidez titulable (%).	26
6.3.1.6.	Potencial de Hidrógeno (pH).	28
6.4.	Análisis de datos.....	29
6.4.1.	Diseño estadístico.....	29
VII.	Resultados.....	30
7.1.	Pérdida de peso.....	30
7.1.1.	Efectos de los tratamientos en la pérdida de peso.....	30
7.2.	Color.....	31
7.2.1.	Efectos de los tratamientos en el color de la cáscara.....	32
7.2.2.	Efectos de los tratamientos en el color de la pulpa.....	37
7.3.	Sólidos solubles totales (°Brix).....	40
7.3.1.	Efectos de los tratamientos en los sólidos solubles totales (°Brix).....	40
7.4.	Acidez titulable (%).	41
7.4.1.	Efectos de los tratamientos en la acidez titulable.....	42
7.5.	Potencial de hidrógeno (pH).	42
7.5.1.	Efectos de los tratamientos en el potencial de hidrógeno.....	43
VIII.	Análisis de resultados.....	44
8.1.	Tiempo de maduración.....	44
8.2.	Pérdida de peso.....	44
8.3.	Color de cáscara.....	45

8.4. Color de pulpa.....	45
8.5. Sólidos solubles totales (°Brix).....	45
8.6. Acidez titulable	46
8.7. Potencial de hidrogeno (pH).....	46
IX. Conclusiones.....	48
X. Recomendaciones.....	49
XI. Bibliografía.....	50
XII. Anexos.....	55

Índice de Cuadros

	pag.
Cuadro 1. Clasificación taxonómica del plátano (<i>Musa paradisiaca</i> L.).....	8
Cuadro 2. Cálculo de etileno necesario para cada tratamiento.....	20
Cuadro 3. Identificación y codificación de tratamientos.....	29
Cuadro 4. Análisis de varianza para pérdida de peso.	30
Cuadro 5. Análisis de varianza para color de cáscara.....	31
Cuadro 6. Análisis de varianza para color de pulpa.	36
Cuadro 7. Análisis de varianza para sólidos solubles totales.	40
Cuadro 8. Análisis de varianza para acidez titulable.....	41
Cuadro 9. Análisis de varianza para potencial de hidrogeno.....	43

Índice de Figuras

	pag.
Figura 1. Patrón respiratorio y de producción de etileno en frutas.....	12
Figura 2. Localización de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.....	15
Figura 3. Parcela de cultivo de plátano Cuerno Enano, donde se obtuvo la materia prima.	17
Figura 4. Cosecha de plátano Cuerno Enano.....	17
Figura 5. Preparación de solución con agua y jabón para detener el látex (desleche) de los plátanos.	18
Figura 6. Desmane de plátanos para sumergirlos en la solución de agua y jabón.....	18

Figura 7. Retiro de plátanos de la solución y escurrido en jabas.....	19
Figura 8. Empacado de plátanos en cajas de cartón para ser transportados.	19
Figura 9. Preparación de dosis de etileno para cada tratamiento.....	20
Figura 10. Selección de plátano por tamaño.....	21
Figura 11. Plátanos sumergidos en solución de etileno según cada tratamiento.	21
Figura 12. Colocación de los plátanos en cajas de cartón por cada tratamiento.	22
Figura 13. Montaje de los tratamientos en un espacio limpio y seco.	22
Figura 14. Medición de pérdida de peso en plátano con aplicación de etileno comercial.	23
Figura 15. Medición de color en cáscara y pulpa de plátano con aplicación de etileno.....	24
Figura 16. Preparación de la muestra para la medición de °Brix, acidez titulable y pH.	25
Figura 17. Medición de °Brix en pulpa de plátano.....	26
Figura 18. Titulación con hidróxido de sodio para determinar el % de acidez titulable.	27
Figura 19. Medición de pH en muestra de percolado de pulpa de plátano.....	28
Figura 20. Pérdida de peso promedio en gr de plátano <i>cv</i> Cuerno Enano tratado con etileno comercial durante 144 horas. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).	31
Figura 21. Comportamiento de la luminosidad (L*) en la cáscara de plátano <i>cv</i> Cuerno Enano tratado con etileno comercial durante 144 horas. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).	33
Figura 22. Comportamiento de la coordenada de color (a*) en la cáscara de plátano <i>cv</i> Cuerno Enano tratado con etileno durante 144 horas. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).	34
Figura 23. Cambio de color de la cáscara de plátano durante la maduración acelerada con etileno.	35
Figura 24. Comportamiento de la coordenada de color (b*) en la cáscara de plátano <i>cv</i> Cuerno Enano tratado con etileno durante 144 horas. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).	36

Figura 25. Comportamiento de la luminosidad (L^*) en la pulpa de plátano <i>cv</i> Cuerno Enano tratado con etileno comercial durante 144 horas. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).	37
Figura 26. Comportamiento de la coordenada de color (a^*) en la pulpa de plátano <i>cv</i> Cuerno Enano tratado con etileno comercial durante 144 horas. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).	38
Figura 27. Comportamiento de la coordenada de color (b^*) en la pulpa de plátano <i>cv</i> Cuerno Enano tratado con etileno comercial durante 144 horas. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).	39
Figura 28. Cambio de color de la pulpa de plátano durante la maduración acelerada con etileno.	39
Figura 29. Efectos de los tratamientos en los $^{\circ}$ Brix de plátano <i>cv</i> Cuerno Enano tratado con etileno comercial. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).	41
Figura 30. Efectos de los tratamientos en la acidez titulable de plátano <i>cv</i> Cuerno Enano tratado con etileno comercial. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).	42
Figura 31. Efectos de los tratamientos en el pH de plátano <i>cv</i> Cuerno Enano tratado con etileno comercial. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).	43

Índice de Anexos

	pag.
Cuadro A1. Ficha de recolección de datos.	55
Figura A1. Sistema de encintado de cultivo de plátano.	56
Figura A2. Navaja desmanadora de plátano.	57

Resumen

El proceso natural de maduración de las frutas es una combinación de procesos fisiológicos, bioquímicos y moleculares, que pueden provocar cambios en el peso, color de la cáscara y la pulpa, así como también cambios en el contenido de sólidos solubles totales, acidez, pH, textura, sabor y aroma, sin embargo, el proceso de maduración se puede inducir artificialmente utilizando diferentes agentes químicos como etileno o etefón comercial, con el fin de acelerar la maduración y obtener frutos con características de calidad en el color, contenido de azúcar sabor y aromas característicos de cada fruto en un periodo de tiempo más corto sin ser afectadas. El objetivo principal de esta investigación fue evaluar el efecto de distintas dosis de etileno comercial sobre la maduración y la calidad poscosecha del plátano (*Musa paradisiaca* L.) cv *Cuerno Enano*. Los parámetros evaluados fueron pérdida de peso, color, sólidos solubles totales, acidez titulable y pH. Para el montaje del ensayo se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), que constó de cuatro tratamientos y cinco repeticiones, 20 unidades experimentales, cada una con 5 unidades de plátano, donde fueron aplicadas 3 diferentes dosis de etileno. T0 (testigo) = Plátano + maduración natural, T1 = Plátano + 0.6 ml/L, T2 = Plátano + 1.1 ml/L, T3 = Plátano + 1.6 ml/L. Para la determinar la significancia se utilizó la prueba de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey) con un nivel de significancia de 0.05 %. La aplicación de etileno comercial tuvo efectos muy notables en los tratamientos, siendo el T2 el que presentó los mejores resultados en cuanto a calidad poscosecha del fruto, con una maduración más homogénea que los demás tratamientos, que al contrario tuvieron una maduración más lenta o muy acelerada, dando como resultado una maduración no uniforme.

Abstract

The natural process of fruit ripening is a combination of physiological, biochemical and molecular processes, which can cause changes in the weight, color of the peel and pulp, as well as changes in the content of total soluble solids, acidity, pH, texture, flavor and aroma, however, the ripening process can be artificially induced using different chemical agents such as ethylene or commercial ethephon, in order to accelerate ripening and obtain fruits with quality characteristics in color, sugar content, flavor and characteristic aromas of each fruit in a shorter period of time without being affected. The main objective of this research was to evaluate the effect of different doses of commercial ethylene on the ripening and post-harvest quality of banana (*Musa paradisiaca* L.) cv Cuerno Enano. The parameters evaluated were weight loss, color, total soluble solids, titratable acidity and pH. To set up the trial, a Completely Randomized Design (DCA) was used, which consisted of four treatments and five repetitions, 20 experimental units, each with 5 units of banana, where 3 different doses of ethylene were applied. T0 (control) = Dwarf Horn + natural maturation, T1 = Dwarf Horn + 0.6 ml/L of water, T2 = 1.1 ml/L of water, T3 = 1.6 ml/L of water. To determine significance, the multiple comparison test of means (Tukey's test) was used with a significance level of 0.05%. The application of commercial ethylene had very notable effects on the treatments, with T2 being the one that presented the best results in terms of post-harvest quality of the fruit, with a more homogeneous ripening than the other treatments, which on the contrary had a slower or very slow ripening, accelerated, resulting in non-uniform maturation.

I. Introducción

El plátano es un producto tropical de gran importancia económica y de seguridad alimentaria en la región centroamericana. La producción mundial para el año 2014 fue de 109,600 miles de toneladas, siendo los países africanos como Uganda y Ruanda los mayores productores (Mejía 2018). Según el Anuario Estadístico 2016-2017 del Ministerio de Agricultura y Ganadería, en El Salvador, el área estimada de siembra de este cultivo es de aproximadamente 2,702 manzanas, con una producción de 44,247.4 Tm. de frutas, lo cual no satisface la demanda interna ya que para 2016 se tuvo que importar 84, 075,438 kg, representando una fuga de divisas de (U.S. \$6, 944,573) (Mejía 2018).

USDA y IICA (2016), recalcan que, hasta el año 2012 la producción de plátano se orientó en su totalidad a atender la demanda local, principalmente a través de mercados informales y en alguna proporción mediante los supermercados, que exigen altos niveles de formalidad en sus operaciones comerciales

La calidad de los plátanos está ligada a su madurez fisiológica, la longitud de los frutos, la ausencia de defectos (Mejía 2013). La cosecha se realiza según su apariencia y se tiene como índice el llenado de los frutos; en cultivos tecnificados se fija como índice la edad desde la floración (Arcila *et al*, citado por Mejía 2013).

El proceso natural de maduración es una combinación de procesos fisiológicos, bioquímicos y moleculares, el cual implica una coordinación metabólica diferente, con la activación y desactivación de varios genes que pueden desencadenar una serie de cambios en el color, contenido de azúcar, acidez, textura del fruto, en el sabor y el aroma. No obstante, este proceso de maduración puede ser inducido artificialmente utilizando diferentes agentes químicos como: carburo, etanol, metanol, glicol y etileno comercial o también llamado Ethrel (Merchán 2020).

El objetivo principal de esta investigación fue conocer los efectos que tiene la aplicación de etileno comercial en diferentes dosis en fruto de plátano cultivar *Cuerno Enano* y de esta manera determinar las diferencias en las características físico-químicas, comparando los resultados con plátanos madurados naturalmente sin adición de etileno exógeno, y mediante un proceso de maduración artificial lograr plátanos con una maduración uniforme y estéticamente con mayor calidad ante el consumidor.

II. Antecedentes

Se han realizado estudios previos sobre la maduración de frutas haciendo uso de madurantes artificiales como el etileno comercial, entre otros, los cuales representan una alternativa para acceder a mejores precios en el mercado, ya que, mediante el uso de estos productos, se puede acelerar el proceso de maduración poscosecha y suplir la demanda en todo momento.

En relación a lo anterior Chacón *et al.* (1988), en un estudio realizado sobre la “Maduración artificial de banano inducido con carburo de calcio y etileno en solución utilizando distintas dosis”, se estudió el comportamiento físico-químico, los efectos de la concentración del agente, tiempo de contacto del agente madurador y tipo de agente madurador en banano Cavendish. No se encontró diferencia significativa entre los tratamientos evaluados a una temperatura de 20 °C y una humedad relativa de 95% y se logró determinar que ambos compuestos químicos actúan eficientemente como agentes maduradores de banano. Se sugiere utilizar etileno por inmersión en dosis de 1,500 ppm y un tiempo de contacto con la fruta de 6 min. En ambos casos el banano alcanza a los siete días un grado de madurez de consumo comercial, sin llegar al estado fermentable.

Chacón *et al.* (1988), también hace mención qué, en las observaciones anotadas, para el lote testigo se encontró una maduración heterogénea; mientras que algunos alcanzaban grados de putrefacción, otros permanecían aún en estado “verde” y otros maduros. También señala una irregularidad marcada en el color sin alcanzar un amarillo promedio del 100% en la fruta testigo. Por el contrario, el Ethrel promueve un desarrollo uniforme del color y elimina la gran variación en la maduración.

Así mismo Ordóñez (2005), en una investigación realizada donde evaluó un “Diseño de un proceso para la maduración acelerada de banano utilizando etileno comercial (Ethrel) como agente madurador” en donde concluyó que la aplicación de etefón en la dosis de 2000 ppm en bananos tipo Cavendish cosechados en estado de madurez fisiológica, permite la obtención de frutos maduros con características físicas, químicas y organolépticas de muy buena calidad. Los frutos tratados con etefón requirieron significativamente menos días para madurar que el banano sin tratamiento, independientemente de la concentración de etefón que se utilizara para su aplicación.

Coro (2017), en un estudio realizado, evaluó el etileno comercial como agente madurador en fruto de babaco (*Vasconcellea x heilbornii* var. pentagona) y su efecto en la calidad del fruto, donde se trataron frutos de babaco recolectados con tres índices de madurez, inmersos durante 5 y 10 minutos, en etileno (comercialmente conocido como Ethrel) en dosis de 500, 1000 y 1500 ppm; en

donde se concluyó que todos los tratamientos mostraron una respuesta positiva en cuanto a una maduración acelerada, ya sea por la disminución de la firmeza, aumento de los °Brix, disminución del porcentaje de acidez y características organolépticas uniformes en algunos casos, aunque al final no todos los frutos llegaron a tener las características deseadas para el consumo, en especial en los frutos más tiernos es decir aquellos tratamientos que corresponden al índice de madurez 0 y también algunos de los tratamientos del índice de madurez 1.

Coro (2017), también hace mención que, en cuanto a las diferentes concentraciones de etileno (500, 1000 y 1500 ppm. L⁻¹) aplicadas a los frutos de babaco, se observó que las mismas dosis solo afectaron a la firmeza; porque a mayor concentración los frutos presentaron menor firmeza y además señalaron que la concentración aplicada en índices de madures avanzados manifestaron menor firmeza.

III. Planteamiento del problema

El fruto de plátano (*Musa paradisiaca* L.) al momento de comenzar su madurez fisiológica (natural) puede resultar en que este no tenga una madurez uniforme, con un color opaco o amarillo pálido, resultando poco agradable para el consumidor. Por ello, para los comerciantes, tanto para mayoristas, como para minoristas, con el afán de satisfacer la demanda en el mercado local, y para que el fruto alcance una presentación comercial más idónea, empezando por una cáscara de color amarillo brillante, pulpa firme, con buena textura y sabor, se recurren a métodos de maduración artificial (Ojeda *et al.* 2007).

Según CENTA (2018), los parámetros del fruto que se consideran para efectuar un eficiente proceso de comercialización a nivel nacional principalmente son: consistencia firme, color brillante, libre de magulladuras y golpes, clasificación según tamaño y buen estado de madurez; este último depende del mercado al que va dirigido y es importante definirlo, ya que de ello depende el manejo poscosecha necesario para obtener frutos con maduración homogénea que cumplan con los estándares de calidad deseados por el consumidor.

La vida postcosecha o de anaquel de los frutos es uno de los aspectos más importantes en la comercialización de productos agrícolas, por lo tanto, el control de la maduración de los frutos es fundamental para mantener los atributos de calidad antes mencionados (CENTA 2018).

En los últimos años el uso de agentes de maduración artificial como el etileno comercial también llamado Ethrel o Etefón (Ojeda *et al.* 2007), se ha vuelto frecuente en frutas como el plátano y banano, y se ha adoptado esta alternativa con la finalidad de satisfacer la demanda de los consumidores. Sin embargo, la realidad es que el manejo de estos agentes muchas veces es empírico, cayendo en el abuso de su aplicación, los cuales podrían afectar la salud y bienestar del consumidor a corto, mediano o largo plazo (Merchán 2020).

En este contexto, son necesarios estudios que permitan desarrollar una metodología apropiada al comerciante, para que adopte un agente madurador adecuado en cantidades mínimas y que le permita alcanzar el nivel de maduración óptima para el consumo del fruto, ofertando un producto de mejor calidad.

En El Salvador, estudios sobre maduración artificial en fruto de plátano utilizando como agente exógeno etileno comercial, serían de mucha importancia para productores de plátano, ya que

pueden lograr una maduración más rápida y homogénea del fruto sin perder su calidad y de esta manera abastecer al mercado nacional con plátano maduro de muy buena calidad en todo momento. Es por ello que la presente investigación pretendió estudiar el efecto del etileno comercial sobre las características físico-químicas y la duración del proceso de maduración en plátano; por lo cual se pretende dar respuesta a la siguiente pregunta.

¿Cuál será el efecto del etileno comercial sobre las características físicas-químicas y tiempo de maduración de plátano, cultivar *Cuerno Enano*, con diferentes dosis de exposición?

IV. Objetivos

4.1. Objetivo general

- ✓ Evaluar el efecto de diferentes dosis de etileno comercial (Ethrel) sobre la maduración y la calidad poscosecha del plátano (*Musa paradisiaca* L.) cv *Cuerno Enano*.

4.2. Objetivos específicos

- ✓ Identificar las propiedades físicas en el fruto de plátano (*Musa paradisiaca* L.) cv *Cuerno Enano* por efecto de la aplicación de tres dosis de etileno comercial (Ethrel).
- ✓ Evaluar parámetros de calidad como, sólidos solubles totales, acidez y pH durante la maduración del plátano (*Musa paradisiaca* L.) cv *Cuerno Enano*.
- ✓ Determinar el periodo de vida anaquel del plátano (*Musa paradisiaca* L.) cv *Cuerno Enano* influenciado por el uso de etileno comercial (Ethrel).

V. Marco teórico

5.1. Plátano (*Musa paradisiaca* L.), origen y distribución.

El origen de las musáceas es el suroeste asiático. Se cree que el genoma *Balbisiana* se originó en la costa este de la India y el genoma *Acuminata* en la costa este de lo que actualmente es Malasia, Tailandia y Myanmar (Mejía 2018).

En 1516, los europeos lo introdujeron en América y las Antillas. En la actualidad es un cultivo de amplia distribución por su adaptación, tanto en los trópicos como subtrópicos. Sin embargo, las mayores plantaciones comerciales se encuentran en los trópicos húmedos. Los países africanos como Uganda y Ruanda son los mayores productores de plátano en el mundo (Mejía 2018).

El plátano pertenece a la familia de las Musáceas, de la variedad de *Musa paradisiaca* a estos se los considera como plátanos machos ya que son comestibles cuando han sido sometidos a algún proceso de cocción. La estructura del plátano es polimorfa. Una planta puede contener de 5 a 20 manos y cada una de estas de 2 – 20 frutos, su color va a variar desde el verde, amarillo y rojo (Colmenares, citado por Falla y Ramón 2018).

5.1.1. Importancia nutricional.

En El Salvador es un fruto que representa un componente principal en la dieta alimenticia de la mayor parte de la población y en muchos países. Según Mejía (2018), es uno de los alimentos más ricos en potasio, importante para restaurar el equilibrio entre sodio-potasio y evitar la presión arterial alta. También tiene bastante magnesio, que regula la formación ósea, ayuda al buen funcionamiento del corazón y los músculos.

Según Blasco y Gómez (2018), el plátano es una fuente vitamínica importante (A, B6, C y D), mismas que se muestran funcionales en beneficio del sistema ósea y muscular en el cuerpo humano. Esto debido a que solo un dedo de plátano posee alrededor del 41% de vitamina B6 requerida en la dieta diaria. Entre sus múltiples bondades, investigaciones han demostrado que el plátano permite mejorar el humor en personas con tendencia depresiva y con síndrome pre-menstrual, esto debido a su contenido elevado de vitamina B6, misma que contiene moléculas que influyen directamente sobre el metabolismo de los neurotransmisores, permitiendo su estimulación.

Blasco y Gómez (2018), también afirman que otro importante elemento es el almidón, cuyo porcentaje de composición ronda el 70% en su estado verde, el cual va disminuyendo

paulatinamente durante la maduración. Esto se genera debido a la degradación que sufre el almidón, permitiendo la acumulación de azúcares (monosacáridos y sacarosa). Por otro lado, se han realizado investigaciones en el que se resaltan las bondades que presenta el pseudotallo y rizoma del plátano como fuente importante de antioxidantes, de los cuales se ha planteado la elaboración de bebidas hidratantes con capacidades funcionales.

5.1.2. Condiciones a las que se adapta el cultivo del Plátano.

Las condiciones ecológicas donde se originaron las musáceas fue bajo el sotobosque por lo que esta especie se considera como umbrófila, es decir que necesitan algo de sombra para el normal desarrollo. Es por esta razón por la cual la planta de plátano no cierra totalmente sus estomas en las horas de mayor temperatura diurna y debe replegar sus dos semifolículos para evitar mayor deshidratación (Mejía 2018).

El plátano es un cultivo que se adapta a cualquier tipo de terreno, pudiendo producir frutos todo el año, asegurándole continuos ingresos que permitan una mayor solvencia económica a todo productor, y más aún al pequeño agricultor (Cobeña Loor, citado por Macias 2017).

5.1.3. Taxonomía.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del plátano (*Musa paradisiaca* L.).

Taxonomía	Categoría
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Genero	<i>Musa</i>
Especie	<i>paradisiaca</i>
Nombre científico	<i>Musa paradisiaca</i> L.

Fuente: Tomado de Mejía 2018.

5.1.4. Cultivares de plátano en El Salvador.

Según Mejía (2018), los cultivares de Plátano que más se siembran en el país son:

- **Plátano criollo o Usulután**

Se caracteriza por su alto vigor, alcanzando una altura que oscila entre 3.5 a 4.0 m, diámetro de pseudotallo de 0.20 a 0.22 metros, racimos cortos con un número promedio de 27 a 30 frutos y un peso de 12 - 16 kg. La inflorescencia masculina (Pichota) se atrofia y desaparece conforme va madurando el racimo. Este cultivar es muy susceptible a la Sigatoka negra, resistente al transporte y de buenas características culinarias (Mejía 2018).

- **Plátano cuerno enano**

La planta tiene una altura media de 2.50 m, es resistente al acame causado por el viento. Diámetro de pseudo tallo mayor de 0.25 m, con abundantes hojas anchas. Los racimos son cortos, un estimado de 41 frutos por racimo, con promedio de 13 kg de peso por racimo, de buen sabor y excelente calidad. El período de floración a cosecha es de 80- 85 días. La cosecha se inicia entre 10 - 11 meses después de la siembra. Esta variedad es la más cultivada en el país (Mejía 2018).

5.1.5. Fisiología poscosecha del plátano

Según Merchán (2020), dentro de la composición química del plátano sobresale la presencia de agua (61%), misma que junto a demás componentes sufren cambios posteriores a la cosecha asociados con:

5.1.5.1. Respiración.

Es una reacción interna originado por la presencia de oxígeno en compaginación con las reservas presentes en el fruto, que permite la liberación de agua, energía y carbónico convertidos en calor al medio externo. La respiración en el plátano se acelera a medida que el fruto va madurando, razón por la cual es considerado dentro de la categoría de frutos climatéricos. Estos frutos liberan etileno, un gas que al entrar en contacto con otros plátanos permite la maduración de forma más acelerada (Merchán 2020).

5.1.5.2. Transpiración.

Es el proceso generado a partir de la respiración, el cual consiste en la pérdida de agua y consigo la pérdida de peso del fruto (Merchán 2020).

5.1.5.3. Factores que afectan la respiración y la transpiración.

Las fuertes ventilaciones y elevadas temperaturas aumentan la respiración de la fruta y con ello la transpiración, generando una pérdida de agua considerable, que conlleva a una pérdida del peso de la fruta. Esto provoca cambios en el aspecto físico que van desde el cambio del color de la cáscara hasta el arrugamiento de esta, deteriorando su calidad y presentación. De forma similar ocurre cuando la fruta es herida o golpeada, aumentando la respiración y transpiración de la misma (Merchán 2020).

5.1.6. Cambios fisicoquímicos que presenta el plátano en la maduración.

El proceso de maduración del plátano como fruto climatérico tiene grandes cambios fisicoquímicos, como aumento en los sólidos solubles totales y la acidez titulable (ácido málico), aumentando el contenido de azúcares en el fruto, la concentración de almidones disminuye debido a la hidrólisis que sufren estos en el proceso de maduración, además de reducir el pH por la presencia de mayores concentraciones de ácido málico en la fruta (Quiceno *et al.* 2014).

Otros cambios que acompañan a la madurez en la mayoría de las frutas son:

- ✓ Cambios en textura y reducción de la firmeza.
- ✓ Cambios de color, generalmente pérdida de color verde y un aumento de los colores rojo y amarillo.
- ✓ Cambios en sabor y aroma; generalmente volviéndose más dulce a medida que el almidón es convertido en azúcar, y con la producción de compuestos volátiles frecuentemente aromáticos. (FAO 2007).

5.2. Maduración artificial.

Marrero (2017), en una investigación realizada sobre la maduración artificial de frutos tropicales y subtropicales, hace mención que, la manipulación poscosecha de frutas y hortalizas tiene como objetivo general disminuir la velocidad del deterioro de dichos productos, es decir, disminuir su respiración, su transpiración, los procesos de envejecimiento celular (muchos de ellos mediatizados por la acción de la hormona vegetal etileno) y el desarrollo de enfermedades y fisiopatías.

Caso contrario en dicha investigación Marrero (2017), menciona que la maduración artificial, específicamente se trata de acelerar algunos de estos procesos, particularmente aquellos

relacionados con la acción del etileno, por medio de la acción exógena de este gas en condiciones controladas de temperatura, composición atmosférica y humedad relativa con una doble finalidad: por un lado, acortar la duración del proceso de maduración de la fruta, y por el otro homogeneizar su apariencia y estado final de madurez.

5.2.1. Condiciones para la maduración artificial.

Según MAG y CENTA (2018), para provocar una aceleración en el proceso de maduración es necesario impedir la salida del etileno y que se provoque una acumulación del mismo, esto se puede realizar mediante el encierre de los frutos en bolsas de plástico, cuartos herméticos o depósitos a temperaturas de entre 20 y 25°C durante periodos de entre 24 a 40 horas, donde se deberá ventilar el material, proveyéndoles de oxígeno para promover la respiración y transpiración, además, es importante que la humedad relativa se mantenga elevada, lo cual impide la marchitez del fruto. Para que la maduración se complete requerirá de entre 2 a 5 días dependiendo de los factores climáticos, genéticos y estado fisiológico a la cosecha (MAG y CENTA 2018).

5.2.2. Gases utilizados para la maduración artificial.

Debido a lo inflamable que se muestra el etileno, se requieren de los equipos necesarios para una aplicación segura. Si se implementa en pequeñas dosis, es conveniente el uso en estado líquido generado a partir del etileno, mismo que se comercializa en los agroservicios bajo el nombre de distintas marcas como Ethrel o Etefón (etileno comercial), debido a su amplio uso en la agricultura (MAG y CENTA 2018).

Otro gas utilizado en la maduración artificial es el caso preciso del acetiluro de calcio, conocido popularmente como carburo, este mineral produce un efecto similar al etileno una vez entra en contacto con el agua. Este es ampliamente usado por los comerciantes minoristas y mayoristas en el mercado interno nacional, no obstante, se ha llegado a considerar una práctica ilícita en ciertos países debido a su alto contenido de arsénico y fósforo (MAG y CENTA 2018).

5.3. Comportamiento climatérico de las frutas.

Según Arias y Toledo (2007), las frutas se clasifican en climatéricas y no climatéricas, según su patrón respiratorio y de producción de etileno durante la maduración organoléptica o de consumo (Figura 1). Las frutas climatéricas incrementan marcadamente su ritmo respiratorio y producción de etileno durante la maduración organoléptica. De igual manera, los cambios asociados con esta

etapa de desarrollo (color, sabor, aroma, textura) son rápidos, intensos y variados. Estas frutas pueden ser maduradas organolépticamente en la planta o después de cosechadas.

Por el contrario, en las frutas no climatéricas, los procesos de desarrollo y maduración organoléptica son continuos y graduales; manteniendo éstas en todo momento, niveles bajos de respiración y producción de etileno. Estas frutas sólo maduran en la planta (Arias y Toledo 2007).

En los frutos climatéricos los procesos metabólicos que permiten que un fruto en madurez fisiológica llegue a madurez de consumo se inician con el etileno endógeno producido por la fruta, que es un proceso natural y propio de las frutas. (Arango *et al.*, citado por Chacha 2016).

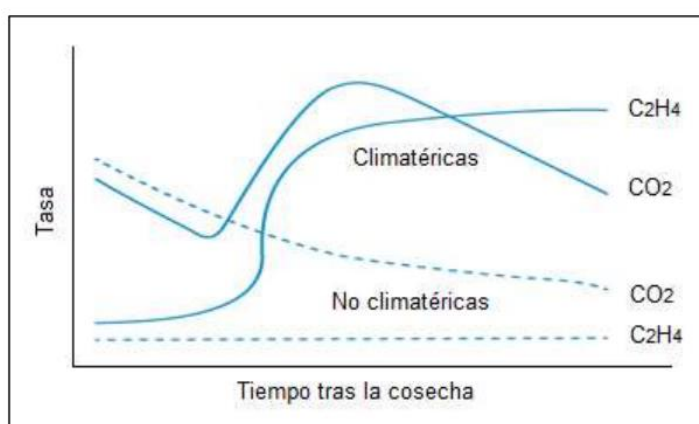


Figura 1. Patrón respiratorio y de producción de etileno en frutas.

Fuente: Tomado de Arias y Toledo, citado por Chacha 2016.

5.4. Relación entre el etileno y la madurez de las frutas.

Cuando las frutas climatéricas maduran la velocidad de la respiración se eleva llegando a un máximo y luego declina hasta el comienzo del envejecimiento, mientras que en las frutas no climatéricas la tasa de respiración decrece gradualmente. El etileno está presente en todas las frutas y ahora se le reconoce como la principal hormona de la maduración que, en las frutas climatéricas puede en realidad iniciar la maduración a concentraciones tan bajas como 0.1 a 10 partes por millón (ppm). Sin embargo, el etileno aplicado exógenamente influye en el proceso de maduración tanto en las frutas climatéricas como no climatéricas. Por ejemplo, en el plátano (climatérico) el etileno inicia y acelera la maduración de frutas verdes, pero en la piña (no climatérica) el etileno simplemente aumenta la velocidad de respiración y acelera un proceso de maduración ya iniciado por la fruta misma (FAO 2007).

Según la FAO (2007), el etileno tiene un papel de relevancia directa con el daño físico de frutas y hortalizas y actualmente se sabe que el etileno se produce en todos los tejidos vegetales como una respuesta al "stress". En consecuencia, el daño físico de las frutas también acelerará el proceso de maduración, y en las frutas climatéricas verdes (no maduras), puede ser su iniciador. De este modo la ventilación es también de gran importancia para prevenir la acumulación del etileno producido por frutas dañadas o en maduración, no sólo para evitar el aumento de temperatura que resulta del incremento de la respiración, sino también para prevenir la maduración acelerada o su inicio en frutas limpias y sanas. La producción de etileno es otra buena razón para una cosecha, manejo y embalaje cuidadoso de las frutas (FAO 2007).

5.5. Efectos del etileno en la maduración.

El etileno ($H_2C=CH_2$) es el más sencillo de todos los compuestos orgánicos que influye en los procesos fisiológicos de los vegetales, y que es considerado como la "hormona" de la maduración, siendo fisiológicamente activo a la iniciación del "ripening" o maduración plena de los frutos y en el establecimiento de la senescencia de los productos hortícolas, incluso a muy bajas concentraciones, normalmente inferiores a 1 ppm (Ordóñez 2005).

Entre los numerosos efectos fisiológicos del etileno, destacan los que afectan directamente a algunos aspectos de la maduración, como son la estimulación de la respiración de los vegetales, la influencia en el metabolismo péptico, favoreciendo el aumento de pectinas solubles, y por tanto la reducción de la firmeza de la pulpa, degradación de la clorofila, la despolimerización de polisacáridos, la pérdida de ácidos, taninos y fenoles (Ordóñez 2005).

Los frutos climatéricos como el plátano y banano pueden distinguirse de los no climatéricos en virtud de su respuesta al etileno exógeno y de la pauta de su síntesis; por ellos durante la maduración organoléptica, todas las frutas producen pequeñas cantidades de etileno a lo largo de su desarrollo, sin embargo, durante la maduración organoléptica los frutos climatéricos lo producen en cantidades mucho más elevadas que los no climatéricos (Ordóñez 2005).

La exposición a concentraciones de etileno tan bajas como 0,1 – 1,0 microlitros por litro, durante un día, basta normalmente para acelerar la plena maduración de los frutos climatéricos (Ordóñez 2005).

Cuando frutos climatéricos inmaduros se tratan con etileno se acelera el comienzo del climaterio, mientras que los no climatéricos si se tratan de la misma forma, la magnitud de la tasa respiratoria se incrementa en función de la concentración de etileno, pero el tratamiento no dispara la producción endógena de etileno y por lo tanto no se acelera la maduración (Ordóñez 2005).

5.5.1. Modo de acción del etileno.

El etileno es conocido como una fitohormona que afecta al desarrollo y crecimiento de las frutas a muy bajas concentraciones. Existen dos mecanismos generalmente aceptados (Ordóñez 2005).

La hormona atraviesa la membrana celular de la célula y alcanza el citoplasma. Allí se une a una molécula adecuada (receptor) y forma un complejo hormona-receptor. A partir de aquí, el complejo puede disociarse o puede entrar en el núcleo como tal y afectar a la síntesis de los ARNm. Este efecto sobre la transducción es lo que produce la respuesta fisiológica (Ordóñez 2005).

A partir de aquí, el complejo puede disociarse o puede entrar en el núcleo como tal y afectar a la síntesis de los ARNm produciéndose efectos muy variados: nuevas actividades enzimáticas, modificación de procesos metabólicos, inducción de síntesis de ARNm (Ordóñez 2005).

5.5.2. El etefón como agente madurador.

El etileno es una de las fitohormonas más ampliamente utilizadas en agricultura. Debido a su alta velocidad de difusión, el etileno es difícil de aplicar en el campo como gas, pero esta limitación se reduce utilizando algún compuesto que libere etileno (Ordóñez 2005).

El compuesto químico más ampliamente utilizado es el etefón o ácido 2-cloroetilfosfónico (nombre comercial Ethrel). El etefón en solución acuosa es fácilmente absorbido y transportado al interior del fruto. Este compuesto libera etileno lentamente, lo que permite a esta fitohormona ejercer sus efectos. De esta manera, la aplicación de etefón produce la maduración de plátanos y bananos, así como también el cambio de color en cítricos, y acelera la abscisión de flores y frutos. Este producto es de toxicidad IV (normalmente no ofrece peligro), durante el tratamiento de la fruta es utilizado en concentraciones inferiores al 2%, no ofreciendo riesgos durante la manipulación o eventuales residuos que puedan permanecer en la pulpa del plátano, sin causar intoxicación luego de su ingestión (Ordóñez 2005).

VI. Metodología

6.1. Ubicación del estudio

La investigación se llevó a cabo en el Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agronómicas, de la Universidad de El Salvador. El montaje se desarrolló en la Estación Experimental y de Prácticas (Figura 2) ubicada en el cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz; con coordenadas geográficas; 13°28'3" Latitud Norte, 89°05'8" Longitud Oeste, a una elevación de 50 metros sobre el nivel del mar (Martínez *et al.* 2005).

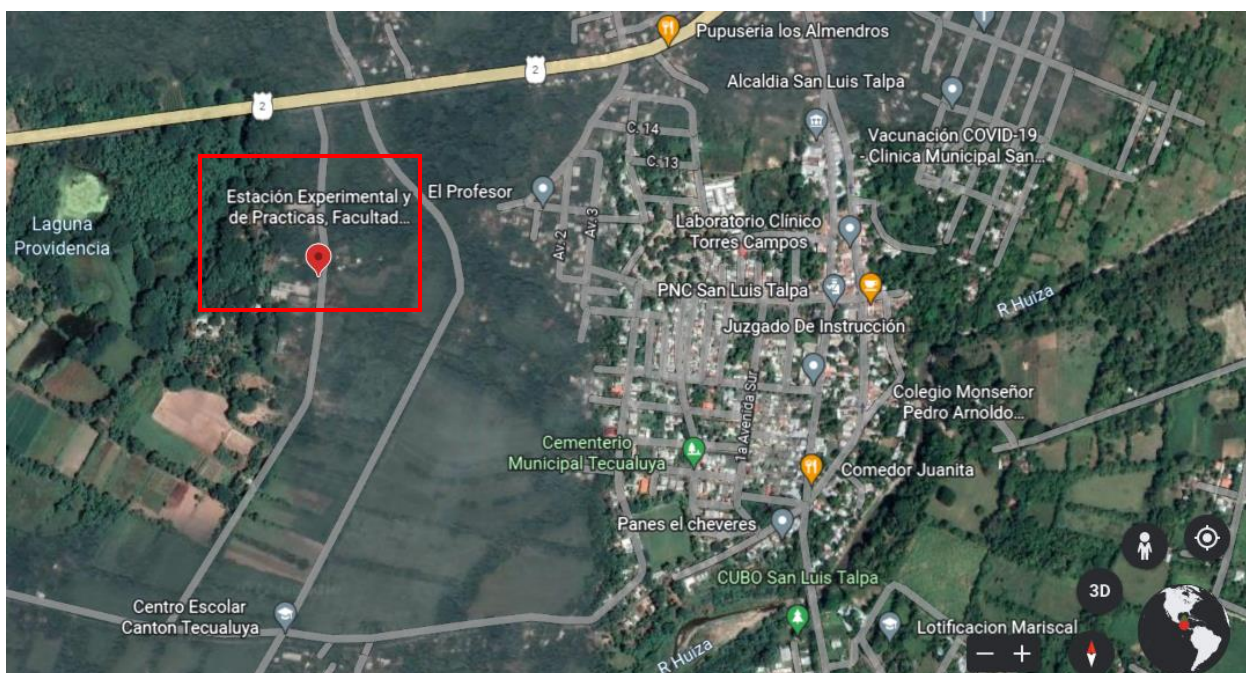


Figura 2. Localización de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Fuente: Tomado de Google Maps c2023.

6.2. Fase de campo

En esta fase se llevó a cabo la recolección de plátano como materia prima en la Cooperativa San Carlos, cantón La Cabaña, municipio de El Paísnal, departamento de San Salvador en donde se realizó el proceso de desmane, lavado y empaque para el traslado hacia la Estación Experimental de Prácticas de la UES. A continuación, se describen los materiales y los equipos utilizados en el montaje y desarrollo del ensayo, los tratamientos con sus respectivas dosis, el tiempo en que se realizó la recolección de los datos y además se detallan las fuentes de recopilación de información.

También se llevaron a cabo los procedimientos para la preparación de la solución de etileno de los respectivos tratamientos y la preparación de los plátanos, en donde se realizó una selección minuciosa en cuanto a color, tamaño y peso para que las unidades experimentales fueran lo más homogéneas posibles y obtener datos más exactos para que los resultados fueran confiables.

6.2.1. Materiales y equipo

6.2.1.1. Materiales y equipos de campo.

- ✓ Cajas de cartón
- ✓ Machete
- ✓ Plátanos
- ✓ Etileno comercial

6.2.1.2. Materiales y equipos de oficina.

- ✓ Computadora e impresora
- ✓ Teléfono celular
- ✓ Hojas de papel boom
- ✓ Libreta de apuntes
- ✓ Bolígrafos
- ✓ Marcador
- ✓ Tirro blanco
- ✓ Cinta adhesiva transparente (tape).

6.2.1.3. Materiales y equipo de laboratorio.

- ✓ Balanza semi-analitica y báscula.
- ✓ Recipientes plásticos
- ✓ Tabla para picar y cuchillos.
- ✓ Mortero
- ✓ Cristalería de laboratorio
- ✓ Hidróxido de sodio, fenolftaleína y agua destilada.
- ✓ Desinfectante
- ✓ pH-metro
- ✓ Refractómetro digital y Colorímetro.

6.2.2. Descripción de la materia prima

Para el establecimiento del ensayo se utilizó plátano cultivar *Cuerno Enano*, cosechado el día del montaje, y se obtuvo de una parcela ubicada en la Cooperativa San Carlos, cantón La Cabaña, municipio de El Paísnal, departamento de San Salvador (Figura 3 y 4). En esta Cooperativa la cosecha de plátano se realiza de manera escalonada, empleando un sistema de encintado (Figura A1), que consiste en colocar una cinta de diferente color cada semana a los racimos de plátano, llevando un mejor control sobre la edad de los frutos y determinar la fecha estimada de cosecha. Bajo este método el principal parámetro para la cosecha es la edad del fruto y para la presente investigación se cosechó el plátano a las 9 semanas desde la floración.



Figura 3. Parcela de cultivo de plátano Cuerno Enano, donde se obtuvo la materia prima.



Figura 4. Cosecha de plátano Cuerno Enano.

6.2.2.1. Procedimiento para el desmane, lavado, empaque y transporte de los racimos de plátano cosechados en la cooperativa San Carlos.

Paso 1. En una tina de lavado o un recipiente hondo (dependiendo de la cantidad de plátano) se preparó una solución con agua y jabón especial (Laterox) este producto es empleado para cortar o detener el látex que posee el fruto (Figura 5).



Figura 5. Preparación de solución con agua y jabón para detener el látex (desleche) de los plátanos.

Paso 2. Haciendo uso de una navaja con curva, especial para desmanar plátano (Figura A2), se cortaron los frutos (dedos de plátano) y se sumergieron directamente en la solución preparada y se dejaron reposar aproximadamente por un minuto (Figura 6).



Figura 6. Desmane de plátanos para sumergirlos en la solución de agua y jabón.

Paso 3. Luego de haber pasado el tiempo necesario, se retiraron los frutos (dedos de plátano) y se colocaron en jvas plásticas (Figura 7) para dejar escurrir el exceso de agua.



Figura 7. Retiro de plátanos de la solución y escurrido en jabas.

Paso 4. Cuando se eliminó el exceso de agua de los frutos (dedos de plátano), se colocaron en cajas de cartón (Figura 8) para poder ser transportados hacia la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas.



Figura 8. Empacado de plátanos en cajas de cartón para ser transportados.

6.2.3. Tamaño de la muestra

Se utilizaron 100 unidades de plátano en total, los cuales se dividieron en 20 muestras con 5 unidades de plátano cada una que equivalen a los tratamientos y se colocaron en cajas de cartón con dimensiones de 25 x 30 x 15 cm para su seguimiento y toma de datos.

Se evaluó el efecto de tres diferentes dosis de etileno comercial (0.6, 1.1 y 1.6 ml/L de agua), realizando la toma de datos cada 48 horas a partir del día cero hasta que el 100% de la fruta presentó un color amarillo homogéneo en toda su cáscara. Posterior a la aplicación del etileno en las muestras, el testigo fue madurado de forma natural sin aplicación de madurante.

6.2.4. Fuentes de recopilación de información

La información primaria se adquirió del ensayo evaluado, tanto de la maduración artificial, como de la maduración natural de plátano cultivar *Cuerno Enano*. A su vez, la información presente en el marco referencial y conceptual se recopiló de fuentes secundarias de carácter científico como: artículos, boletines, libros, informes técnicos, sitios web, tesis, entre otros.

6.2.5. Procedimiento para la preparación de solución de etileno.

Paso 1. Según cada tratamiento se realizó la medición de agua y cálculo de etileno (Cuadro 2); para ello se utilizaron 3 recipientes plásticos de similar tamaño (Figura 9).

Paso 2. Se midió la cantidad de agua utilizando un recipiente graduado y se agregó en los 3 recipientes plásticos según cada tratamiento.

Paso 3. Haciendo uso de una probeta o jeringa graduada se realizó la medición de etileno y se agregó a los recipientes con agua (Figura 9).

Cuadro 2. Cálculo de etileno necesario para cada tratamiento.

Tratamiento	Descripción	Etileno necesario
T1	0.6 ml de etileno * 10 L	6 ml
T2	1.1 ml de etileno * 10 L	11 ml
T3	1.6 ml de etileno * 10 L	16 ml

Fuente: Elaboración propia.



Figura 9. Preparación de dosis de etileno para cada tratamiento.

6.2.6. Procedimiento para aplicación de los tratamientos de madurante en plátanos.

Paso 1. Se realizó una selección de los plátanos de manera que todos fueran similares en tamaño (Figura 10) y se eliminaron frutos dañados.



Figura 10. Selección de plátano por tamaño.

Paso 2. Los frutos se clasificaron en 4 grupos (25 plátanos en cada grupo) según cada tratamiento que se aplicó.

Paso 3. Los frutos se sumergieron por 2 minutos en la solución de etileno preparada, según cada tratamiento (T1, T2 y T3). Los plátanos del tratamiento T0 se colocaron directamente en las cajas de cartón sin inmersión en etileno comercial ya que este representa la maduración en condición natural (Figura 11).



Figura 11. Plátanos sumergidos en solución de etileno según cada tratamiento.

Paso 4. Al transcurrir los 2 minutos se retiraron de la solución del madurante y colocaron en una mesa de acero inoxidable para eliminar el agua en la superficie de los frutos.

Paso 5. Los frutos ya secos, se colocaron en el interior de cajas de cartón, conteniendo 5 plátanos por caja (Figura 12), haciendo un total de 5 cajas por tratamiento.



Figura 12. Colocación de los plátanos en cajas de cartón por cada tratamiento.

Paso 6. Las cajas se llevaron a un lugar limpio y seco para su debido montaje y monitoreo de temperatura (Figura 13). Posterior se realizaron las tomas de datos cada 48 horas.



Figura 13. Montaje de los tratamientos en un espacio limpio y seco.

6.3. Fase de laboratorio.

Esta fase consistió en los procedimientos desarrollados para cada prueba de laboratorio, acompañado de los materiales y el equipo utilizados, es decir, los parámetros evaluados como: tiempo de maduración, pérdida de peso, medición de color, sólidos solubles totales (°Brix), acidez titulable (%), potencial de Hidrógeno (pH). Dichos análisis se realizaron cada 48 horas (4 mediciones en total) partiendo desde el día cero o día de montaje y finalizando a las 144 horas. Las mediciones se llevaron a cabo en la planta de procesamiento de frutas y hortalizas de la Estación Experimental y de Prácticas, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

6.3.1. Parámetros evaluados.

6.3.1.1. Tiempo de maduración (días).

El tiempo de maduración se determinó en días, desde la colocación de los frutos de plátano en las cajas de cartón hasta que el 100% de la fruta presentó un color amarillo homogéneo en toda su cáscara.

6.3.1.2. Pérdida de peso.

Para la medición de pérdida de peso se llevó a cabo un seguimiento del fruto, partiendo desde el día cero (día de cosecha), luego a las 48, 96 y 144 horas posterior a la aplicación del madurante artificial. Se utilizó una báscula semi analítica con sensibilidad de 0.5 gr (Figura 14). El pesaje se realizó a temperatura ambiente; la pérdida de peso se obtuvo por diferencia del peso inicial menos el peso final en gramos.



Figura 14. Medición de pérdida de peso en plátano con aplicación de etileno comercial.

6.3.1.3. Medición de color.

Para la determinación del cambio de color se hicieron mediciones en la cáscara y pulpa del plátano. En la cáscara se realizó la medición en los perfiles del fruto y para la pulpa se retiró la cáscara y se tomó el color solamente en la superficie. Para ello se hizo uso de un colorímetro digital Konica Minolta modelo Chroma Meter CR-410 (Figura 15), el cual determina el color de un objeto dentro del espacio de color y muestra los valores para cada coordenada L^* , a^* , y b^* . La medición se realizó desde el día cero (día de cosecha), luego a las 48, 96 y 144 horas posterior a la aplicación del madurante artificial, alcanzando 100% de madurez de consumo con un color amarillo homogéneo en toda su cáscara en tiempos de 48 y 96 horas según los tratamientos.

La interpretación de los datos obtenidos con este equipo se basó en el espacio de color CIELAB. Según Oliag (2007), el espacio de color CIELAB, es un sistema cartesiano formado por 3 ejes, un eje vertical (L^*) y dos ejes horizontales (a^* y b^*). El eje vertical L^* , representa la medida de luminosidad de un color variando desde cero para un negro hasta 100 para un blanco. El eje horizontal a^* , representa una medida del contenido de rojo o de verde de un color. Si un color tiene rojo, a^* será positiva, mientras que, si un color tiene verde, a^* será negativa. El eje horizontal b^* , perpendicular al eje a^* , representa una medida del contenido de amarillo o de azul de un color. Valores positivos de b^* indican contenido de amarillo, mientras valores negativos de b^* indican contenido de azul.



Figura 15. Medición de color en cáscara y pulpa de plátano con aplicación de etileno.

6.3.1.4. Sólidos solubles totales (°Brix).

Para la medición de este parámetro se utilizó un método instrumental cuantitativo, mediante el uso de un refractómetro análogo, marca TEKCOPLUS ATC con rango de medición de 0 a 50 ° Brix,

con la finalidad de conocer la concentración total de sacarosa, es decir, la cantidad de azúcar presente en la fruta. La medición se realizó desde el día cero (día de cosecha), luego a las 48, 96 y 144 horas posterior a la aplicación del madurante artificial.

Preparación de la muestra:

Para la obtención de la muestra de pulpa de plátano se realizó un corte en cada extremo del fruto para poder retirar la cascará, luego se cortó en trozos de tamaño aproximado de un cm y se agregaron en el interior de un mortero para moler hasta obtener una pulpa blanda que facilito la medición con el refractómetro (Figura 16). La muestra triturada se pasó por tamiz metálico para extraer el percolado y de este se tomó 1 ml de muestra para realizar la medición con el refractómetro.



Figura 16. Preparación de la muestra para la medición de °Brix, acidez titulable y pH.

Procedimiento:

Se tomó un ml de muestra de plátano, posteriormente se colocó en el área de muestreo del refractómetro, el cual previamente se calibró con agua destilada para realizar las mediciones necesarias de las muestras (Figura 17). Los datos se obtuvieron sobre el valor exacto del contenido de solidos solubles totales (SST) expresado en porcentaje en la escala de grados Brix de la muestra analizada.



Figura 17. Medición de °Brix en pulpa de plátano.

6.3.1.5. Acidez titulable (%).

Para la medición de este parámetro se utilizó un método volumétrico cuantitativo, el cual consistió en una titulación de la muestra con el valorante o titulante hidróxido de sodio (NaOH 0.1N.), utilizando como indicador 3 gotas de fenolftaleína. La medición se realizó desde el día cero (día de cosecha), luego a las 48, 96 y 144 horas posterior a la aplicación del madurante artificial.

La acidez es el porcentaje de peso de los ácidos concentrados en el producto, se determina por análisis conocido como titulación que es la neutralización de iones de hidrogeno del ácido con una solución de NaOH de concentración conocida. Este se adiciona con una bureta puesta verticalmente en un soporte universal (Merchán 2020).

Preparación de la muestra:

Para la obtención de la muestra se aplicó la misma metodología descrita para el parámetro de medición de Sólidos solubles totales (°Brix) (Figura 16).

Preparación de solución:

- ✓ Se tomaron 10 g de la muestra preparada.
- ✓ Se colocaron en un matraz volumétrico (Erlenmeyer).
- ✓ Se agregaron 10 ml de agua destilada y mezclaron hasta tener una muestra homogénea.

Titulación.

- ✓ Se llenó la bureta con NaOH 0.1N.
- ✓ Se agregaron 3 gotas de fenolftaleína como indicador a la solución preparada.

- ✓ Se agregaron gota a gota de NaOH sobre la solución preparada.
Se tituló hasta que se observó un viraje de color rosa pálido (Figura 18) en la solución preparada.
- ✓ Se tomó la lectura en la bureta de la cantidad de NaOH gastados y se procedió a realizar el cálculo siguiente.

Cálculo.

$$\text{Ácido cítrico (\%)} = \frac{V \cdot N \cdot \text{Meq}}{\text{Alícuota valorada}} * 100$$

Dónde:

- ✓ **V** = Volumen de NaOH gastados (ml).
- ✓ **N** = Normalidad del NaOH.
- ✓ **Meq** = Miliequivalente del ácido que se encuentra en mayor proporción de la muestra (0,064 para ácido cítrico).
- ✓ **Alícuota valorada** = Peso en g, o volumen de muestra en ml.



Figura 18. Titulación con hidróxido de sodio para determinar el % de acidez titulable.

6.3.1.6. Potencial de Hidrógeno (pH).

Para la medición de este parámetro se utilizó un método instrumental cuantitativo, mediante el uso de un phmetro de la marca OAKTON pHTestr 30 (Figura 19), con la finalidad de conocer el grado de alcalinidad o acidez del fruto. La medición se realizó desde el día cero (día de cosecha), luego a las 48, 96 y 144 horas posterior a la aplicación del madurante artificial.



Figura 19. Medición de pH en muestra de percolado de pulpa de plátano.

Preparación de la muestra:

Para la obtención de la muestra se aplicó la misma metodología descrita para el parámetro de medición de Sólidos solubles totales (°Brix) (Figura 16).

Procedimiento:

Se tomó una muestra de 10 g de plátano, se agregó a un vaso de precipitado junto con 10 ml de agua destilada y se mezcló hasta obtener una muestra homogénea. Previamente se calibró el phmetro para realizar las mediciones necesarias de las muestras. Para realizar la medición se sumergió el sensor del phmetro en la muestra, el cual al activarse arroja los datos en una pantalla digital sobre el valor exacto del pH en la muestra analizada (Figura 19).

6.4. Análisis de datos.

6.4.1. Diseño estadístico.

Para evaluar el efecto de tres distintas dosis de etileno comercial sobre la maduración de plátano cultivar *Cuerno Enano* se hizo uso de un Diseño Completamente al Azar (DCA), que constó de cuatro tratamientos y cinco repeticiones lo que equivalió a 20 unidades experimentales, representadas por 5 unidades de plátano en el interior de una caja de cartón.

En cuanto a la toma de datos para su posterior análisis, la medición se realizó desde el día cero (día de cosecha), luego a las 48, 96 y 144 horas posterior a la aplicación del madurante artificial, se procedió a realizar la comparación entre la maduración natural y el uso de etileno como agente madurador del plátano en distintas dosis mediante los resultados obtenidos.

A continuación, en el cuadro 3 se detalla la identificación y codificación de cada tratamiento.

Cuadro 3. Identificación y codificación de tratamientos.

Trat.	Descripción	Rep.	UE	Total (u/plátano)
T0 (testigo)	Plátano + maduración natural	5	5	25
T1	Plátano + 0.6 ml de etileno/ L	5	5	25
T2	Plátano + 1.1 ml de etileno/ L	5	5	25
T3	Plátano + 1.6 ml de etileno/ L	5	5	25
Total (u/plátano)				100

Trat: tratamiento; Rep: repeticiones; UE: unidades experimentales.

Fuente: elaboración propia.

El DCA se basó en el análisis de varianza (ANOVA) en donde la varianza total se descompone en la varianza de los tratamientos y la varianza del error. Se usó un nivel de significancia del 95% (P-val = 0.05) para determinar si existen diferencias significativas en los tratamientos. También se utilizó la prueba de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey) para determinar que tratamientos presentan los mejores efectos. Para el procesamiento de los datos se utilizó el programa estadístico Infostat.

VII. Resultados

7.1. Pérdida de peso

En el cuadro 4 del análisis de varianza se puede apreciar que no existen diferencias estadísticas significativas en los tratamientos, ya que, p-valores mayores al nivel de significancia de 0.05% indican igualdad, es decir, se acepta la hipótesis nula, los tratamientos no presentaron diferencias en la pérdida de peso a las 48, 96 y 144 horas posterior a la aplicación del madurante artificial.

Cuadro 4. Análisis de varianza para pérdida de peso.

P-valor de la pérdida de peso (gr)		
Tiempo	*P-valor	Significancia
Toma inicial	0.5123	NO SIGNIFICATIVO
48 horas	0.4587	NO SIGNIFICATIVO
96 horas	0.4004	NO SIGNIFICATIVO
144 horas	0.1974	NO SIGNIFICATIVO

*P-valor > 0.05 indican igualdad, es decir, no existen diferencias estadísticas significativas en los tratamientos.

Fuente: elaboración propia.

7.1.1. Efectos de los tratamientos en la pérdida de peso

La figura 20, muestra los resultados de la pérdida de peso, donde fueron consideradas 3 diferentes dosis de etileno comercial (0.6, 1.1 y 1.6 ml de madurante/L de agua), aplicadas a plátano cv Cuerno Enano, en donde se pudo determinar que a los plátanos que se les aplicaron los diferentes tratamientos tuvieron una tendencia a disminuir más peso en comparación al tratamiento testigo (**T0 = sin aplicación de madurante**), pues el peso está relacionado con la cantidad de agua interna que los frutos trasladan al ambiente como parte de su proceso físico. **Los tratamientos T2 y T3 presentaron una pérdida de peso de 30.8 y 37.2 gr durante 144 horas** posteriores a la aplicación del madurante artificial. **En comparación con el T0 que presentó una pérdida de peso de 19.8 gr.**

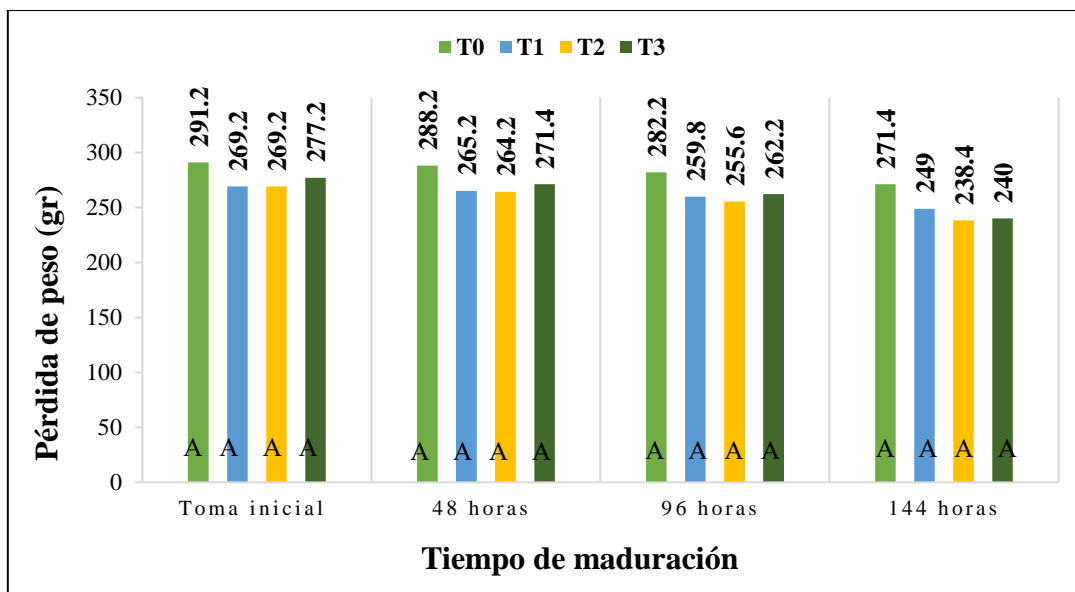


Figura 20. Pérdida de peso promedio en gr de plátano cv Cuerno Enano tratado con etileno comercial durante 144 horas. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).

7.2. Color

- **COLOR DE CÁSCARA.**

En el cuadro 5 del análisis de varianza para el color de cáscara se puede apreciar que, en la toma inicial, los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas para las coordenadas de color (L^*), (a^*), y (b^*) según el sistema del espacio CIELAB, esto debido a que en la toma inicial o día cero los frutos de plátanos estaban verdes y sin aplicación de madurante; por el contrario cuando las mediciones de color se realizaron a las 48, 96 y 144 horas, los tratamientos si presentaron diferencias estadísticas significativas para el color de cáscara con P-valores menores al nivel de significancia de 0.05%. Por lo anterior se acepta la hipótesis alterna sinónimo de diferencia entre los tratamientos. Por tal manera se determina que la aplicación de etileno comercial en los frutos de plátanos si presentó un efecto en el cambio de color de la cáscara.

Cuadro 5. Análisis de varianza para color de cáscara.

P-valor de color de cáscara			
Tiempo	*P-valor		Significancia
Toma inicial	L^*	0.2559	NO SIGNIFICATIVO
	a^*	0.6561	NO SIGNIFICATIVO
	b^*	0.7845	NO SIGNIFICATIVO

48 horas	L*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
	a*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
	b*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
96 horas	L*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
	a*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
	b*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
144 horas	L*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
	a*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
	b*	<0.0001	SIGNIFICATIVO

*P-valor > 0.05 indican igualdad, es decir, no existen diferencias estadísticas significativas en los tratamientos.

Fuente: elaboración propia.

7.2.1. Efectos de los tratamientos en el color de la cáscara.

La figura 21, muestra los resultados del color de cáscara para la coordenada (L*) ubicada en el espacio de color CIELAB (negro - blanco), donde fueron consideradas 3 diferentes dosis de etileno comercial (0.6, 1.1 y 1.6 ml/L de agua), aplicadas a plátano *cv* Cuerno Enano, donde se puede apreciar que a las 48 horas los 4 tratamientos presentaron una tendencia al alza según sus valores positivos, lo que indica que a medida el tiempo de maduración avanza la claridad de los tejidos aumenta debido al viraje de color verde a amarillo, luego a las 96 horas se pudo notar que los tratamientos T0 y T1 que fueron inducidos por las dosis más pequeñas de etileno continuaron aumentando sus valores positivos, caso contrario los tratamientos T2 y T3 que fueron inducidos por las dosis más altas de etileno comenzaron a bajar, esto debido a que la maduración fue más acelerada y a medida los plátanos fueron pasando de color verde a amarillo, este último se fue tornando a un amarillo más oscuro y con manchas negras disminuyendo así la luminosidad. De igual manera a las 144 horas los tratamientos T1, T2 y T3 continuaron con la tendencia a bajar, sin embargo, el T0 que tuvo una maduración natural todavía presentó un ligero aumento en sus valores positivos, ya que, a las 144 horas aún estaban en el viraje de color de verde a amarillo claro (Figura 21), presentando una luminosidad alta en la cáscara (Figura 23).

Mediante la prueba de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey), se logró determinar que los tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas en el color de cáscara coordenada (L*).

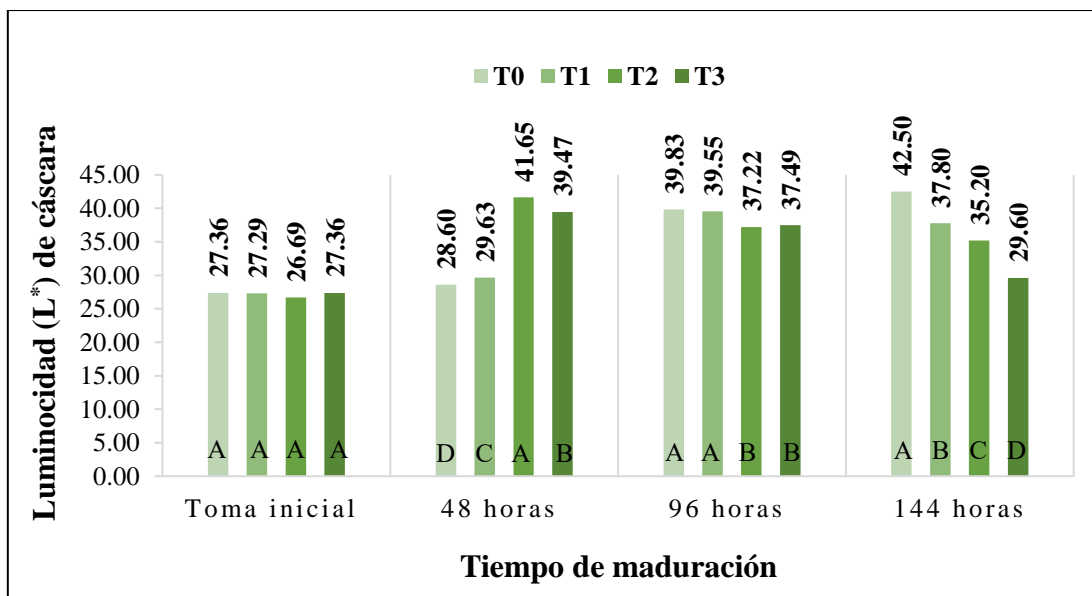


Figura 21. Comportamiento de la luminosidad (L^*) en la cáscara de plátano *cv* Cuerno Enano tratado con etileno comercial durante 144 horas. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).

La figura 22, muestra los resultados del color de cáscara para la coordenada de color (a^*) ubicada en el espacio de color CIELAB (rojo - verde), donde fueron consideradas 3 diferentes dosis de etileno comercial (0.6, 1.1 y 1.6 ml/L de agua), aplicadas a plátano *cv* Cuerno Enano. Se puede apreciar que en la toma inicial y a las 48 horas los tratamientos presentaron valores negativos debido al color verde que aún presentaban en su cáscara, siendo el T3 el tratamiento que a las 48 horas presentó un valor positivo de (2.16) lo que indica que comenzaba a hacer el viraje de color debido a la maduración más acelerada por la aplicación de la dosis más alta de etileno. A las 96 y 144 horas se observó un cambio más notable en los valores positivos de los tratamientos T1, T2 y T3 que se trataron con etileno y su maduración fue más rápida que el T0 que fue naturalmente y que aún a las 144 horas seguía con un valor negativo de (-4.51) índice de un color aún verde.

Mediante la prueba de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey), se logró determinar que los tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas en el color de cáscara coordenada (a^*).

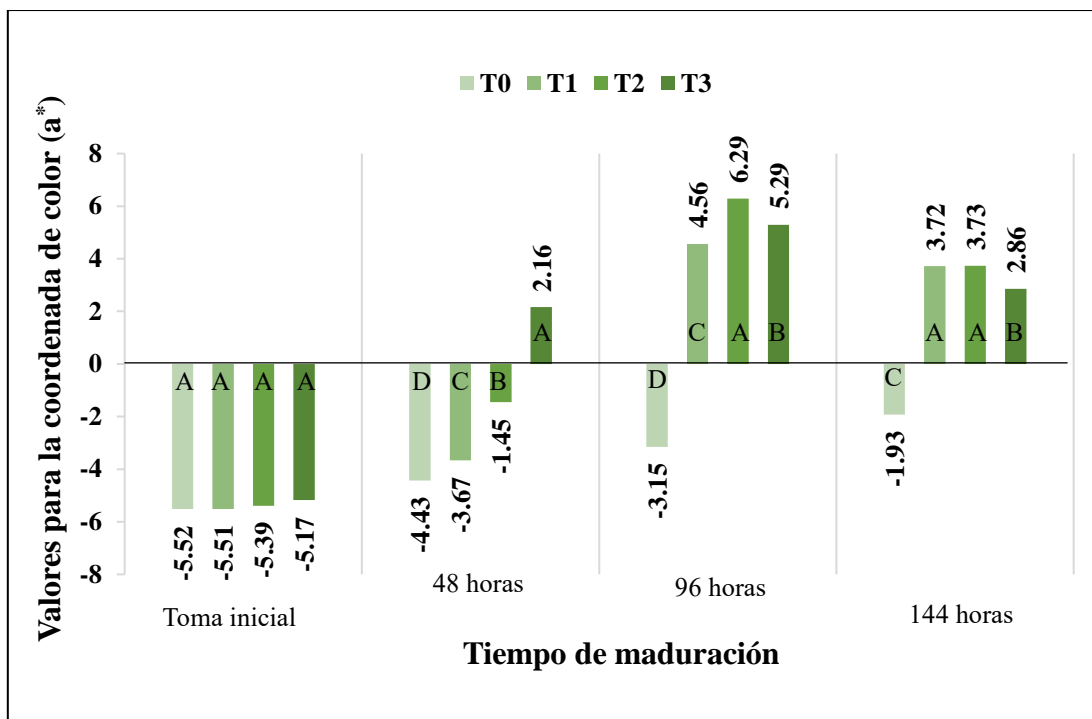


Figura 22. Comportamiento de la coordenada de color (a^*) en la cáscara de plátano *cv* Cuerno Enano tratado con etileno durante 144 horas. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).

La figura 24, muestra los resultados del color de cáscara para la coordenada (b^*) ubicada en el espacio de color CIELAB (amarillo - azul), donde fueron consideradas 3 diferentes dosis de etileno comercial (0.6, 1.1 y 1.6 ml/L de agua), aplicadas a plátano *cv* Cuerno Enano, donde se puede apreciar que los tratamientos presentaron una tendencia al alza con valores positivos posterior a las 48 y 96 horas de aplicado el madurante. Se puede notar que los tratamientos tratados con etileno comercial presentaron los valores más altos, esto se debe a la maduración acelerada que tuvieron por efecto del etileno, presentando valores positivos que representan un viraje de color a amarillo. A las 144 horas se observa lo contrario, los tratamientos T1, T2 y T3 comenzaron a bajar sus valores, ya que al llegar a su punto óptimo de maduración después comenzó la senescencia y el color amarillo comenzó a tornarse marrón y fueron apareciendo manchas de color oscuro (Figura 23); mientras que el tratamiento T0 que tuvo una maduración natural continuó aumentando su valor positivo, ya que aún no se había alcanzado el punto óptimo de maduración, continuando aún su viraje de color de verde a amarillo.

Mediante la prueba de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey), se logró determinar que los tratamientos presentaron diferencias significativas en el color de cáscara coordenada (b^*).



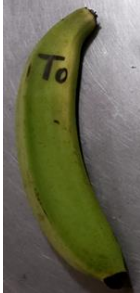













T0 (sin aplicación de etileno)			
Toma inicial	Toma 1 (48 horas)	Toma 2 (96 horas)	Toma 3 (144 horas)
			
T1 (0.6 ml de etileno/L de agua)			
Toma inicial	Toma 1 (48 horas)	Toma 2 (96 horas)	Toma 3 (144 horas)
			
T2 (1.1 ml de etileno/L de agua)			
Toma inicial	Toma 1 (48 horas)	Toma 2 (96 horas)	Toma 3 (144 horas)
			
T3 (1.6 ml de etileno/L de agua)			
Toma inicial	Toma 1 (48 horas)	Toma 2 (96 horas)	Toma 3 (144 horas)
			

Figura 23. Cambio de color de la cáscara de plátano durante la maduración acelerada con etileno.

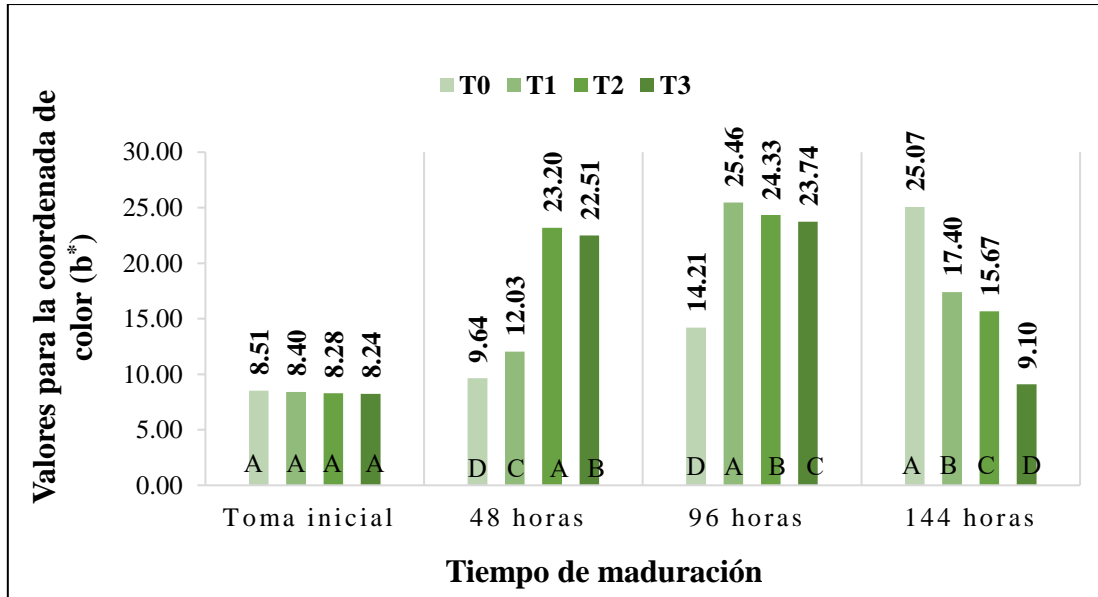


Figura 24. Comportamiento de la coordenada de color (b^*) en la cáscara de plátano *cv* Cuerno Enano tratado con etileno durante 144 horas. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).

- **COLOR DE PULPA.**

En el cuadro 6 del análisis de varianza para el color de pulpa se puede apreciar que, con P-valores menores al nivel de significancia de 0.05% se aceptó la hipótesis alterna, sinónimo de diferencia, los tratamientos en estudio presentaron diferencias estadísticas significativas en la toma inicial, a las 48, 96 y 144 horas para la luminosidad representado por la letra (L^*), color rojo – verde (a^*), y color amarillo – azul (b^*) según el sistema del espacio CIELAB. Por tal manera se asume que la aplicación de etileno comercial en los plátanos si tuvo efecto en el cambio de color de la pulpa.

Cuadro 6. Análisis de varianza para color de pulpa.

P-valor de color de pulpa			
Tiempo		*P-valor	Significancia
Toma inicial	L*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
	a*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
	b*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
48 horas	L*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
	a*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
	b*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
96 horas	L*	<0.0001	SIGNIFICATIVO

	a*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
	b*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
144 horas	L*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
	a*	<0.0001	SIGNIFICATIVO
	b*	<0.0001	SIGNIFICATIVO

*P-valor > 0.05 indican igualdad, es decir, no existen diferencias estadísticas significativas en los tratamientos.

Fuente: elaboración propia.

7.2.2. Efectos de los tratamientos en el color de la pulpa.

La figura 25, muestra los resultados del color de pulpa para la coordenada de color (L*) ubicada en el espacio de color CIELAB (negro - blanco), donde fueron consideradas 3 diferentes dosis de etileno comercial (0.6, 1.1 y 1.6 ml/L de agua), aplicadas a plátano *cv* Cuerno Enano, donde se puede apreciar que los 4 tratamientos presentaron una tendencia a bajar pero manteniéndose con valores positivos, lo que indica que a medida el tiempo de maduración avanza la claridad de los tejidos disminuye debido al viraje de color de blanco a crema o amarillo pálido (Figura 28).

Mediante la prueba de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey), se logró determinar que los tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas en el color de pulpa coordenada (L*).

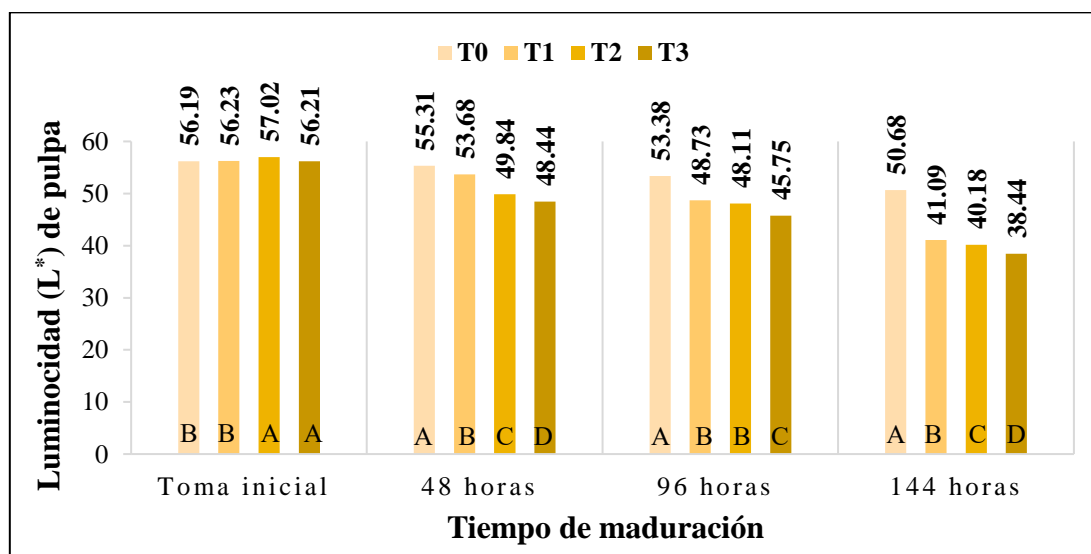


Figura 25. Comportamiento de la luminosidad (L*) en la pulpa de plátano *cv* Cuerno Enano tratado con etileno comercial durante 144 horas. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).

La figura 26, muestra los resultados del color de pulpa para la coordenada (a^*) ubicada en el espacio de color CIELAB (rojo - verde), donde fueron consideradas 3 diferentes dosis de etileno comercial (0.6, 1.1 y 1.6 ml/L de agua), aplicadas a plátano *cv* Cuerno Enano, donde se puede apreciar que los 4 tratamientos presentaron una tendencia al alza según sus valores positivos, siendo notoria una diferencia en los tratamientos tratados con etileno, lo que indica que a medida el tiempo de maduración avanza y tomando en cuenta que los plátanos tratados con este producto maduran a mayor velocidad, ocurre un viraje de color en los tejidos de blanco a crema o amarillo pálido. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que en esta coordenada el rango en que los valores aumenta es poco, desde 2 – 10 aproximadamente, ya que va de rojo valores negativos a verde valores positivos, ubicando los valores obtenidos entre ambos, es decir una tonalidad neutra (color claro).

Mediante la prueba de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey), se logró determinar que los tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas en el color de pulpa coordenada (a^*).

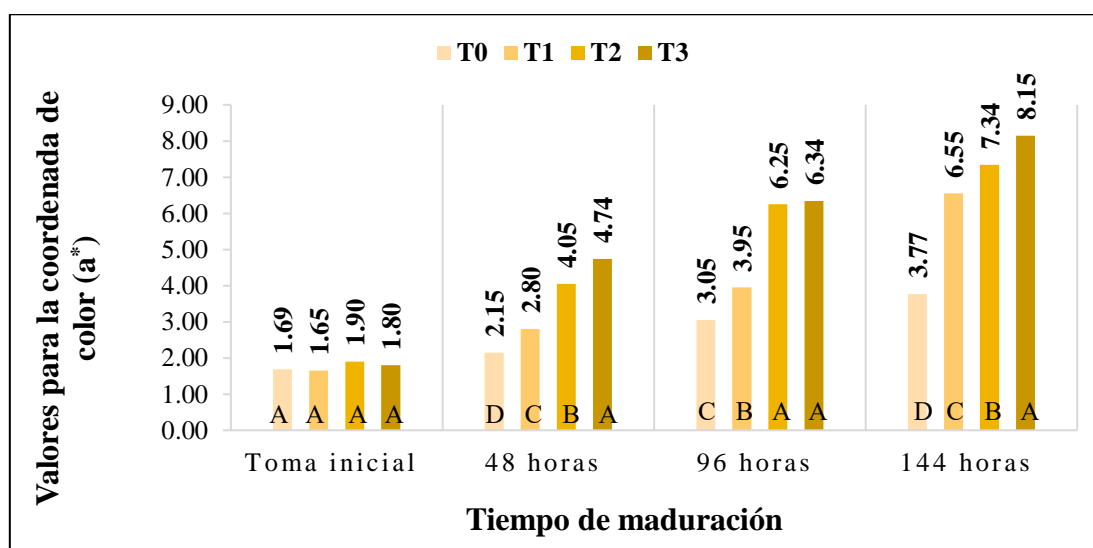


Figura 26. Comportamiento de la coordenada de color (a^*) en la pulpa de plátano *cv* Cuerno Enano tratado con etileno comercial durante 144 horas. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).

La figura 27, muestra los resultados del color de pulpa para la coordenada (b^*) ubicada en el espacio de color CIELAB (amarillo - azul), donde fueron consideradas 3 diferentes dosis de etileno comercial (0.6, 1.1 y 1.6 ml/L de agua), aplicadas a plátano *cv* Cuerno Enano, donde se puede apreciar que los 4 tratamientos presentaron una tendencia al alza según sus valores positivos, siendo notoria una mayor diferencia en los tratamientos tratados con etileno exógeno, lo que indica que a

medida el tiempo de maduración avanza y tomando en cuenta que los plátanos tratados con este producto maduran a mayor velocidad, ocurre un viraje de color en los tejidos, en este caso blanco a crema o amarillo pálido (Figura 28).

Mediante la prueba de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey), se logró determinar que los tratamientos presentaron diferencias significativas en el color de pulpa coordenada (b*).

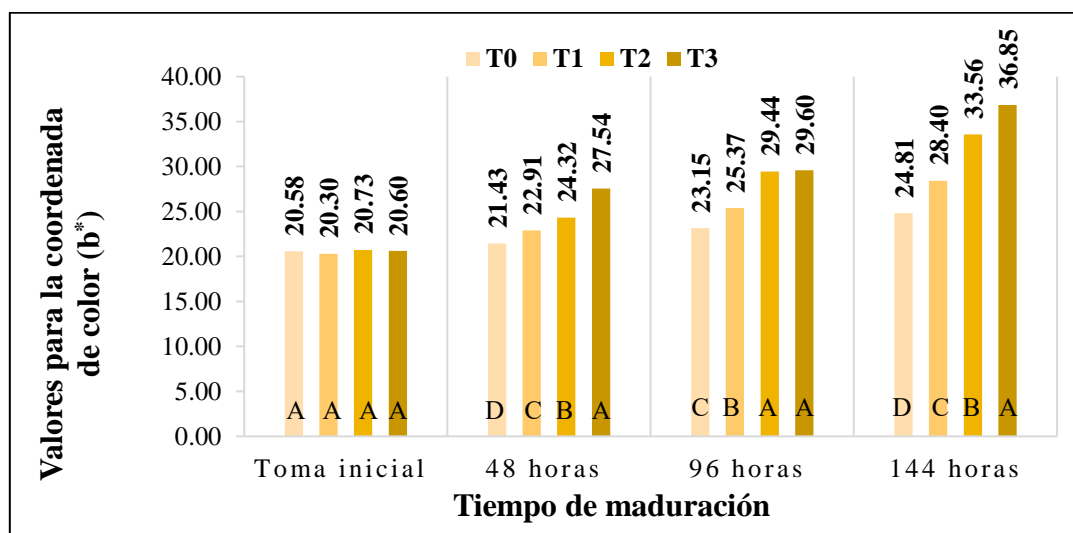


Figura 27. Comportamiento de la coordenada de color (b*) en la pulpa de plátano *cv* Cuerno Enano tratado con etileno comercial durante 144 horas. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).

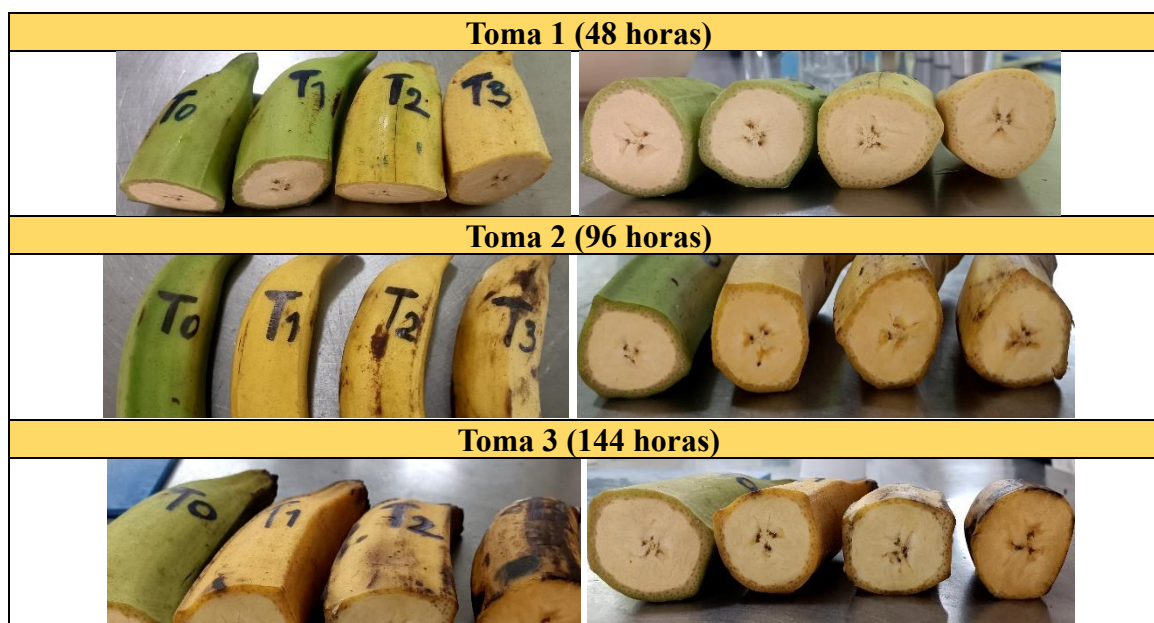


Figura 28. Cambio de color de la pulpa de plátano durante la maduración acelerada con etileno.

7.3. Sólidos solubles totales (°Brix).

En el cuadro 7 del análisis de varianza se puede apreciar que en la toma inicial, los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas, ya que, P-valores mayores al nivel de significancia de 0.05% indican igualdad, es decir, se acepta la hipótesis nula, los tratamientos no presentaron diferencias en los sólidos solubles totales en la toma inicial, no obstante a las 48, 96 y 144 horas, los tratamientos si presentaron diferencias estadísticas significativas con P-valores menores al nivel de significancia de 0.05%. Se aceptó la hipótesis alterna sinónimo de diferencia.

Cuadro 7. Análisis de varianza para sólidos solubles totales.

P-valor de °Brix		
Tiempo	*P-valor	Significancia
Toma inicial	0.4121	NO SIGNIFICATIVO
48 horas	<0.0001	SIGNIFICATIVO
96 horas	<0.0001	SIGNIFICATIVO
144 horas	<0.0001	SIGNIFICATIVO

*P-valor > 0.05 indican igualdad, es decir, no existen diferencias estadísticas significativas en los tratamientos.

Fuente: elaboración propia.

7.3.1. Efectos de los tratamientos en los sólidos solubles totales (°Brix).

La figura 29, muestra los resultados de los sólidos solubles totales (°Brix), donde fueron consideradas 3 diferentes dosis de etileno comercial (0.6, 1.1 y 1.6 ml/L de agua), aplicadas a plátano cv Cuerno Enano, en donde se pudo determinar que en los tratamientos T2 y T3 se alcanzó un mayor contenido de sólidos solubles dando un resultado de (T2 = 11.92, T3 = 12.16) a las 96 horas y manteniéndose similar a las 144 horas, mientras que el menor contenido de sólidos solubles se presentó en el T0 con un resultado de (T0 = 2.12) a las 144 horas que tuvo una maduración natural sin aplicación de etileno.

Mediante la prueba de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey), se logró determinar que los tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas en los sólidos solubles totales.

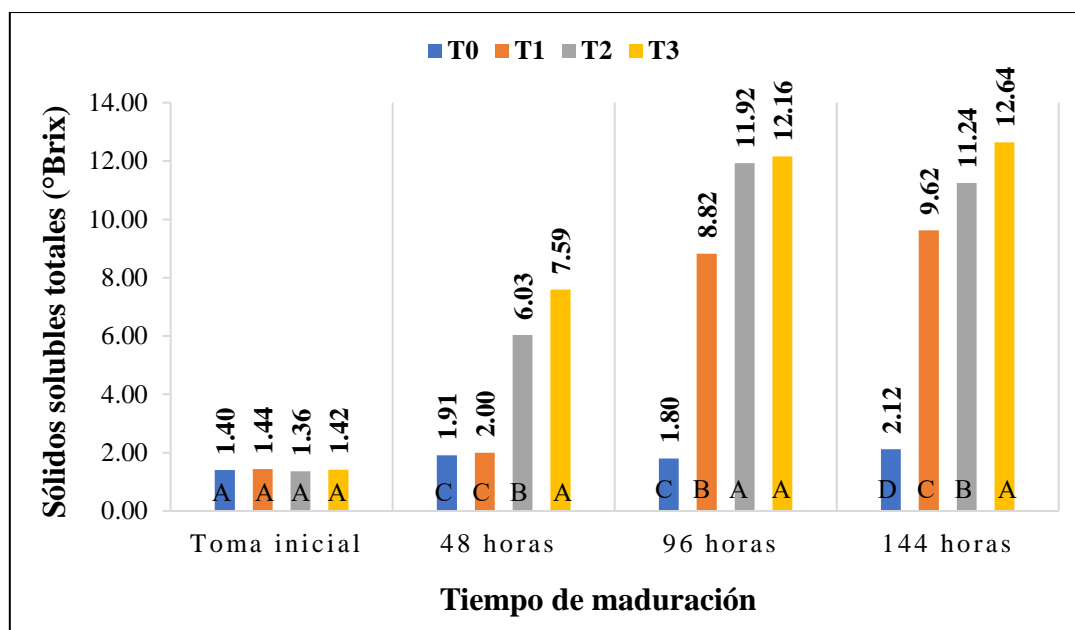


Figura 29. Efectos de los tratamientos en los °Brix de plátano cv Cuerno Enano tratado con etileno comercial. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).

7.4. Acidez titulable (%).

En el cuadro 8 del análisis de varianza se puede apreciar que en la toma inicial, los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas significativas, ya que, P-valores mayores al nivel de significancia de 0.05% indican igualdad, es decir, se acepta la hipótesis nula, los tratamientos no presentaron diferencias en la acidez titulable en la toma inicial, no obstante a las 48, 96 y 144 horas, los tratamientos si presentaron diferencias estadísticas significativas con P-valores menores al nivel de significancia de 0.05%. Se aceptó la hipótesis alterna sinónimo de diferencia.

Cuadro 8. Análisis de varianza para acidez titulable.

P-valor de acidez titulable %		
Tiempo	*P-valor	Significancia
Toma inicial	0.8540	NO SIGNIFICATIVO
48 horas	<0.0001	SIGNIFICATIVO
96 horas	<0.0001	SIGNIFICATIVO
144 horas	<0.0001	SIGNIFICATIVO

*P-valor > 0.05 indican igualdad, es decir, no existen diferencias estadísticas significativas en los tratamientos.

Fuente: elaboración propia.

7.4.1. Efectos de los tratamientos en la acidez titulable.

La figura 30, muestra los resultados de la acidez titulable (%), donde fueron consideradas 3 diferentes dosis de etileno comercial (0.6, 1.1 y 1.6 ml/L de agua), aplicadas a plátano *cv* Cuerno Enano, en donde se pudo determinar que los tratamientos a los que se les aplicó etileno comercial a partir de las 48 horas tuvieron un aumento en el % de acidez con promedios de (T1 = 0.23, T2 y T3 = 0.24) a las 96 horas y una acidez de (T1 y T2 = 0.26) a las 144 horas, y presentando una disminución en la acidez el T3 con un promedio de (0.20) a las 144 horas.

Mediante la prueba de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey), se logró determinar que los tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas en la acidez titulable.

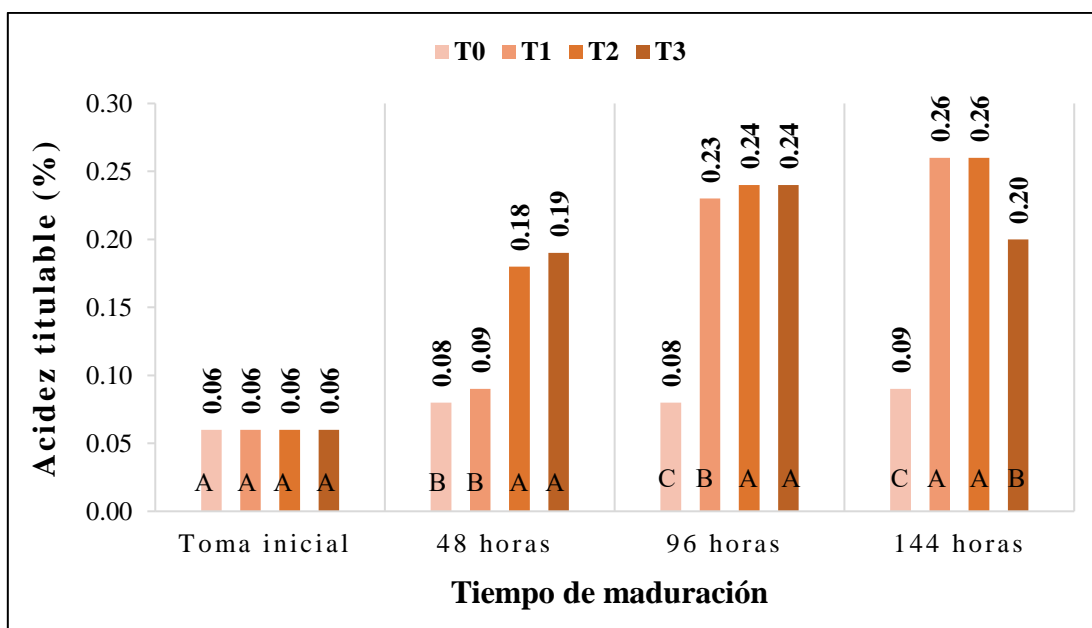


Figura 30. Efectos de los tratamientos en la acidez titulable de plátano *cv* Cuerno Enano tratado con etileno comercial. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).

7.5. Potencial de hidrógeno (pH).

En el cuadro 9 del análisis de varianza para pH se puede apreciar que, en la toma inicial, los tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas a las 48, 96 y 144 horas con P-valores menores al nivel de significancia de 0.05%. Se aceptó la hipótesis alterna sinónimo de diferencia.

Cuadro 9. Análisis de varianza para potencial de hidrogeno.

P-valor de pH		
Tiempo	*P-valor	Significancia
Toma inicial	0.2820	NO SIGNIFICATIVO
48 horas	<0.0001	SIGNIFICATIVO
96 horas	<0.0001	SIGNIFICATIVO
144 horas	<0.0001	SIGNIFICATIVO

*P-valor > 0.05 indican igualdad, es decir, no existen diferencias estadísticas significativas en los tratamientos.

Fuente: elaboración propia.

7.5.1. Efectos de los tratamientos en el potencial de hidrógeno.

La figura 31, muestra los resultados de pH, donde fueron consideradas 3 diferentes dosis de etileno comercial (0.6, 1.1 y 1.6 ml/L de agua), aplicadas a plátano *cv* Cuerno Enano, en donde se pudo determinar que en los tratamientos se alcanzó un mayor pH al no aplicar etileno comercial dando un resultado de (T0 = 6.69) a las 144 horas, mientras que el menor pH se presentó en los tratamientos que se aplicó etileno comercial obteniendo un pH de (T1 = 5.48, T2 = 5.64 y T3 = 5.53) a las 144 horas.

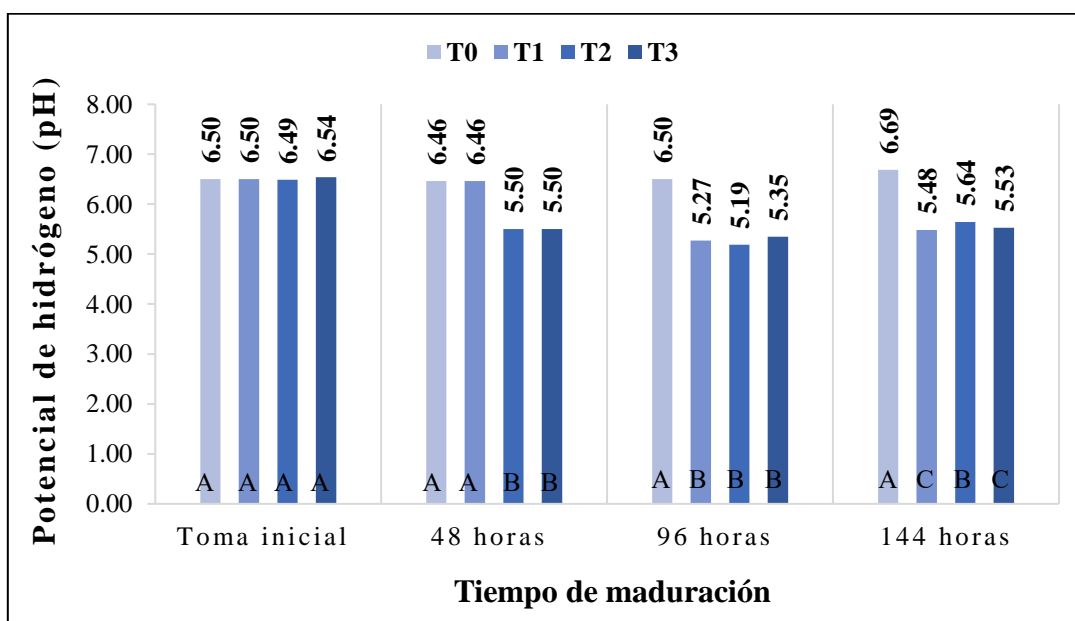


Figura 31. Efectos de los tratamientos en el pH de plátano *cv* Cuerno Enano tratado con etileno comercial. Medias con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas según análisis de comparación múltiple de medias (Prueba de Tukey).

VIII. Análisis de resultados

8.1. Tiempo de maduración.

Según los resultados obtenidos en el parámetro de color de la cáscara y pulpa de plátano (Figura 23 y 28), se pudo apreciar el tiempo que tardaron los cuatro tratamientos en hacer el viraje de color de verde a amarillo brillante, índice característico de madurez de consumo, en donde los tratamientos T1 y T2 acortaron el tiempo a 4 y 6 días, siendo el T1 el que presentó mejores características de calidad, a diferencia del T0 que requirió de 8 a 10 días para su maduración natural. Esto concuerda con lo reportado por Woldu *et al.* (2015), sustancias maduradoras como Ethrel pueden llegar a madurar plátanos entre 3 a 6 días. Así mismo Merchán (2020) describe que los agentes de maduración artificial permiten la maduración (cambio de color de cáscara) más rápido que cuando se hace naturalmente.

8.2. Pérdida de peso.

Merchán (2020), en un estudio realizado sobre el efecto del Acetiluro de Calcio sobre la maduración de 2 cultivares de plátano, afirma que, elevadas temperaturas aumentan la respiración de la fruta y con ello la transpiración, generando una pérdida de agua considerable, que conlleva a una pérdida del peso de la fruta. Así mismo afirma que el proceso de maduración del plátano como fruto climatérico tiene grandes cambios fisicoquímicos, ya que su respiración se acelera después de ser cosechada aumentando así la producción de etileno y al no tener ninguna barrera, el agua interna del fruto se traslada al ambiente y empieza a perder peso. Esto concuerda con los resultados obtenidos en la pérdida de peso en este ensayo, ya que al inducir los plátanos mediante la aplicación de etileno los frutos aceleraron su maduración y por ende la respiración y producción de etileno, generando una pérdida de agua que conlleva a la pérdida de peso con diferencias de **30.8 gr en el T2** y **37.2 gr en el T3** desde la toma inicial hasta las 144, en comparación al **T0** con una diferencia de **19.8 gr** desde la toma inicial hasta las 144 horas (Figura 20). Así mismo de acuerdo a lo citado por Merchán (2020), referente a la pérdida de peso debido a elevadas temperaturas se concuerda con los resultados obtenidos, ya que en la planta de procesamiento donde se estableció el ensayo las temperaturas alcanzan los 35°C lo cual pudo haber influenciado la pérdida de peso.

8.3. Color de cáscara.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el color de cáscara para las coordenadas L^* , a^* y b^* (Figura 21, 22 y 24), se puede constatar que el viraje de color se hizo evidente más rápido en los plátanos tratados con etileno comercial obteniendo un color completamente amarillo y más lento en los madurados naturalmente, no alcanzando a desarrollar el color amarillo característico de madurez de consumo, que indica un color de cáscara predominantemente verde con ligero amarillamiento. Este resultado concuerda con lo descrito por Merchán (2020), los agentes de maduración artificial permiten la maduración (cambio de color de cáscara) más rápido que cuando se hace naturalmente. Así mismo Mejía (2013), describe que el color en la cáscara cambia de verde a amarillo durante la etapa de maduración, estos cambios se deben a la disminución del contenido de clorofila. Los principales pigmentos del fruto de plátano son clorofila, xantofila y caroteno. El contenido de clorofila de la piel llega al máximo cuando el fruto alcanza la madurez fisiológica y disminuye marcadamente al iniciarse la maduración, con lo que el caroteno y la xantofila se hacen evidentes.

8.4. Color de pulpa.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el color de pulpa para las coordenadas L^* , a^* y b^* (Figura 25, 26 y 27), se pudo evidenciar que el viraje de color se hizo evidente más rápido en los plátanos tratados con etileno comercial obteniendo un color blanco a crema o amarillo pálido y más lento en el T0 madurado naturalmente, no alcanzando a desarrollar el color crema o amarillo pálido característico de madurez de consumo. Según Quevedo (2017), en las frutas como el plátano y banano el color de la cáscara cambia de verde oscuro a amarillo al avanzar la maduración y el color de la pulpa cambia de blanco a cremoso o amarillo pálido durante la última etapa de maduración.

8.5. Sólidos solubles totales (°Brix).

Se pudo apreciar la tendencia que presentaron los tratamientos madurados con etileno comercial a aumentar en el contenido de sólidos solubles totales con resultados de (**T1= 8.82**, **T2 = 11.92** y **T3 = 12.16**) a las 96 horas y manteniéndose similar a las 144 horas, a diferencia del T0 con resultado de (**T0 = 2.12**) a las 144 horas que tuvo una maduración natural sin aplicación de etileno (Figura 29). Este fenómeno se puede relacionar con lo descrito por Solís (2015), quien en una investigación realizada determinó que el descenso en los niveles de almidón en la fruta se debe al proceso de degradación, lo cual permite la acumulación de fructosa, sacarosa y glucosa, principales

azúcares que componen los sólidos solubles totales, esenciales para determinar los criterios de maduración de la fruta. Este proceso ocurre debido a una mayor producción de etileno en la fruta, quien da comienzo al aumento del índice de respiración y que puede ser influenciado por la inducción exógena de etileno y las condiciones climáticas.

Quitiguiña y Santacruz (2012), en una investigación para la revista boliviana de química de la Universidad Mayor de San Andrés Bolivia demuestran que los plátanos y bananos son cosechados en estado de madures fisiológicas o sea son cosechados aun verdes y durante la maduración disminuye el porcentaje de almidón así llegando a aumentar el contenido de azúcares como la fructosa, sacarosa y glucosa en la pulpa.

8.6. Acidez titulable

Según los resultados obtenidos de acidez titulable, en general se puede apreciar la tendencia que tuvieron los tratamientos madurados con etileno comercial al aumento de la acidez a partir de las 48 horas con promedios de (**T1 = 0.23, T2 y T3 = 0.24**) a las 96 horas y una acidez de (**T1 y T2 = 0.26**) a las 144 horas, y presentando una disminución en la acidez el **T3** con un promedio de (**0.20**) a las 144 horas, a diferencia del T0 expuesto a una maduración natural sin aplicación de etileno con resultado de (**T0 = 0.09**) a las 144 horas (Figura 30). Esto concuerda según lo reportado por Giraldo (2014), la mayoría de los frutos en el proceso de maduración, los ácidos orgánicos son respirados o convertidos en azúcares; el plátano al contrario incrementa los niveles de ácidos orgánicos durante la maduración. Wills, citado por Giraldo (2014), afirma también que el incremento de este ácido ocurre aceleradamente en el cambio de verde claro a amarillo intenso, proceso que está altamente relacionado con el sabor que toma el fruto durante la maduración por la concentración de acidez, los azúcares totales y reductores de la pulpa.

8.7. Potencial de hidrogeno (pH).

Los resultados obtenidos en el pH (Figura 31) evidencian que el T0 madurado naturalmente sin aplicación de etileno comercial no disminuyó de manera notable sus niveles de pH, obteniendo un promedio de (**T0 = 6.5 y 6.69**) desde la toma inicial hasta las 144 horas, a diferencia de los obtenidos por los tratamientos que se les aplicó etileno comercial que presentaron disminución (**T1 = 5.48, T2 = 5.64 y T3 = 5.53**) a las 144 horas, esto quiere decir que los tratamientos expuestos a este madurante artificial obtuvieron un mayor grado de maduración que los madurados naturalmente. Esto concuerda con lo descrito por Meza (2021), el pH ideal en el plátano es 6.5 y

generalmente cuando las frutas se cosechan en el grado de madurez verde maduro, el pH de la pulpa es alto, pero al progresar la maduración, el pH cae debido a la mayor participación del ácido málico. De este modo el pH de la fruta puede ser considerado como un índice de maduración en el plátano.

IX. Conclusiones

- ✓ Las diferentes dosis de etileno comercial tuvieron diferencias estadísticas significativas entre las medias de sus tratamientos, es decir, que se rechaza la hipótesis nula sinónimo de igualdad y se concluye que las diferentes dosis de etileno comercial afectan significativamente al índice de madurez durante la maduración acelerada de plátano con etileno, en los parámetros de color, °Brix, acidez titulable y pH.
- ✓ El uso de etileno comercial tiene un efecto como agente madurador ya que se determinaron cambios significativos sobre el parámetro físico color de cáscara y pulpa, y sobre los parámetros químicos °Brix, acidez titulable y pH evaluados en plátano cultivar *cuerno enano*, en el cual se destacaron los tratamientos T1, T2 y T3. Caso contrario ocurrió en el tratamiento T0 que corresponde a maduración natural.
- ✓ La aplicación de etileno comercial en la dosis de 0.6 ml/L, que corresponde al T1 en plátano cultivar *cuerno enano* cosechados en estado de madurez fisiológica, permite obtener frutos madurados con características físico-químicas de muy buena calidad, en un tiempo de 96 horas.
- ✓ El tiempo de maduración se apreció claramente la predominancia en los tratamientos expuestos a etileno comercial uniformizando el color y reduciendo el tiempo a 48 y 96 horas en los tratamientos T1 y T2, presentando mejores características de calidad el T1, sobre un rango de 192 a 240 horas que requirió el T0 con maduración natural.

X. Recomendaciones

- ✓ A partir de los datos obtenidos en los diferentes parámetros físico químicos se recomienda el uso de etileno comercial en dosis de 0.6 ml/L de agua por un tiempo de exposición de 96 horas.
- ✓ Se recomienda que para futuros experimentos se realicen mediciones de firmeza, textura, CO₂ y temperatura de almacenamiento para tener un mejor conocimiento del proceso de maduración acelerada con etileno comercial.
- ✓ Es importante mantener la calidad de los plátanos desde el momento de ser cosechados, y tener el cuidado de no dañar físicamente a los frutos durante el proceso de maduración.
- ✓ El montaje del ensayo y pruebas de los parámetros de la investigación fueron realizadas en el mes de agosto del 2023, en el municipio de San Luis Talpa, La Paz. Es conveniente realizar las mismas pruebas en época seca entre noviembre y abril para analizar el desarrollo de la maduración con condiciones diferentes a las descritas en esta investigación.

XI. Bibliografía.

- Blasco López, G; Gómez Montaña, FG. 2014. Propiedades funcionales del plátano (*Musa sp*) (en línea). Revista Médica Universidad de Veracruz nov. 2014. Consultado 22 abr. 2023. Disponible en <https://www.medigraphic.com/pdfs/veracruzana/muv-2014/muv142d.pdf>
- CENTA 2018. GUIA TECNICA DEL CULTIVO DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca* L.) (en línea). 29 p. La Libertad, El Salvador. Consultado 23 may. 2023. Disponible en <https://www.centa.gob.sv/download/guia-tecnica-cultivo-de-platano/>
- Coro Haro, ME. 2017. EVALUACIÓN DEL ETILENO COMO AGENTE MADURADOR EN BABACO (*Vasconcellea x heilbornii* var. pentagona) (en línea). Tesis. Ing. Agr. Quito, Ecuador. UCE. 87 p. Consultado 15 jul. 2023. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/10016>
- Chacón, SI; Viquez, F; Chacón, G. 1988. Maduración Artificial de Banano; Comportamiento de la Fruta Frente a Dos Agentes de Maduración: Carburo de Calcio y Etileno en Solución (en línea). CATIE 38(4):261-267. Consultado 15 jul. 2023. Disponible en <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/10878> Trimestre Octubre-Diciembre 1988.
- Chacha Curillo, CE. 2016. UTILIZACIÓN DE TRES TIPOS DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN LA CONSERVACIÓN POSTCOSECHA DE Carica papaya L. (PAPAYA) (en línea). Tesis. Ing. Industrias. Pecuarias. Riobamba, Ecuador. [ESPOCH](https://repositorio.espoch.edu.ec/handle/123456789/6077). 168 p. Consultado 20 abr. 2023. Disponible en <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6077>
- Falla Dejo, FT; Ramón Lluén, MY. 2018. Obtención y evaluación sensorial de galletas a diferentes concentraciones de harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) (en línea). Tesis. Ing. Ind. Alim. Lambayeque, Perú. UNPRG. 132 p. Consultado 18 abr. 2023. Disponible en <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/3970>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2007. MANUAL DE MANEJO POSTCOSECHA DE FRUTAS TROPICALES (Papaya, piña, plátano, cítricos) (en línea). Roma, Italia. 85 p. Consultado 16 abr. 2023. Disponible en <https://www.fao.org/3/ac304s/ac304s.pdf>
- Giraldo, GA; Quiceno, MC; Villamizar, RH. 2014. Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca* sp. AAB, Simmonds) para la industrialización (en línea). UGCiencia

20(1):48-54. Consultado 15 abr. 2024. Disponible en <https://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/313>

Google Maps. c2023. Mapa de ubicación de la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador (en línea, sitio web). color. s. esc. Consultado 17 set. 2023. Disponible en <https://earth.google.com/web/search/Estaci%C3%B3n+Experimental,+Universidad+de+El+Salvador,+San+Luis+Talpa/@13.47588125,-89.09591185,54.38814184a,1024.06248719d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCbhSzKRfCxAEYbDTiInjCxA GX9BAOzdR1bAIfG14NvST1bAOgMKATA>

Macias Figueroa, JL. 2017. Producción, comercialización y rentabilidad del plátano (Musa Paradisiaca) y su incidencia en la economía de pequeños productores del recinto Corotú Central, parroquia Guayas, cantón el Empalme, 2016 (en línea). Tesis. Econ. Agr. Los Ríos, Ecuador. UTEQ. 162 p. Consultado 18 abr. 2023. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3339>

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería); CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). 2018. Maduración artificial de frutas (en línea). Boletín 2018. La Libertad, El Salvador. Consultado 21 abr. 2023. Disponible en <https://www.centa.gob.sv/download/boletin-maduracion-artificial-de-frutas/>

Marrero Domínguez, A. 2017. La maduración artificial de frutos tropicales y subtropicales: plátano, mango y aguacate (en línea). Artículo técnico, UCDAVIS. 16 p. Consultado 21 abr. 2023. Disponible en [https://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/antonio_marrero_dom_niguez_nov_17#:~:text=La%20maduraci%C3%B3n%20artificial%20\(MA\)%20%2D%20consideraciones%20generales%20La%20manipulaci%C3%B3n%20poscosecha, envejecimiento%20celular%20\(muchos%20de%20ellos](https://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/antonio_marrero_dom_niguez_nov_17#:~:text=La%20maduraci%C3%B3n%20artificial%20(MA)%20%2D%20consideraciones%20generales%20La%20manipulaci%C3%B3n%20poscosecha, envejecimiento%20celular%20(muchos%20de%20ellos)

Martínez Argueta, AA; Zelada Guevara, CA; Herrera Martínez, ME. 2005. CREACIÓN DE UN MODELO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS (SIG) PARA UNA FINCA, CASO CAMPO EXPERIMENTAL Y DE PRÁCTICAS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS (en línea). Tesis. Ing. Agr. San Salvador, El Salvador. UES. 116 p. Consultado 20 abr. 2023. Disponible en <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/9002/>

- Mejía Calderón, G. 2018. GUIA TECNICA DEL CULTIVO DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca* L.) (en línea). CENTA. 29 p. La Libertad, El Salvador. Consultado 20 abr. 2023. Disponible en <https://www.centa.gob.sv/download/guia-tecnica-cultivo-de-platano/>
- Mejía Gutierrez, LF. 2013. EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO FISICO y QUIMICO POSCOSECHA DEL PLATANO DOMINICO HARTON (MUSA AAB SIMMONDS) CULTIVADO EN EL MUNICIPIO DE BELALCAZAR (CALDAS) (en línea). Tesis. MSc. Bogota, Colombia. UNAL. 78 p. Consultado 26 mar. 2023. Disponible en <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11897>
- Merchán Sánchez, BR. 2020. EFECTO DEL ACETILURO DE CALCIO SOBRE LA MADURACIÓN DE FRUTA EN DOS CULTIVARES DE PLÁTANO (*Musa paradisiaca* L.) (en línea). Tesis. Ing. Agr. Los Ríos, Ecuador. UTEQ. 111 p. Consultado 26 mar. 2023. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/5361>
- Meza Navarrete, L. 2021. “EFECTO DEL ACETILURO DE CALCIO ($CaCl_2$) SOBRE LA MADURACIÓN DE FRUTA EN DOS CULTIVARES DE BANANO (*Musa Acuminata*)” (en línea). Tesis. Ing. Alimentos. Los Ríos, Ecuador. UTEQ. 111 p. Consultado 15 abr. 2024. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6140?mode=full>
- Ojeda, M; Mogollón, N; Pérez de Camacaro, M; Maciel, N. 2007. Efecto del Etefón (ETILENO) sobre la promoción floral de *Billbergia pyramidalis* (Sims) Lindley (en línea). Rev. Bioagro 19(1):1316-3361. Consultado 3 jun. 2024. Disponible en [https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612007000100002#:~:text=El%20Ethrel%20\(i.a.%20etef%C3%B3n\)%20es,et%20al.%2C%201986\).](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612007000100002#:~:text=El%20Ethrel%20(i.a.%20etef%C3%B3n)%20es,et%20al.%2C%201986).)
- Oliag, PT. 2007. Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB (en línea). UPV. 7 p. Consultado 22 abr. 2023. Disponible en [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/83392/Talens%20-%20Evaluaci%C3%B3n%20del%20color%20y%20tolerancia%20de%20color%20en%20alimentos%20a%20trav%C3%A9s%20del%20espacio%20CIELAB.pdf?sequence=1#:~:text=El%20espacio%20de%20color%20CIELAB%20\(figura%201\)%2C%20es%20un,hasta%20100%20para%20un%20blanco](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/83392/Talens%20-%20Evaluaci%C3%B3n%20del%20color%20y%20tolerancia%20de%20color%20en%20alimentos%20a%20trav%C3%A9s%20del%20espacio%20CIELAB.pdf?sequence=1#:~:text=El%20espacio%20de%20color%20CIELAB%20(figura%201)%2C%20es%20un,hasta%20100%20para%20un%20blanco)

- Ordóñez Moreno, AG. 2005. Diseño de un proceso para la maduración acelerada de banano utilizando etefón como agente madurador (en línea). Tesis. Ing. Alimentos. Guayaquil, Ecuador. ESPOL. 110 p. Consultado 15 jul. 2023. Disponible en <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/4252>
- Quevedo, LC. 2017. MADURACIÓN CONTROLADA Y COLOR EN BANANOS (en línea). Tesis. Ing. AI. Tarapoto, Perú. UNSM. 81 p. Consultado 5 jun. 2024. Disponible en <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-de-san-pedro-sula/fisiologia-vegetal/maduracion-controlada-y-color-en-bananos/23436334>
- Quiceno, MQ; Giraldo, GA; Villamizar, RH. 2014. Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca* sp. AAB, Simmonds) para la industrialización (en línea). UGCiencia 20(1):48-54. Consultado 20 abr. 2023. Disponible en <http://contexto.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/313/578>
- Quitiguiña, C; Santacruz, S. 2012. OBTENCIÓN DE JARABE DE GLUCOSA A PARTIR DE LA HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE ALMIDÓN DE BANANO, MUSA CAVENDISH (en línea). Revista Boliviana de Química 29(1):55-62. Consultado 17 mar. 2024. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/4263/426339677005.pdf>
- Solís Mateos, G. 2015. Evolución de los parámetros de calidad en frutos de pepino dulce (*Solanum muricatum* Ait.) durante las fases de crecimiento, maduración y post-cosecha (en línea). Tesis. Dr. Producción Vegetal y Ecosistemas Agroforestales. Consultado 17 mar. 2024. Disponible en <https://riunet.upv.es/handle/10251/61479>
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos); IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2016. Oportunidades y desafíos comerciales para la cadena productiva del plátano en El Salvador, en el marco del acuerdo comercial con los Estados Unidos (en línea). Consultado 26 mar. 2023. Disponible en <http://repiica.iica.int/docs/B4149e/B4149e.pdf>
- Woldu Z, Mohammed A, Belew D, Welde T. 2015. Effect of traditional kerosene smoking and ethrel on ripening, shelf life and quality of Cavendish banana (*Musa* sp.) (en línea). African Journal of Agricultural Research. 10(50):4570-4583. Consultado 26 mar. 2024. Disponible en

https://www.researchgate.net/publication/288859548_Effect_of_traditional_kerosene_smoking_and_ethrel_on_ripening_shelf_life_and_quality_of_Cavendish_banana_Musa_sp

XII. Anexos

Cuadro A1. Ficha de recolección de datos.

Dosis/Etileno		Repetición	Parámetro físico-químico evaluado			
			Toma inicial	48 horas	96 horas	144 horas
T0 (Testigo)	T0	1				
	T0	2				
	T0	3				
	T0	4				
	T0	5				
T1 (0.6 ml)	T1	1				
	T1	2				
	T1	3				
	T1	4				
	T1	5				
T2 (1.1 ml)	T2	1				
	T2	2				
	T2	3				
	T2	4				
	T2	5				
T3 (1.6 ml)	T3	1				
	T3	2				
	T3	3				
	T3	4				
	T3	5				

Fuente: Elaboración propia.



Figura A1. Sistema de encintado en cultivo de plátano.



Figura A2. Navaja desmanadora de plátano.