

**EVALUACIÓN DEL TIEMPO POSTCOSECHA SOBRE LA ACTIVIDAD  
LIPÁSICA DEL MESOCARPIO DEL FRUTO DE LA PALMA DE ACEITE Y LA  
CALIDAD DEL ACEITE**

HUGO ALFONSO RUEDA RUEDA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE QUÍMICA

BUCARAMANGA

2011

**EVALUACIÓN DEL TIEMPO POSTCOSECHA SOBRE LA ACTIVIDAD  
LIPÁSICA DEL MESOCARPIO DEL FRUTO DE LA PALMA DE ACEITE Y LA  
CALIDAD DEL ACEITE**

HUGO ALFONSO RUEDA RUEDA

Proyecto de grado para optar el título de Químico

Director: HERMINSUL DE JESÚS CANO CALLE Ph.D

Codirector: TATIANA CADENA CALA Qco.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE QUÍMICA

BUCARAMANGA

2011

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS, quien me dio la fé, la fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este trabajo.

A mis padres, porque creyeron en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ellos, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ellos, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

A mi hermano, tíos, primos, abuelos y amigos. Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida. Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles.

A mí querida “profe” Aidé Perea, director y coordinadores: Herminsul Cano, Tatiana Cadena y Fausto Prada, quienes gracias a sus consejos y enseñanzas me guiaron durante la realización de este proyecto.

A mis compañeros de CICTA que me apoyaron y acompañaron, y no me dejaron sucumbir durante la elaboración de este documento.

A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO REFERENCIAL	18
1.1. LAS LIPASAS	21
1.2. EXTRACCIÓN Y REFINACIÓN DEL ACEITE DE PALMA	22
1.2.1. Recolección y transporte.	23
1.2.2. Recepción, pesado y llenado de tolvas.	24
1.2.3. Esterilización.	24
1.2.4. Desfrutado.	25
1.2.5. Digestión.	25
1.2.6. Prensado.	26
1.2.7. Clarificación, secado y almacenamiento.	26
1.2.8. Refinación.	27
1.3. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL ACEITE DE PALMA	27
1.3.1. Calidad comercial del aceite.	29

2. ESTADO DEL ARTE	32
3. METODOLOGÍA	36
3.1 MATERIALES	36
3.1.1. Reactivos.	36
3.1.2. Equipos.	36
3.1.3. Material vegetal.	36
3.2. DISEÑO METODOLÓGICO	37
3.2.1. Muestreo y tratamiento del material vegetal	39
3.3. EXTRACCIÓN DEL ACEITE CRUDO DE PALMA	40
3.4. MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD LIPASICA IN SITU	41
3.5. ANÁLISIS FÍSICO Y DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LÍPIDOS TOTALES.	42
3.6. MEDICIÓN DE LOS PARAMETROS DE CALIDAD.	42

3.6.1. Ácidos grasos libres.	42
3.6.2. Determinación del perfil de ácidos grasos.	42
3.6.3. índice de yodo.	43
3.6.4. Deterioro del índice de capacidad de blanqueo (DOBI)	43
4. RESULTADOS	45
4.1. EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL TIEMPO POSTCOSECHA SOBRE EL GENOTIPO <i>E. guineensis</i> (tenera).	45
4.1.1. Evaluación del efecto del tiempo postcosecha sobre la formación de AGL.	45
4.1.2. Evaluación del tiempo postcosecha sobre el contenido y composición del aceite.	47
4.1.3. Evaluación del tiempo postcosecha sobre el DOBI.	50
4.2. ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE REPETICIONES DE <i>E. guineensis</i> (tenera).	51
4.2.1. Efecto del manejo del fruto de palma sobre la actividad lipásica y formación de ácidos grasos libres.	51
4.3. EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL TIEMPO POSTCOSECHA SOBRE EL GENOTIPO HÍBRIDO (OxG).	61
4.3.1. Evaluación del efecto del tiempo postcosecha sobre la formación de AGL.	61
4.3.2. Evaluación del tiempo postcosecha sobre el contenido y composición del aceite.	62

4.3.3. Evaluación del tiempo postcosecha sobre el DOBI.	65
4.4. COMPARACIÓN ENTRE REPETICIONES PARA EL HÍBRIDO (OxG).	66
4.4.1. Efecto del manejo del fruto de palma sobre la actividad lipásica y formación de ácidos grasos libres.	66
4.5. COMPARACIÓN DEL EFECTO POSTCOSECHA SOBRE LOS DOS GENOTIPOS DE PALMA DE ACEITE.	75
4.6. EFECTO DEL TRATAMIENTO POSTCOSECHA DEL FRUTO DE PALMA DE ACEITE SOBRE LA FORMACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES.	76
5. CONCLUSIONES	78
6. RECOMENDACIONES	80
7. BIBLIOGRAFÍA	81

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición del aceite crudo de palma variedad tenera y del híbrido (OxG).	21
Tabla 2. Parámetros de calidad del aceite de palma crudo por la ICONTEC	30
Tabla 3. Evolución de la formación de ácidos grasos libres, actividad lipásica, concentración de aceite, contenido de humedad y DOBI en la postcosecha de frutos de palma de aceite para el genotipo <i>E. Guineensis</i> (tenera).	46
Tabla 4. Evolución del perfil de ácidos grasos para el genotipo <i>E. guineensis</i> (tenera) y el índice de yodo con el tiempo postcosecha.	49
Tabla 5. Evolución de la formación de ácidos grasos libres, actividad lipásica y concentración de aceite en la postcosecha de frutos de palma de aceite para el genotipo <i>E. Guineensis</i> (tenera).	53
Tabla 6. Evolución de la formación de ácidos grasos libres, actividad lipásica, concentración de aceite, contenido de humedad y DOBI en la postcosecha de frutos de palma de aceite para el genotipo híbrido (OxG).	61
Tabla 7. Evolución del perfil de ácidos grasos para el genotipo híbrido (OxG) y el índice de yodo con el tiempo postcosecha.	64
Tabla 8. Evolución de la formación de ácidos grasos libres, actividad lipásica y concentración de aceite en la postcosecha de frutos de palma de aceite para el genotipo híbrido (OxG).	68

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fruto de la palma de aceite.	18
Figura 2. Cruzamiento de la variedad dura y pisifera para obtener el híbrido tenera.	20
Figura 3. Proceso de extracción y refinación del aceite de palma.	23
Figura 4. Diseño metodológico.	38
Figura 5. Esterilización de los frutos.	40
Figura 6. Prensado de los frutos para la obtención del aceite.	41
Figura 7. Variación de la formación de AGL, actividad lipásica y % de humedad durante la postcosecha en frutos de <i>E. guineensis</i> (tenera).	47
Figura 8. Concentración de aceite en frutos frescos de <i>E. guineensis</i> (tenera).	48
Figura 9. Porcentaje de ácidos grasos saturados e insaturados para el genotipo <i>E. guineensis</i> (tenera).	49
Figura 10. Evolución del DOBI para el genotipo <i>E. guineensis</i> (tenera) durante el tiempo postcosecha.	50
Figura 11. Obtención de las repeticiones y condiciones en campo para <i>E. guineensis</i> (tenera).	52
Figura 12. Variación del contenido de humedad con el tiempo postcosecha para <i>E. guineensis</i> (tenera).	54
Figura 13. Evolución de la actividad lipásica in situ durante el tiempo postcosecha para <i>E. guineensis</i> (tenera).	55
Figura 14. Evolución de la formación de los AGL durante el tiempo postcosecha para <i>E. guineensis</i> (tenera).	56

Figura 15. Relación entre el porcentaje de humedad y la actividad lipásica in situ para <i>E. guineensis</i> (tenera).	57
Figura 16. Relación entre la pérdida de humedad y la formación de AGL para <i>E. guineensis</i> (tenera).	57
Figura 17. Relación entre la actividad y el porcentaje de AGL para cada repetición de <i>E. guineensis</i> (tenera).	58
Figura 18. Pudrición de los frutos de <i>E. guineensis</i> (tenera) pasados 18 días	59
Figura 19. Mecanismo catalítico actualmente aceptado.	60
Figura 20. Variación de la formación de AGL, actividad lipásica y % de humedad durante la postcosecha en frutos de OxG	62
Figura 21. Concentración de aceite en frutos del híbrido (OxG)	63
Tabla 22. Porcentaje de ácidos grasos saturados e insaturados para el genotipo híbrido (OxG)	65
Figura 23. Valor del DOBI para el genotipo Híbrido (OxG) durante los días postcosecha	65
Figura 24. Obtención de las repeticiones y condiciones en campo para el híbrido (OxG)	67
Figura 25. Comparación del porcentaje de humedad en cada una de las repeticiones del híbrido (OxG) durante el tiempo postcosecha	69
Figura 26. Comparación de la actividad in vivo en cada una de las repeticiones para el híbrido (OxG) durante el tiempo postcosecha	70
Figura 27. Comparación de la formación de AGL en cada una de las repeticiones para el híbrido (OxG) durante el tiempo postcosecha	71
Figura 28. Relación entre la actividad lipásica in situ y el porcentaje de humedad contenido los frutos del híbrido (OXG)	72
Figura 29. Relación entre la pérdida de agua y la producción de AGL en el genotipo híbrido (OxG)	73
Figura 30. Relación entre la actividad lipásica in situ y el porcentaje de AGL para el genotipo (OxG)	74
Figura 31. Frutos de híbrido (OxG) en pudrición pasado 25 días.	74

Figura 32. Formación de AGL en frutos de *E.guineensis* e Híbrido sometidos a diferentes tratamientos de daño del tejido. Los resultados se presentan como la media desviación estándar para n=3 77

## RESUMEN

### TÍTULO

**EVALUACIÓN DEL TIEMPO POSTCOSECHA SOBRE LA ACTIVIDAD LIPÁSICA DEL MESOCARPIO DEL FRUTO DE LA PALMA DE ACEITE Y LA CALIDAD DEL ACEITE\***

### AUTOR

HUGO ALFONSO RUEDA RUEDA\*\*

### PALABRAS CLAVES

LIPASA, ACTIVIDAD LIPÁSICA, ACEITE DE PALMA, ÁCIDOS GRASOS LIBRES, POSTCOSECHA.

### DESCRIPCIÓN

Uno de los principales problemas que afrontan los cultivadores de palma de aceite, es la formación de ácidos grasos libres (AGL) en los frutos, lo cual afecta la calidad del aceite producido. Después de la cosecha de los frutos, pueden transcurrir varios días antes de que estos sean procesados en las plantas extractoras, permitiendo que la acción hidrolítica de lipásas endógenas y exógenas, puedan incrementar la formación de AGL en los frutos. En este trabajo, se cosecharon frutos maduros de *Elaeis guineensis* Jacq. (EG) y del híbrido OxG (*Elaeis oleifera* Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq.) y se dejaron a la intemperie (sol y agua) durante varios días, con el objetivo de estudiar la variación del contenido de AGL y la actividad lipásica en el tiempo.

Se encontró que durante los 8 primeros días después de la cosecha, el contenido de AGL en el aceite fue menor al 2% para ambos genotipos; sin embargo, para EG se incrementó drásticamente después del día 14, hasta alcanzar 18.4% en el día 21, mientras que el OxG tuvo un valor final de tan solo 5.8%.

Estos datos confirman la calidad superior del aceite obtenido a partir de genotipos OxG. En cuanto a la actividad lipásica, se observó que disminuyó por completo a los 15 y 25 días después de la cosecha para EG y OxG, respectivamente. El tiempo de inactivación de la enzima coincide con el inicio del deterioro del fruto, con lo cual se concluyó que el incremento en la formación de AGL después del día 15, pudo ocasionarse por la acción microbiana y no por la lipasa endógena del fruto.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Director: Herminsul de Jesús Cano Calle.  
Codirector: Tatiana Cadena Cala.

## SUMMARY

### TITLE

EVALUATION OF POST-HARVEST TIME ON THE LIPASE ACTIVITY OF MESOCARP OF PALM FRUIT OIL AND OIL QUALITY \*

### AUTHOR

HUGO ALFONSO RUEDA RUEDA\*\*

### KEY WORDS

LIPASE, LIPASE ACTIVITY, PALM OIL, FREE FATTY ACIDS, POST-HARVEST.

### DESCRIPTION

One of the main problems faced by oil palm growers, is the formation of free fatty acids (FFA) in the fruit, which affects the quality of oil produced. After fruit harvest, it can take several days before they are processed in the oil palm mill. This time allows the hydrolytic action of endogenous and exogenous lipases that can enhance the formation of FFA in the fruits. In this paper, harvested ripe fruits of *Elaeis guineensis Jacq.* (EG) and the hybrid OxG (*Elaeis oleifera x Elaeis guineensis Jacq.*) were exposed to different conditions (sun and water) for several days, in order to study the variation in FFA content and lipase activity during this time.

It was found that during the first 8 days after harvest, the content of FFA in the oil was less than 2% for both genotypes, but for EG increased dramatically after day 14, reaching 18.4% at day 21, while the OxG showed a final value of only 5.8%.

These data confirm the superior quality of oil obtained from OxG genotypes. Lipase activity decreased completely at 15 and 25 days after harvest OxG and EG, respectively. The time of inactivation of the enzyme coincides with the onset deterioration of the fruit. These results concluded that the increase in the formation of FFA after 15 days could be caused by microbial action, but not by the endogenous lipase of the fruit.

---

\* work Degree

\*\* Faculty of Sciences. School of Chemistry. Directress: Hermisul de Jesús Cano Calle.  
Codirectress: Tatiana Cadena Cala.

## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años el aceite de palma ha sido uno de los productos de mayor crecimiento en la industria colombiana, debido a los estímulos que el gobierno ha brindado para su producción, comercialización y consumo, lo cual se encuentra fuertemente ligado a la promoción del desarrollo rural como mecanismo para combatir la pobreza.

El aceite de palma se extrae del mesocarpio del fruto de la palma africana *Elaeis guineensis Jacq.*, a través de procedimientos mecánicos. Es una materia prima de gran interés para las industrias de grasas y aceites como: combustibles, detergentes, cosméticos, plásticos, farmacéuticos entre otros, ya que cumple con las especificaciones técnicas requeridas para la elaboración de una gran diversidad de productos en estos sectores.

Las industrias que transforman esta materia prima en productos de mayor valor agregado buscan en el aceite cualidades tales como, bajo contenido de ácidos grasos libres (AGL), bajo contenido de humedad e impurezas y buena blanqueabilidad, dado que un aceite con dichas características permite obtener productos inoloros e incoloros bajo condiciones moderadas de operación.

En Colombia, el porcentaje de ácidos grasos libres (%AGL) es el principal parámetro de calidad con el cual se comercializa el aceite. Los requerimientos son entre 2,5 - 3% AGL para el aceite crudo y 0,5% AGL para refinado, debido a que uno de los problemas que afrontan los cultivadores de palma africana es la formación de estos, debido al efecto de enzimas lipasas que actúan en el mesocarpio de los frutos afectando la calidad del aceite.

Por otra parte, como cualquier otro tipo de grasa o aceite, el aceite de palma se ve afectado por factores externos que comprometen su calidad. Por tanto, la calidad está ligada directamente a ciertos cuidados que hay que tener en todas las etapas de la cadena productiva, es decir, de su tiempo postcosecha, debido

a que cualquier tipo de maltrato puede activar de manera drástica la enzima lipasa.

Como consecuencia de todo esto, la industria palmera ha invertido tiempo y dinero en investigaciones para mejorar la calidad del aceite como el mejoramiento genético que ha dado origen a híbridos de la palma como el híbrido *tenera (dura x pisifera)* y el híbrido *Elaeis oleifera cortes x Elaeis guineensis jacq.* (OxG) los cuales son el objetivo de este proyecto. Los estudios sobre este último genotipo no ha sido muy extensos por lo que cualquier trabajo que sobre esta área se hiciese tendría un valor cognitivo muy alto y provechoso a nivel industrial.

En el presente proyecto, se evaluó la evolución de los parámetros convencionales de calidad, tales como: ácidos grasos libres, perfil de ácidos grasos, índice de yodo y el deterioro del índice de capacidad de blanqueo (DOBI), durante el tiempo postcosecha. Para la evaluación de éstos, se emplearon muestras de dos especies comerciales de palma de aceite *E. guineensis* variedad ténera y el híbrido (OxG). Adicionalmente se estableció su correlación con la actividad lipásica presente en los frutos de las mismas, y cómo esto tiene una repercusión económica importante en la industria palmera. El proyecto hace parte del macro proyecto titulado “Selección de genotipos de palma de aceite con baja actividad de lipasa orientado a generar materiales con mejor calidad de aceite” financiado por Colciencias y el Centro de Investigación en Palma y Aceite (CENIPALMA), llevado a cabo en el campo experimental la Vizcaína en Barrancabermeja en convenio con el Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICTA) perteneciente a la Universidad Industrial de Santander en Bucaramanga. Resultados parciales, se presentaron en el XIV congreso Latinoamericano de grasas y aceites de la AOCS 2011 llevado a cabo en la ciudad de Cartagena-Colombia en modalidad poster.

## 1. MARCO REFERENCIAL

La palma de aceite es una monocotiledónea del orden Palmales, familia *Palmaceae*, género *Elaeis* y especie *E. guineensis*. Es la oleaginosa más productiva del planeta, en promedio una hectárea sembrada produce entre 6 y 10 veces más aceite que las otras oleaginosas.

Desde su génesis en el golfo de Guinea, en África occidental por lo que se le conoce como *Elaeis guineensis* Jacq, la palma africana de aceite ha convivido en integración con otras especies en suelos tropicales en los continentes asiático, africano y americano.

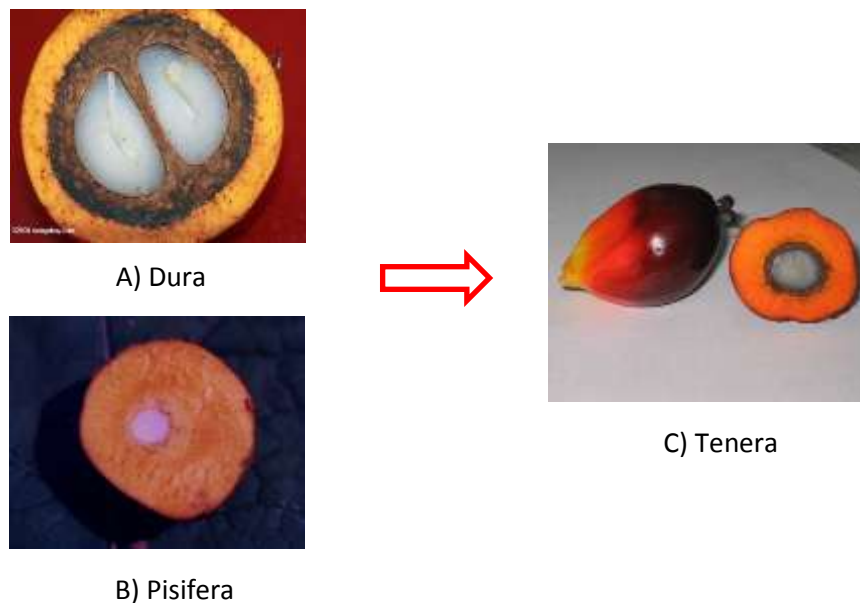
La vida productiva de la palma de aceite puede durar más de cincuenta años, pero desde los veinte o veinticinco su tallo alcanza una altura que dificulta las labores de cosecha y marca el comienzo de la renovación en las plantaciones comerciales. Sus frutos son de color violeta oscuro, casi negro. En su interior se encuentra la almendra o palmiste, que está rodeada por el endocarpio que es un tejido leñoso, rodeado a su vez, por una pulpa carnososa o mesocarpio. Ambas, almendra y pulpa, proveen aceite con generosidad; la primera, el de palmiste, y la segunda, el de palma propiamente dicho (**Figura 1**), (Fedepalma, 2006; 2009).



**Figura 1.** Fruto de la palma de aceite.

Además de la especie *Elaeis guineensis* de origen africano, se encuentra la especie *Elaeis oleifera* nativa de Colombia, Panamá y Costa Rica, comúnmente conocida como nolí o palma americana de aceite. De la especie *E. guineensis* existen seis tipos entre las que se encuentran la albescens, la dura, la pisifera, la nigrescens, la tenera y la Virescens. La variedad más cultivada en las plantaciones del mundo desde 1961, es el híbrido tenera, (dura x pisifera) del cual se obtiene el más alto rendimiento de aceite por hectárea de todos los cultivos de oleaginosas (4,5 t de aceite/ Ha, Evans et al., 2000).

El fruto de la variedad tipo dura tiene un endocarpio de más de 2 mm de espesor; su mesocarpio o pulpa contiene fibras dispersas y es generalmente delgado. La variedad pisifera no tiene endocarpio, la almendra es desnuda y el mesocarpio que no contiene fibras ocupa gran porción del fruto. Esta última variedad produce pocos frutos por racimo, razón por la cual se emplea sólo para mejorar la variedad dura mediante cruzamiento (**Figura 2**). Finalmente la variedad tenera que es el híbrido entre dura y pisifera tiene un endocarpio delgado de menos de 2 mm de espesor y en el mesocarpio se encuentra un anillo con fibras (Sambanthamurti y Ravigadevi., 2000); produce una cantidad de aceite apreciable por unidad de superficie, con un contenido del 50%. En una hectárea de palma sembrada pueden existir de 3000 a 5000 kg de aceite de pulpa y más de 600 a 1000 kg de aceite de palmiste.



**Figura 2.** Cruzamiento de la variedad A) dura y B) pisifera para obtener el híbrido C) tenera.

Además de las variedades mencionadas anteriormente, en Colombia se ha desarrollado la variedad conocida como híbrido (OxG), que resulta del cruce de *E. oleifera cortés* x *E. guineensis Jacq.*, material que se ha probado en diferentes plantaciones con excelentes resultados, debido a su alta tolerancia a enfermedades y plagas propias de América tropical, reduciendo la utilización de productos químicos y el costo de sanidad vegetal; lo que lo convierte en motivo de estudio para la industria palmera.

Por otro lado, el aceite de palma del híbrido (OxG) es de calidad superior al del aceite de palma africana, por presentar acidez menor del 2%, mayor contenido de oleína (fracción de ácidos grasos insaturados), carotenos y vitamina E. Sin embargo la producción de aceite en el híbrido (OxG) es menor, con la desventaja de requerir polinización asistida debido a que la inflorescencia masculina tiene una baja fertilidad, produciendo racimos mal formados (Bastidas et al., 2007). En la **Tabla 1** se muestra una comparación entre la composición del aceite de palma (tenera) y del híbrido (OxG).

**Tabla 1.** Composición del aceite crudo de palma variedad tenera y del híbrido (OxG).

Parámetro	Aceite de Palma	Aceite de Híbrido
A.G. saturados	50	34,1
A.G. Monoinsaturados	39,2	54,4
A.G. Poli-insaturados	10,8	11,5
Índice de Yodo	50-53	66-70
Carotenos (ppm)	500-700	1100-1400
%AGL Palmítico	2,0 - 2,5	1,0 - 1,5
Peróxidos (meq O <sub>2</sub> /Kg)	1,5 - 2	0,8 - 1,2

De Ramírez Omar (2004). Hacienda la Cabaña S.A.

### 1.1. LAS LIPASAS

Las lipasas (triacilglicerol éster hidrolasas), son enzimas que catalizan la hidrólisis de triglicéridos hasta AGL, monoglicéridos, diacilglicéridos y glicerol; además de otras reacciones que implican ésteres carboxílicos tales como esterificación, acidólisis, interesterificación y alcoholólisis (Balcao., 1996). Las lipasas presentan alta estabilidad térmica, característica importante para las reacciones que catalizan (Janssen et al. 1994).

Existe una gran variedad de métodos para la detección cuantitativa de la capacidad hidrolítica de las lipasas. Estos métodos comprenden dos amplios grupos, los métodos físico-químicos, que permiten detectar y cuantificar simultáneamente la actividad lipolítica; y los métodos inmunológicos, usados para medir la cantidad de lipasa presente, independiente de su actividad lipolítica.

En los métodos físico-químicos se registra la velocidad de desaparición del sustrato o aparición del producto durante la reacción enzimática. Mientras que los métodos inmunológicos son ensayos altamente específicos y de elevada sensibilidad, que requieren disponer de anticuerpos adecuados para la enzima a determinar. Son utilizados fundamentalmente para detectar la presencia de

una enzima en medios biológicos, independientemente de su capacidad lipolítica (García, 2005).

Por su parte el fruto de la palma de aceite contiene una lipasa endógena muy activa, que libera AGL de los triglicéridos (Desassis, 1957), sin embargo su función permanece incierta. Normalmente las lipasas no tienen una función de síntesis en la naturaleza, aunque industrialmente pueden operar sintéticamente en condiciones no acuosas (Lortie, 1997).

## **1.2. EXTRACCIÓN Y REFINACIÓN DEL ACEITE DE PAMA**

El proceso comienza con la etapa de recolección de frutos en cultivos, transporte a las plantas extractoras y recepción de los mismos. Como el fruto de la palma es tan perecedero después de cosechado, los cultivos deben localizarse cerca de una planta extractora. Cada cultivo o conjunto de cultivos, más las instalaciones donde se benefician sus frutos, constituyen un núcleo de producción palmera.

A continuación se explican cada uno de los pasos que conforman el proceso de extracción del aceite crudo de palma mostrado en la **Figura 3**.



**Figura 3.** Proceso de extracción y refinación del aceite de palma.

### 1.2.1. Recolección y transporte.

Los racimos son cosechados 21 semanas después de la antesis\*, para ello se seleccionan los racimos maduros, utilizando el criterio de máxima concentración de aceite (Ríos R., 1999) el cual está dado por tres características principales que deben cumplir los racimos de fruta fresca (RFF):

1. Fruto pardo rojizo en su cima y rojo anaranjado en su base; si se pincha el fruto con un cuchillo, el aceite brota y se observa un color naranja en la pulpa.
2. Fácil separación de al menos 2 frutos, con simple presión del dedo.

---

\*Periodo de florecencia o floración de las plantas con flores; estrictamente, es el tiempo de expansión de una flor hasta que está completamente desarrollada y en estado funcional, durante el cual ocurre el proceso de polinización.

3. Caída de por lo menos 2 a 5 frutos al suelo.

Una vez verificadas estas características los frutos son recogidos por los camiones y llevados a la plata extractora.

### **1.2.2. Recepción, pesado y llenado de tolvas**

El fruto se entrega normalmente en una rampa levantada. Camiones, volquetas o remolques depositan el fruto en tolvas inclinadas, con puertas hidráulicas que controlan la carga del fruto dentro de las jaulas de esterilización; estos frutos son previamente pesados y luego descargados para obtener por diferencia el peso neto de la fruta. El fruto puede ser almacenado por varias horas en la rampa, hasta que la fábrica esta lista para procesarlo, proveyendo de este modo una amortiguación entre el transporte del fruto, que generalmente es una actividad diurna, y la extracción del aceite que puede ser un proceso de 24 horas durante la estación de máxima producción (Corley, R. 2009).

### **1.2.3. Esterilización**

La esterilización es la primera etapa y posiblemente la más importante del proceso de extracción del aceite de palma. Los objetivos primordiales son:

1. Inactivar las enzimas que causan el desdoblamiento del aceite y en consecuencia controlar el incremento de la acidez (%AGL).
2. Acelerar el proceso de ablandamiento de la unión de los frutos con su soporte natural (raquis o tuza).
3. Disminuir la resistencia de los tejidos de la pulpa para lograr el fácil rompimiento de las celdas de aceite durante los procesos de digestión y prensado.

4. Deshidratar parcialmente las almendras contenidas en la nuez, para facilitar su recuperación posterior.

El proceso de esterilización se lleva a cabo, generalmente sometiendo los racimos de fruto fresco de palma a la acción de vapor de agua en recipientes cilíndricos horizontales (autoclaves), en donde los factores principales son el tiempo de cocción y la temperatura, dependiendo del tamaño de los racimos y del grado de madurez del mismo.

La fruta se mantiene por un periodo de 90 minutos, los primeros 45 minutos se procede a eliminar el aire, bajar y subir la presión 5, 10 y 15 minutos para finalmente tener un pico a presión constante de 45 psi y una temperatura aproximada de 147°C para luego utilizar 15 minutos en cargue y descargue del esterilizador. En esta etapa se pierde uno (1) % del peso entre humedad y grasa.

#### **1.2.4. Desfrutado**

Su propósito es separar los frutos del racimo, esto se hace en un tambor rotatorio, en el cual, el fruto se separa para luego ser enviado al digestor por medio de un elevador y el racimo vacío es llevado al campo para utilizarlo como abono orgánico. El racimo vacío como desecho representa 23 % del peso total (Chooi, 1983).

#### **1.2.5. Digestión**

El fruto es depositado en un cilindro llamado digestor el cual presenta unas paletas en las cuales se macera el fruto por medio de la agitación circular, además se le aplica vapor a 45 psi, esto ayuda a que las células de aceite se desprendan del fruto y la recuperación del aceite en el momento del prensado sea eficiente (Maycock, 1990).

### **1.2.6. Prensado**

El fruto digerido se prensa. En esta etapa se aplica agua a la salida del digestor y en la parte inferior de la prensa con el fin de lavar la fibras y lograr que la extracción del aceite sea lo más eficientemente posible y mantener las pérdidas de aceite dentro de los estándares, además de dar la dilución adecuada para realizar la separación en la sección de clarificación (Hartley, 1988).

Del prensado se producen dos efluentes uno sólido y otro líquido, el sólido está compuesto por la semilla del fruto y las fibras producidas en el proceso de prensado, el líquido va a ser una mezcla aceite – agua – lodos, que representa 60 % sobre fruta, además se produce 6 % de semilla (4% almendra y 2% de cáscara), el 9 % restante es fibra.

### **1.2.7. Clarificación, secado y almacenamiento**

El aceite crudo de palma, proveniente del prensado del mesocarpio contiene cantidades variables de impurezas de tipo vegetal (solubles e insolubles), arena y agua, que deben ser removidos con el fin de dar al producto terminado claridad, estabilidad y buena apariencia, lo anterior se logra mediante el clarificado del licor por decantación y centrifugado.

Debido a que el aceite crudo de palma africana es altamente viscoso, se hace necesario adicionar suficiente agua de dilución para lograr una buena separación del aceite y de los lodos. La adición de agua a 90°C ayuda a obtener aceite en volumen del 35 a 40% y lograr un rápido decantado. Ya en la sección de clarificación, la mezcla aceite – agua – lodos es pasada por un proceso de desarenado con el fin de remover las arenas y tierras. Luego del desarenado, la mezcla pasa al tamizado cuya función es remover una alta cantidad de sólidos con un mínimo arrastre de aceite y reducir al máximo la viscosidad con una mínima reducción en el tamaño de las gotas de aceite.

Después de haber tamizado la mezcla se procede a elevar la temperatura a 95-98°C, por medio de un recalentador que se instala a la entrada del clarificador. Luego de calentado el aceite pasa al tanque clarificador donde se le aplica agitación constante con el fin de acelerar la separación de la mezcla. El aceite ya separado de las otras fases es decantado y enviado a un tanque para eliminar la humedad en una unidad de vacío, y luego se almacenado a una humedad no mayor al 0,20% y una temperatura no mayor de 50°C (Chong, 2000).

Los lodos de la clarificación son depositados en un tanque para luego procesarlos en las centrifugas y así recuperar el aceite contenidos en ellos (aceite recuperado), este lodo centrifugado es mandado a los florentinos donde se trata de recuperar el aceite residual, y luego se manda a las lagunas de tratamiento.

### **1.2.8. Refinación**

Durante la refinación se liberan impurezas de los aceites y grasas crudos como, metales pesados, fosfolípidos y pigmentos; proceso de desacidificación en el cual por acción del flujo del aceite, intercambio térmico se destilan ácidos grasos libres y pigmentos residuales; proceso de desodorización donde se destilan los compuestos de segundo orden como aldehídos y cetonas (responsables del olor y sabor en los aceites crudos).

## **1.3. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL ACEITE DE PALMA**

La cadena de procesamiento de aceite de palma se inicia con la recolección de RFF de las fincas, seguido por el procesamiento del aceite de palma en crudo como se explicó anteriormente. A partir de entonces, el aceite de palma crudo se envía a la refinería para la obtención de los diferentes productos refinados. Debido a que los problemas de calidad pueden surgir en cualquier momento

en la cadena, es necesario controlar todas las etapas del proceso. Los dos principales problemas de calidad asociados con aceite de palma son la hidrólisis, que da lugar a la formación de AGL y la oxidación, que lleva a la rancidez (Abigor, 1985).

La hidrólisis de aceite de palma es promovida por la presencia de humedad y calor y también por las enzimas lipasas endógenas presentes en el mesocarpio de los frutos. Factores como el maltrato de los frutos durante la cosecha y el transporte de los RFF a la planta de extracción, así como el almacenamiento prolongado en condiciones desfavorables generan un aumento en la producción de AGL. En el caso del aceite durante el almacenamiento prolongado, la hidrólisis se atribuye a una reacción química que es autocatalítica denominada rancidez oxidativa (Loncin, 1952).

La presencia de alto contenido de AGL en el aceite crudo de palma no es deseable, ya que reduce la producción de aceite de palma durante el refinamiento, blanqueamiento y desodorización, al igual que la capacidad de refinación, por lo que los resultados en blanqueabilidad de aceite crudo son bajos lográndose un producto final con baja estabilidad. El aceite de palma crudo con alto contenido de AGL, también contiene una alta cantidad de glicéridos parciales, especialmente diglicéridos. Las interacciones entre los diglicéridos y los triglicéridos a menudo conducen a la formación de eutécticos que originan la formación de cristales pobres durante el fraccionamiento, dificultando la separación de la oleína y la estearina por filtración, y afectando la estabilidad de la primera.

Por otra parte la oxidación de los aceites y grasas se debe a la exposición prolongada al aire. El aceite de palma, por tener un bajo contenido de ácidos grasos poliinsaturados, es relativamente más estable al deterioro oxidativo que los demás aceites vegetales poliinsaturados. Sin embargo, en presencia de trazas de metales como el hierro y el cobre, se puede ocasionar la oxidación excesiva de los ácidos oleico y linoleico. El aceite de palma crudo oxidado requiere más tierra para blanquear y condiciones más severas de refinación, dando un producto final poco estable

Por tanto se considera que el aceite de palma de buena calidad debe tener las siguientes características: bajo contenido de AGL, buena capacidad de blanqueado, bajo contenido de humedad y otras impurezas. Los AGL pueden extraerse, pero un alto nivel de AGL lleva a un rendimiento de aceite proporcionalmente más bajo después de la neutralización. Esto puede tenerse en cuenta en el precio, pero un alto nivel de AGL puede tener un gran efecto en el producto final en la refinería. También indica un alto contenido en diglicéridos, lo que afecta las propiedades de fraccionamiento del aceite (Siew, 2000); mientras que la oxidación afecta la capacidad de su blanqueado.

### **1.3.1. Calidad comercial del aceite**

En la industria de aceite de palma, a menudo se dice que "la buena calidad se hace en el campo, no en la planta". Esta declaración subraya claramente la importancia de mantener buenas prácticas de recolección de los racimos de fruta en la plantación. Una buena cosecha es la práctica que da el mejor compromiso entre el rendimiento de aceite, la calidad del aceite, y la reducción de costos. Los factores de campo que determinan la calidad del aceite de palma son el grado de maduración de los racimos de fruta, la severidad del maltrato de la cosecha, los retrasos entre la cosecha y la esterilización, y la contaminación de RRF por arena, tierra o piedras (Corley, 2009).

A nivel nacional existen normas que fijan los parámetros para evaluar la calidad del aceite, que permiten usualmente, determinar la pureza de una muestra dada, si responde a las características del producto genuino o las estipuladas en el comercio y en el caso de un producto de fuente desconocida, determinar que componentes están presentes. El aceite de palma debe cumplir con parámetros de calidad necesarios para competir en el mercado internacional. Los parámetros identificados por la norma ICONTEC se muestran en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Parámetros de calidad del aceite de palma crudo por la ICONTEC

Parámetro	Especificación	Norma
Índice de acidez	2,5-3,0	ICONTEC 218
Humedad y sustancias volátiles	Menos del 0,1%	ICONTEC 287
Impurezas	Menos del 0,02%	ICONTEC 240

Los análisis aplicados para determinar la calidad del aceite son los siguientes:

- **Índice de acidez:** El índice de acidez es una medida del contenido de AGL en una muestra. Su cálculo se basa en la masa molar de un ácido graso o una mezcla de ácidos grasos. Los resultados se reportan como porcentaje del ácido que se encuentre en mayor proporción.
- **Deterioro del índice de blanqueabilidad:** El deterioro del índice de capacidad de blanqueo (DOBI) no está incluido en las especificaciones de calidad del aceite de palma. Sin embargo, la mayoría de los compradores que refinan el aceite crudo, lo consideran como un indicador de la “aptitud para el uso” y por lo tanto se cubre dentro de los parámetros de calidad comercial.

El DOBI, se define como la relación entre los valores de absorbancia corregida entre 446 nm a 269 nm. Este valor se introdujo como un parámetro de calidad para diferenciar la refinabilidad de aceite de palma crudo de buena y mala calidad. La relación con la calidad es DOBI > 3, bueno; > 2.4-2.9, justo, y <2.3, malo. Este método se basa en la relación de carotenos respecto al resto de carotenos oxidados. Las moléculas de caroteno absorben luz a 446 nm, mientras que sus productos oxidados absorben luz a 269 nm.

- **Índice de yodo:** se define como el número de gramos de yodo absorbidos por 100 gramos de aceite o grasa. Este método permite conocer cuanta es la cantidad de ácidos grasos insaturados presenta el aceite.

- **Índice de saponificación:** es el número de miligramos de KOH requeridos para saponificar un gramo de aceite o de grasa. Este método permite la descomposición por bases de los triglicéridos en glicerol y en sales de ácidos grasos. El índice de saponificación indica el peso molecular de los ácidos grasos insaturados presentes en el aceite.
- **Índice de peróxidos:** es un indicador del grado de rancidez oxidativa de las grasas y se expresa como la cantidad (expresada en miliequivalentes de oxígeno activo por Kg de grasa) de peróxidos en la muestra que ocasiona la oxidación del yoduro de potasio.
- **Índice de ésteres:** si al índice de saponificación se le resta el índice de acidez se obtiene el índice de ésteres, que corresponde al número de miligramos de álcali necesarios para la saponificación de los ésteres y se expresa de igual manera como el índice de saponificación.

## 2. ESTADO DEL ARTE

Las lipasas (triacilglicerol éster hidrolasas) son las implicadas en la degradación de los triglicéridos. El aumento en los niveles de AGL en el fruto de la palma de aceite se atribuye a la acción de estas enzimas. Sin embargo, la evidencia sobre la naturaleza de las lipasas ha sido contradictoria. Oo. (1981), y Tombs *et al.* (1982) reportaron la ausencia de la lipasa endógena del mesocarpio de palma de aceite. Hartley (1988) sin embargo, sugirió la presencia de una lipasa endógena muy activa presente en dicho mesocarpio. Abigor *et al.* (1985) describieron la caracterización parcial de la lipasa del mesocarpio de palma de aceite, mientras que Mohankumar *et al.* (1990) reportaron la localización histoquímica de la lipasa en el mesocarpio del fruto de palma de aceite.

La presencia de una lipasa endógena activa en la palma de aceite también fue propuesta por Sambanthamurthi *et al.* (1991), quienes demostraron que la lipasa es activada por el tratamiento en frío. Este hallazgo está en contradicción con la segunda investigación hecha por Henderson y Osborne (1991) quienes reportaron que la lipasa en la fruta madura de palma de aceite es sensible a la inactivación por refrigeración a 8°C. Sin embargo, años más tarde fue establecido por Sambanthamurthi *et al.* (1995) que la inhibición en la actividad de la enzima observada por Henderson y Osborne (1991) fue una consecuencia del gran aumento de AGL a baja temperatura.

Según lo reportado por Ngando (2006) la lipasa de la palma de aceite está localizada en los cuerpos lipídicos y tiene una actividad óptima a pH 9. La enzima es estable sólo en un ambiente hidrofóbico y pierde actividad en la ausencia de un entorno polar. La fracción soluble no tiene actividad de la lipasa detectable. La máxima actividad *in vitro* (con trioleato como sustrato), se observó a 35°C. Sin embargo, con un ensayo *in vitro* (midiendo los AGL total de la fruta), la actividad máxima se observó en 5°C, lo que implica posibles cambios estructurales a los 5°C lo cual conduce a una mayor interacción de la enzima con el sustrato.

La función de la lipasa permanece incierta. Henderson y Osborne (1991) encontraron que esa actividad se desarrollaba más o menos al mismo tiempo que comenzaba la síntesis del aceite y especularon que la lipasa podría desempeñar un papel en la síntesis de triglicéridos en los oleosomas ricos en lípidos del mesocarpio, aunque el camino aceptado para la formación de triglicéridos *in vivo* incluye las enzimas de glicerol-aciltransferasas (Sambanthamurthi et al, 2000).

Una vez confirmada la lipasa presente en el mesocarpio del fruto de la palma de aceite, diferentes estudios mostraron que La baja temperatura de activación de la enzima varía con el genotipo y es mucho menos pronunciada en un entorno saturado de agua, lo que indicó que el estrés hídrico puede tener un efecto en la lipasa de la palma de aceite (Sambantharmurthi *et al.*, 2000). Dado que la palma de aceite es un cultivo tropical, la significancia fisiológica de esta enzima inducida por el frío no es clara, ni el papel fisiológico de cualquier lipasa en la fruta de palma de aceite ya que el mesocarpio es ya descompuesto en su estado natural antes de que la semilla germine (Oo., 1981).

Sambanthamurthi *et al* (2000) encontraron realizando el estudio de activación en frío que la *E. guineensis* tenían una mayor actividad en comparación con los de *E. oleífera*, y que independientemente de cuál de las dos especies tenía mayor o menor contenido de aceite. El máximo contenido de AGL se observó en los frutos de la colección de Angola. Algunos de los clones de las colecciones de Camerún y Tanzania tenían muy bajos niveles de AGL. Estos resultados confirmaron que la actividad de la lipasa es genotipo-dependiente, y fueron muy útiles para seleccionar a estas variedades como aquellas que contenían la menor actividad de la lipasa.

En cuanto al efecto de la postcosecha sobre la activación de la lipasa y la formación de AGL, se encontró que la hidrólisis de triglicéridos no ocurre en los frutos sin daño, se presume que la lipasa está separada en compartimentos dentro de la célula y solo se pone en contacto con el aceite si las membranas de las células se rompen (Corley., 2009). La primera etapa es una hidrólisis parcial, siendo los productos AGL y diglicéridos. Los AGL pueden ser extraídos

por neutralización, pero los diglicéridos permanecen y tienen efectos significativos e indeseables en el comportamiento del fraccionamiento. Por esta razón es indispensable reducir al mínimo las magulladuras o daños del fruto fresco antes de que llegue a la planta de beneficio, en donde la enzima, junto con cualesquiera lipasas microbianas, es inactividad por esterilización. El límite de AGL es tradicionalmente para el caso de Malasia del 5% y de Colombia del 2,4%.

Los AGL en el mesocarpio con magulladuras aumentan rápidamente, de modo que el primer paso para evitar alto contenido de AGL es manipular cuidadosamente el fruto tanto en campo como en la planta de beneficio. Clegg (1973) clasificó los impactos a los cuales puede estar sujeto un racimo en la cosecha, en la carga y en la descarga, de acuerdo con el aumento resultante de AGL. Cada impacto grave, tal como el de una cosecha en una palma alta o la descarga en una rampa, causaron un aumento de AGL de cerca de 0,2%. El sistema utilizado más ampliamente de manejo en la rampa, con vagones volquetas y la caída de la rampa en las jaulas de esterilización, ocasionó un aumento total entre la palma y el esterilizador de alrededor de 1,3% de AGL.

Una vez que se ha cosechado el racimo, los microorganismos empiezan atacar la superficie del fruto a través de heridas o roturas en ella y la base de frutos separados. La mayoría de estos microorganismos tienen actividad lipolítica y causan un aumento ulterior de AGL. La esterilización mata los microorganismos e inactiva la lipasa endógena, pero cualquier demora en el procesamiento después de que el fruto ha llegado a la planta de beneficio da como resultado un nivel más alto de AGL. Después de la extracción debe secarse el aceite. En el aceite saturado con agua (0,4% de humedad), ocurre la hidrólisis autocatalítica de triglicéridos, estimulada por AGL, pero esta reacción es insignificante a 0,1% de humedad (Degraaf, 1976; Berger, 1983; Chong, 2000).

En cuanto a la oxidación esta puede ocurrir en cualquiera de las etapas durante el procesamiento y esto se ve repercutido sobre la capacidad de blanqueo; un estudio hecho por Olie (1969), demostró que los frutos muy maduros y en

podrición tienen poca capacidad de blanqueo. Mientras que Berger (1983) concluyó que un contenido de humedad por encima de 0,2% suprime la oxidación durante el almacenamiento, pero esto choca con el requerimiento de tener AGL bajos. Un alto contenido de AGL también reduce la capacidad de blanqueado (Parakh y Pathak, 2000).

Teniendo en cuenta que en las investigaciones anteriormente citadas, no se encuentran trabajos que relacionen la evolución de la actividad lipásica con el tiempo postcosecha, en este trabajo se plantea hacer una correlación entre dichas variables, con el fin de ver la evolución de la lipasa y como está afecta la calidad del aceite con el transcurrir del tiempo tanto en la especie *E. guineensis* (tenera) como en el híbrido (OxG), siendo este último de vital importancia, debido a que la palmiticultura moderna basa su competitividad en la siembra de materiales mejorados de alta producción adicional para este genotipo y del cual no hay suficientes investigaciones al respecto.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 MATERIALES

##### 3.1.1. Reactivos.

Todos los solventes: Metanol P.A.; Hexano P.A.; solución de trifloruro de boro en metanol 20% y Etanol P.A.; fueron grado analítico y obtenidos de MERCK. Los reactivos: NaOH y KOH, Fenolftaleína y Biftalato de potasio fueron de grado analítico y obtenidos de MERCK. Mezclas de metil ésteres de ácidos grasos (Supelco 37 component FAME Mix Cat. 47885-U); mezclas parciales de FAME (Supelco GLC-10, GLC-20, GLC-30 y GLC-40); muestra patrón de referencia: material de referencia certificado (Certified Reference material CRM 163. Community Bureau of Reference BCR, Brussels).

##### 3.1.2. Equipos.

Para la ejecución de este proyecto se emplearon los siguientes equipos: espectrofotómetro Spectronic 601 marca *Milton Roy Company* (USA), balanza analítica AB204-S marca Mettler-Toledo (*Schwerzenbach*, Suiza), cromatógrafo Agilent *Technologies* 7890A, con puerto de inyección *split/splitless* y detector de ionización en llama (FID), autoclave *All American*, prensa hidráulica de mano, estufa, soxhlet y una centrifuga Hettich *zentrifugen Rotofix 32* (Alemania).

##### 3.1.3. Material vegetal.

Para todos los ensayos las muestras de *Elaeis Guineensis* (tenera) y el híbrido (*Elaeis oleifera* Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq.) fueron obtenidas de diferentes ensayos en el campo experimental Palmar de la Vizcaína en

Barrancabermeja Santander, perteneciente al Centro de Investigación en Palma de Aceite (CENIPALMA).

### 3.2. DISEÑO METODOLÓGICO

Se cosecharon seis (6) racimos maduros de *E. guineensis* (tenera) y seis (6) del híbrido (OxG), utilizando el criterio de máxima concentración de aceite (Ríos R.,1999). Se formaron 3 grupos (repeticiones) de *E. guineensis* y lo mismo para OxG. Cada grupo de racimos se desespigó y las espigas correspondientes se mezclaron y homogenizaron. Cada repetición de espigas se mantuvo a la intemperie (sol y agua) durante el desarrollo del experimento, como se muestra en la **Figura 4**. Los días de exposición fueron los necesarios hasta que la lipasa presente en los frutos se inactivo. Para realizar las mediciones, se muestrearon aleatoriamente espigas de cada grupo. Se tomaron muestras cada 4 días para el híbrido y cada 2 días para *E. guineensis* (tenera). La diferencia de días entre un genotipo y otro es porque en el segundo la velocidad de formación de AGL es más lenta.



Racimos Cosechados



Desespigado



Repeticiones de *E. guineensis*



Repeticiones de Híbrido (OxG)

**Figura 4.** Diseño metodológico.

Para el análisis de actividad lipásica *in situ* se empleó el método de activación por enfriamiento a 5°C se descrito en la sección 3.4.

Adicionalmente se midió el contenido de aceite, porcentaje de humedad en los frutos y el porcentaje de AGL en los aceites obtenidos durante cada día de muestreo.

### **3.2.1. Muestreo y tratamiento del material vegetal**

De cada repetición se obtuvieron 3 muestras (entre 21 y 27 frutos por repetición) por cada día de muestreo. La primera muestra se empleó para determinar el porcentaje de ácidos grasos libres (AGL), la segunda la actividad lipásica *in situ* y de la tercera porcentaje de humedad y contenido de aceite en el fruto.

Los frutos seleccionados de las dos primeras muestras se esterilizaron por medio de vapor de agua a una presión de 15 psi, usando una temperatura mayor a 100 °C por un periodo de 1 hora. El propósito de la esterilización fue inactivar la lipasa y favorecer el ablandamiento de la pulpa para el proceso de prensado del mesocarpio, como lo muestra la **Figura 5**.

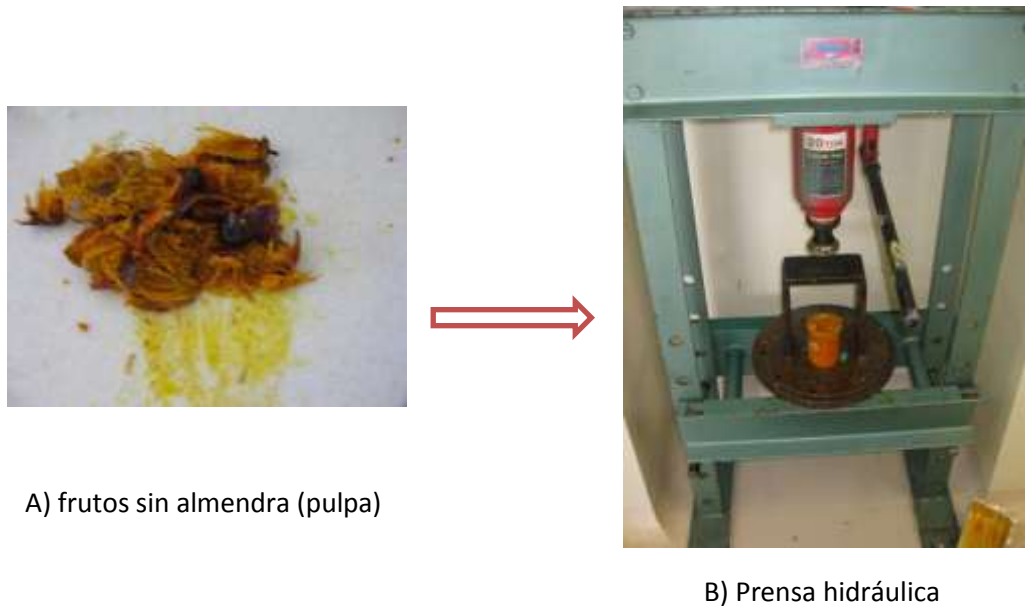


**Figura 5.** Esterilización de los frutos.

### 3.3. EXTRACCIÓN DEL ACEITE CRUDO DE PALMA.

La extracción del aceite (muestras 1 y 2 de cada repetición) se llevó a cabo mediante el proceso de prensado, el cual sirvió para separar los componentes de la pulpa (aceite y fibra). Para este trabajo se utilizó una prensa hidráulica de mano, en la cual se extrajo el aceite necesario para las mediciones como lo muestra la **Figura 6**.

El aceite obtenido del prensado se homogenizó a 50°C, se centrifugado a 4300 rpm durante dos minutos, esto con el fin de eliminar todas las impurezas, tales como agua fibra residuos del proceso de prensado.



**Figura 6.** Prensado de los frutos para la obtención del aceite.

### 3.4. MEDICIÓN DE LA ACTIVIDAD LIPÁSICA IN SITU

Antes de la esterilización la superficie de los frutos colectados de la segunda muestra de cada repetición se desinfectó con hipoclorito de sodio (0.5% cloro activo) y se lavó con agua destilada. Luego los frutos se almacenaron a 5°C por toda la noche con el fin de activar la lipasa del mesocarpio y se extrajo el aceite. La medición del contenido del %AGL formados después de someter los frutos al anterior tratamiento se realizó por titulación con NaOH 0,1 N de acuerdo al estándar AOCS 5A-40. Los resultados se expresaron como %AGL mediante el siguiente cálculo:

$$\text{Actividad lipásica in situ} = \%AGL_{5^{\circ}C} - \%AGL_{\text{iniciales}} \text{ (primera muestra)}$$

### **3.5. ANÁLISIS FÍSICO Y DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LÍPIDOS TOTALES**

Para la obtención de este parámetro se tomó la tercera muestra por los días de análisis de cada repetición. El análisis de la concentración de aceite en los frutos se basó el análisis de racimo descrito por Prada *et al.* (2011). Para ello a los frutos se les removió el mesocarpio y este se dejó toda la noche a 105°C y se determinó la humedad por gravimetría, expresada como porcentaje de peso en agua.

En cuanto a la determinación de lípidos totales, el mesocarpio seco obtenido de la etapa anterior se molió, y 5g se colocaron en dedales cerrados, seguidamente se realizó la extracción del aceite por Soxhlet durante 24 horas utilizando hexano como disolvente. El contenido de aceite se determinó por gravimetría de acuerdo al método AOCS Aa 4-38. El contenido de aceite se expresó como porcentaje en peso de aceite.

### **3.6. MEDICIÓN DE LOS PARAMETROS DE CALIDAD**

#### **3.6.1. Ácidos grasos libres**

Los AGL se cuantificaron siguiendo la norma internacional A.O.A.C. 940.28, que se entiende como, los miligramos de KOH, necesarios para saturar los AGL contenidos en un gramo de muestra. Los resultados se reportaron como porcentaje de ácidos grasos libres expresados como porcentaje de ácido palmítico.

#### **3.6.2. Determinación del perfil de ácidos grasos**

Para la determinación del perfil de ácidos grasos se empleó la técnica analítica de cromatografía de gases mediante la obtención y la cuantificación de los metil esterres. Utilizando cromatógrafo *Agilent Technologies 7890A*, con puerto

de inyección *split/splitless* y detector de ionización en llama (FID). Las condiciones cromatográficas fueron establecidas según la metodología implementada por CENIPALMA.

La grasa se saponificó con una solución de KOH en metanol, los ácidos grasos se derivan a sus respectivos metil ésteres (FAME) de acuerdo al método internacional AOCS Official Method Ce 2-66 (Preparation of Methyl Esters of Long-Chain Fatty Acids). Los FAME se extrajeron con hexano y una fracción se inyectó al cromatógrafo, siguiendo el método AOCS Official Method Ce 1-62 (Fatty Acid Composition by Gas Chromatography). La identificación se realizó comparando los tiempos de retención con la de una mezcla patrón. El área encontrada en el equipo para cada FAME fue directamente proporcional a su cantidad y la composición de todos los FAME se expresaron como el porcentaje relativo de los componentes presentes en la muestra de acuerdo con la relación relativa de áreas.

### **3.6.3. índice de yodo**

La medición directa del índice de yodo (IY) se calculó a partir de la composición de ácidos grasos obtenida por cromatografía de gases. Teniendo en cuenta que una grasa pura monoinsaturada tienen un IY de 90, y una grasa diinsaturada uno de 180, se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$VY = (90 \times \% \text{ grasa monoinsaturada}) + (180 \times \% \text{ grasa diinsaturada})$$

### **3.6.4. Deterioro del índice de capacidad de blanqueo (DOBI)**

El DOBI se calculó como la relación numérica entre la absorbancia espectrofotométrica a 446 nm y 269 nm. La cual se basa en la relación de carotenos respecto al resto de carotenos oxidados.

El método fue desarrollado por el Dr. PAT Swoboda de la Investigación de Aceite de Palma Instituto de Malasia (1989). Las mediciones se realizaron mediante la disolución de aceite de palma de los dos genotipos respectivamente en hexano y luego se determinó la absorbancia en un espectrofotómetro Spectronic 601.

## 4. RESULTADOS

Uno de los factores más importantes e incidentes en la calidad del aceite de palma, es el contenido de AGL. La formación de estos compuestos está asociada a la variedad y a la actividad lipásica de cada una de ellas. A su vez la actividad lipásica puede verse influenciada por el manejo del fruto de la palma una vez cosechado.

Actualmente en la mayoría de las plantaciones una vez se cosechan los frutos, pueden transcurrir varios días antes de ser transportados a las plantas de beneficio y de ser procesados en ellas. Por tal razón, en este trabajo se evaluó el efecto del tiempo postcosecha sobre los parámetros de calidad como: índice de acidez, perfil de ácidos grasos, índice de yodo y el DOBI para dos genotipos de palma de aceite: *E. guineensis* variedad tenera e híbrido (OxG).

### 4.1. EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL TIEMPO POSTCOSECHA SOBRE EL GENOTIPO *E. guineensis* (tenera)

#### 4.1.1. Evaluación del efecto del tiempo postcosecha sobre la formación de AGL

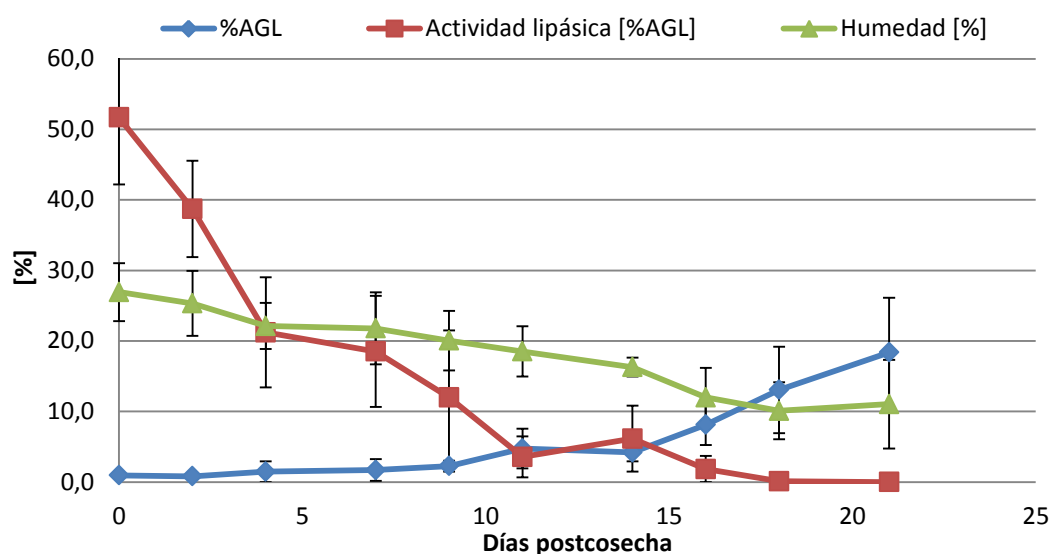
En la **Tabla 3** se presenta la variación de la formación de AGL, la actividad lipásica (expresada como %AGL), la humedad (expresada como %humedad), el contenido de aceite (expresado con %aceite) y el DOBI en los frutos de *E. guineensis* (tenera) después de permanecer a la intemperie durante los diferentes días de evaluación.

**Tabla 3.** Evolución de la formación de ácidos grasos libres, actividad lipásica, concentración de aceite, contenido de humedad y DOBI en la postcosecha de frutos de palma de aceite para el genotipo *E. Guineensis* (tenera).

Días	Humedad [%]	Actividad in situ [%AGL]*	%AGL [%]	Concentración de aceite en el fruto [%]	DOBI
0	26,92 ± 4,11	51,68 ± 9,49	0,95 ± 0,12	44,32 ± 3,95	3,69 ± 0,09
2	25,33 ± 4,61	38,72 ± 6,81	0,81 ± 0,11	47,04 ± 6,89	3,84 ± 0,29
4	22,13 ± 3,25	21,21 ± 7,81	1,47 ± 1,48	47,22 ± 5,32	3,38 ± 0,09
7	21,78 ± 5,12	18,50 ± 7,87	1,69 ± 1,54	45,41 ± 3,91	3,37 ± 0,18
9	20,05 ± 4,22	12,01 ± 9,50	2,26 ± 0,76	44,78 ± 4,19	2,93 ± 0,36
11	18,52 ± 3,56	3,56 ± 2,92	4,74 ± 2,83	46,86 ± 4,54	2,38 ± 0,28
14	16,29 ± 1,35	6,14 ± 4,68	4,19 ± 1,24	46,91 ± 5,04	2,24 ± 0,41
16	11,99 ± 4,20	1,84 ± 1,85	8,12 ± 2,89	45,24 ± 4,57	1,78 ± 0,34
18	10,08 ± 4,04	0,10 ± 0,13	13,06 ± 6,14	51,02 ± 4,78	1,71 ± 0,20
21	11,04 ± 6,29	0,00 ± 0,00	18,36 ± 7,75	48,00 ± 2,55	1,51 ± 0,05

\*Actividad in situ = %AGL<sub>5°C</sub> - %AGL<sub>iniciales</sub>.

Los resultados muestran el cambio de la formación de AGL y la disminución de la actividad enzimática después del corte del racimo en palmas EG variedad tenera (**Figura 7**). Se observó que después de 10 días de cortado el racimo la formación de AGL fue de 4.74% y en este mismo tiempo la enzima perdió su mayor actividad. El tiempo de inactivación de la enzima coincide con el inicio del deterioro del fruto, lo cual se evidenció con cambios notorios en la coloración del fruto. De acuerdo con lo anterior, se puede sugerir que el incremento en la formación de AGL después del día 10, pudo ocasionarse por acción de lipasas exógenas y no por la lipasa endógena del fruto. En cuanto a la humedad los frutos iniciaron con una humedad del 27% y a los 21 días fue de 11%.

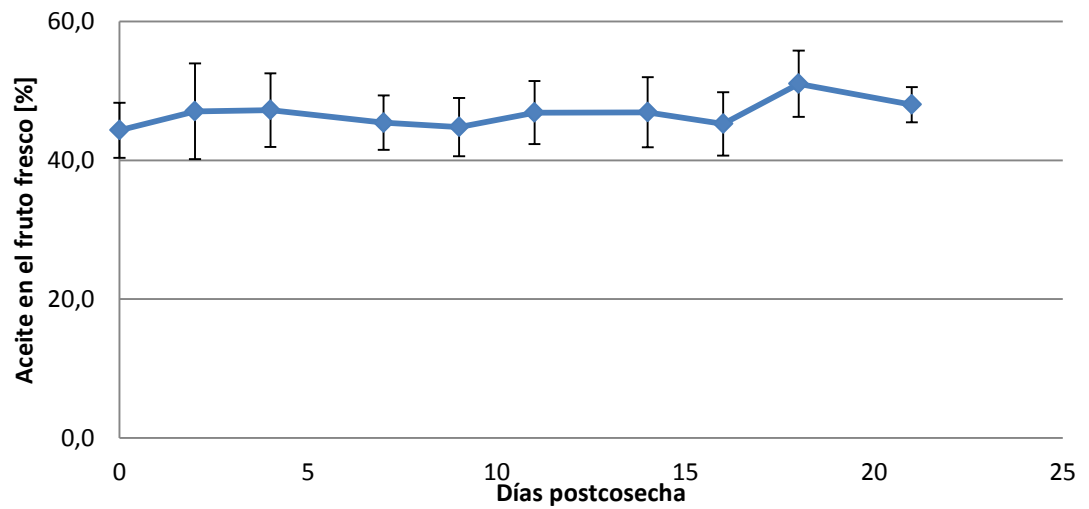


**Figura 7.** Variación de la formación de AGL, actividad lipásica y % de humedad durante la postcosecha en frutos de *E. guineensis* (tenera).

#### 4.1.2. Evaluación del tiempo postcosecha sobre el contenido y composición del aceite.

Estas mediciones permitieron conocer cómo cambia la concentración de aceite en los frutos y la composición lipídica del mismo. La **Tabla 3** mostraba que el aceite en el fruto durante el tiempo postcosecha representa aproximadamente entre el 40 y el 50% del peso total del mismo, el porcentaje restante corresponde a la nuez y a la humedad. También se observó que durante este tiempo el contenido de aceite en el fruto aumentó debido a que el mesocarpio perdió humedad, de manera que su contenido de aceite sube cuando se expresa como un porcentaje del peso total (Corley y Law, 2001).

La **Figura 8** muestra que la concentración de aceite aumenta con el tiempo postcosecha en un 3,68%, debido a la pérdida de humedad como se mencionó anteriormente.



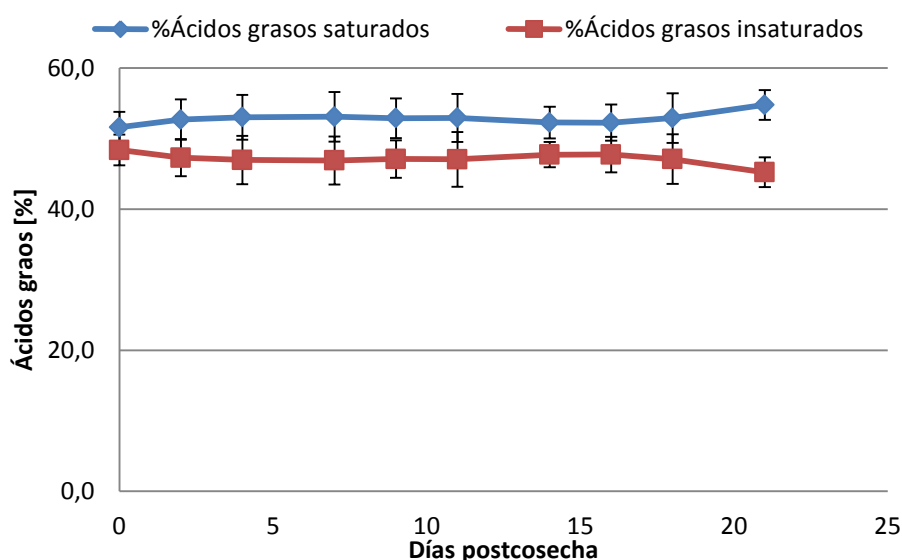
**Figura 8.** Concentración de aceite en frutos frescos de *E. guineensis* (tenera).

La **Tabla 4** muestra el contenido de ácidos grasos mayoritarios (expresado como % áreas relativas) contenidos en el aceite de palma para el genotipo *E. guineensis* (tenera), encontrándose que no hay diferencias significativas en su composición con el paso del tiempo postcosecha. Sin embargo, al calcular el índice de yodo se observa una disminución en un 2,39%, lo cual significa que la composición de ácidos grasos insaturados pudo verse afectado, produciendo enranciamiento oxidativo leve.

**Tabla 4.** Evolución del perfil de ácidos grasos para el genotipo *E. guineensis* (tenera) y el índice de yodo con el tiempo postcosecha.

Días	Ácido palmítico C16:0	Ácido esteárico C18:0	Ácido Oleico C18:1n9c	Ácido linoleico C18:2n6c	Índice de yodo
0	44,57 ± 2,86	5,68 ± 0,88	35,95 ± 3,55	10,31 ± 1,51	50,91 ± 1,27
2	46,08 ± 4,00	5,34 ± 1,46	34,84 ± 3,83	10,37 ± 1,19	50,02 ± 1,82
4	46,16 ± 4,78	5,42 ± 1,55	34,77 ± 4,43	10,23 ± 0,90	49,71 ± 2,54
7	46,57 ± 4,70	5,23 ± 1,39	35,35 ± 4,60	9,53 ± 1,14	48,97 ± 2,43
9	46,27 ± 3,71	5,39 ± 1,23	35,25 ± 3,75	9,87 ± 1,11	49,49 ± 1,43
11	45,94 ± 4,66	5,57 ± 0,96	35,39 ± 5,02	9,75 ± 1,26	49,40 ± 2,61
14	45,53 ± 2,63	5,37 ± 0,94	35,67 ± 2,47	10,04 ± 0,76	50,19 ± 1,24
16	45,46 ± 2,95	5,48 ± 0,60	35,94 ± 3,21	9,87 ± 0,79	50,12 ± 1,67
18	46,15 ± 4,61	5,39 ± 1,26	35,41 ± 3,90	9,68 ± 0,57	49,29 ± 3,10
21	48,43 ± 3,55	5,32 ± 1,32	32,79 ± 2,80	10,56 ± 0,40	48,52 ± 1,80

En la **Figura 9** se muestra como es la proporción en porcentaje de los ácidos grasos saturados e insaturados en el genotipo *E. guineensis* (tenera). Dichos valores son acordes a los valores reportados en la literatura (**tabla 1**); donde se encontró que la relación entre ácidos grasos saturados e insaturados fue de alrededor de 50%

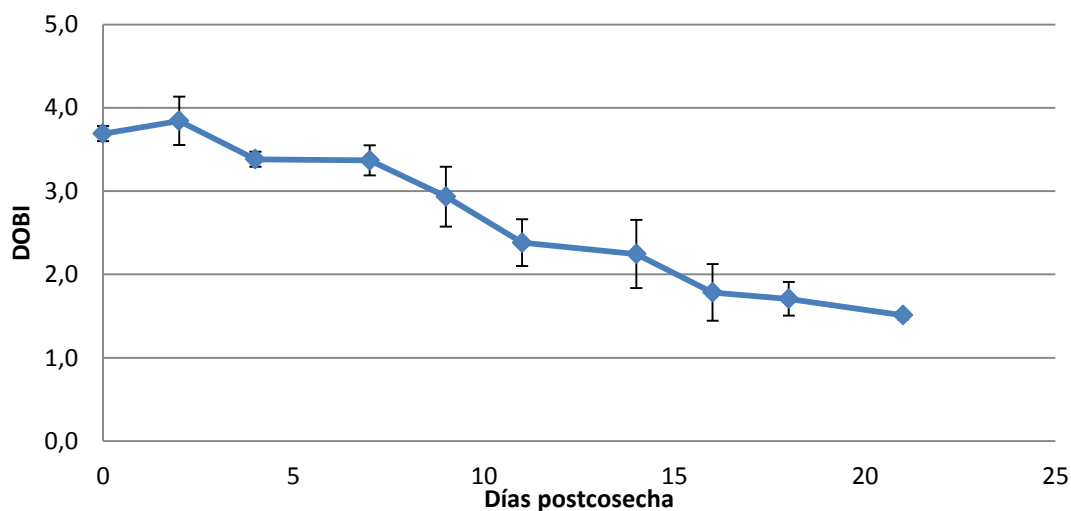


**Figura 9.** Porcentaje de ácidos grasos saturados e insaturados para el genotipo *E. guineensis* (tenera).

#### 4.1.3. Evaluación del tiempo postcosecha sobre el DOBI.

En Colombia, el porcentaje de AGL es el principal parámetro de calidad con el cual se comercializa el aceite crudo, sin embargo algunas empresas han exigido en sus acuerdos cliente-proveedor la inclusión del DOBI como un indicador de la calidad del aceite hacia la estabilidad, la oxidación y blanqueabilidad. Lo anterior implica, que a través de los eslabones de la cadena de transformación agroindustrial de los racimos de la palma de aceite, se identifiquen las causas que originan el deterioro de la calidad y se implementen prácticas operativas que tengan un bajo impacto en los indicadores.

Por esta razón se determinó en el presente trabajo cómo se veía afectado este parámetro durante el tiempo postcosecha, la **Figura 10** muestra su evolución con el tiempo.



**Figura 10.** Evolución del DOBI para el genotipo *E. guineensis* (tenera) durante el tiempo postcosecha.

Después del onceavo (11) día los valores para el DOBI se acercan al valor de 2,30; valor límite que permite conocer si el aceite se puede o no blanquear. Por

consiguiente, antes de estos días el aceite es fácilmente blanqueable, luego es totalmente inútil y acarrea aumento en costos durante la refinación del mismo.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se establece que el aire reaccionó con los carotenos oxidándolos y haciendo que el DOBI durante el tiempo postcosecha disminuya a valores donde no es posible hacer una refinación. La poca estabilidad de los carotenoides se debe al hecho de que son compuestos altamente insaturados, degradándose usualmente por procesos oxidativos como este.

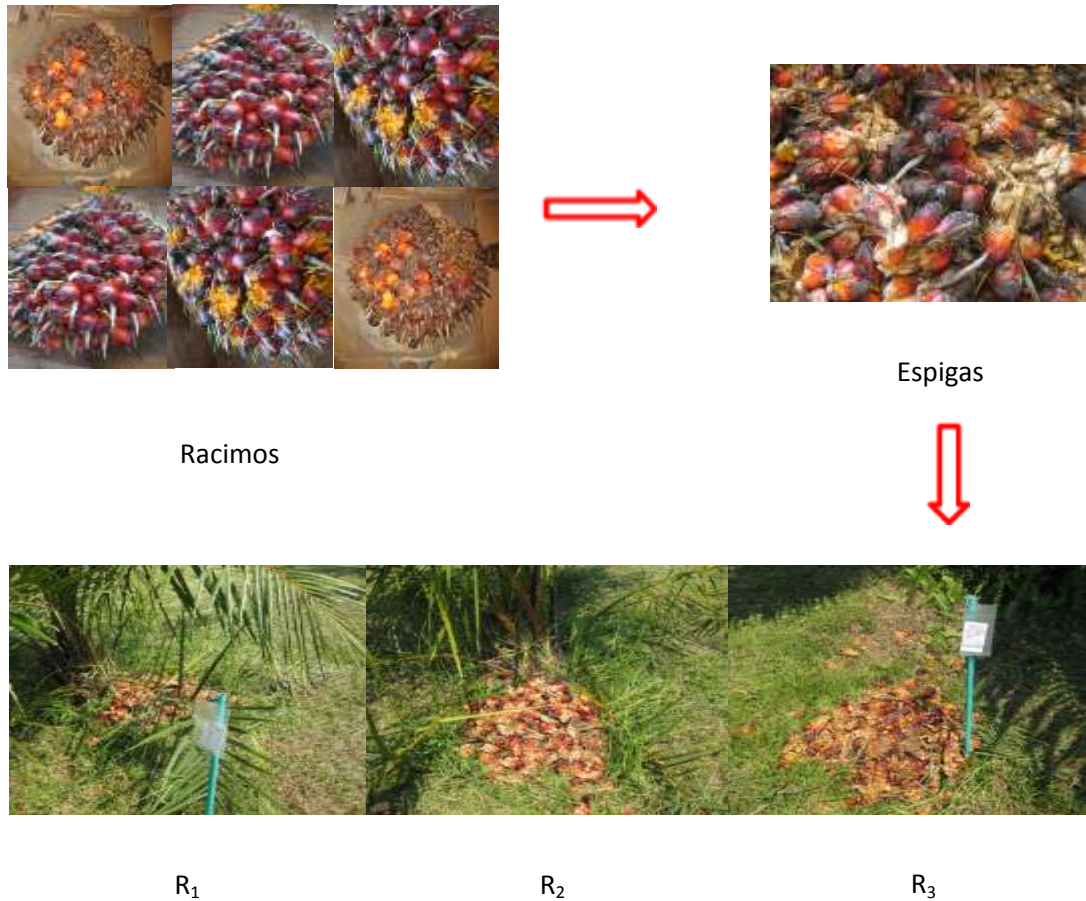
Hasta aquí los resultados expuestos, dan un idea de cómo es el comportamiento de los parámetros de calidad convencionales en el aceite de palma para el genotipo *E. guineensis* (tenera), al igual que el comportamiento su lipasa durante el tiempo postcosecha. Sin embargo las desviaciones estándar correspondientes a la formación de AGL y la actividad lipásica son elevadas, lo que demuestra que entre cada repetición hay diferencias significativas, de las cuales se hablará seguidamente.

## **4.2. ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE REPETICIONES DE *E. guineensis* (tenera)**

### **4.2.1. Efecto del manejo del fruto de palma sobre la actividad lipásica y formación de ácidos grasos libres**

Como se mencionó en la metodología, se tomaron seis (6) racimos completos en campo de *E. guineensis* (tenera), luego de que se desespigaron, fueron mezclados de dos en dos obteniéndose 3 repeticiones ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ). Cada repetición se dejó a la intemperie (sol y agua), como se muestra en la **Figura 11**: la repetición 1 ( $R_1$ ) bajo la sombra, la repetición 2 ( $R_2$ ) protegida parcialmente y la repetición 3 ( $R_3$ ), al sol. Los días de estudio fueron los necesarios para que la actividad lipásica fuera mínima.

A continuación se presentan los resultados obtenidos al evaluar cada una de las variables mencionadas.



**Figura 11.** Obtención de las repeticiones y condiciones en campo para *E. guineensis* (tenera).

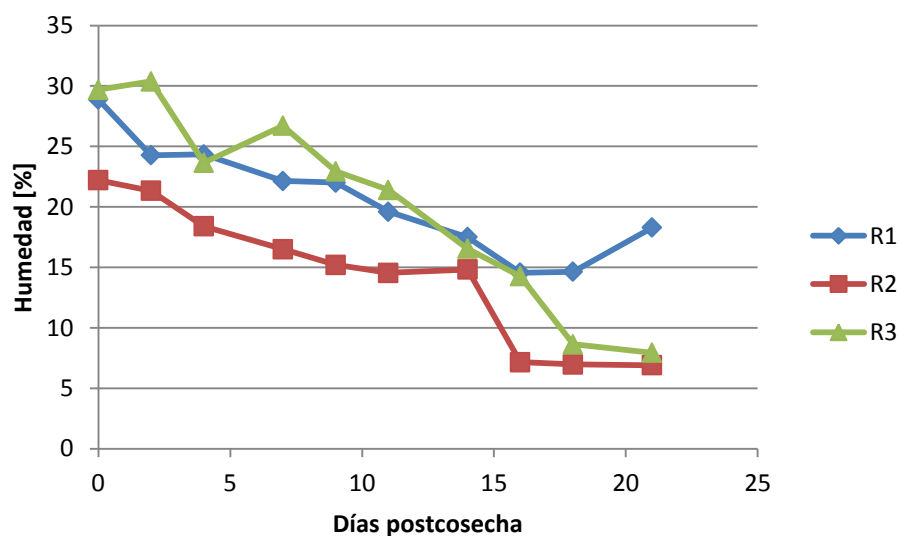
Teniendo en cuenta que las reacciones de hidrólisis de los triacilglicéridos constituyentes de los aceites, involucran el agua y las lipasas, en todos los casos se evaluó el contenido de humedad de los frutos cosechados y se relacionó con la actividad lipásica in situ, con la concentración de aceite en el fruto y con la cantidad de AGL formados. En la **Tabla 5** se presentan los valores obtenidos para las tres repeticiones.

**Tabla 5.** Evolución de la formación de ácidos grasos libres, actividad lipásica y concentración de aceite en la postcosecha de frutos de palma de aceite para el genotipo *E. Guineensis* (tenera).

<b>R<sub>1</sub></b>				
<b>Días</b>	<b>Humedad[%]</b>	<b>Actividad in situ [%AGL]*</b>	<b>AGL [%]</b>	<b>Concentración de aceite en el fruto[%]</b>
<b>0</b>	28,88	54,81	1,00	43,52
<b>2</b>	24,27	46,57	0,87	50,09
<b>4</b>	24,33	30,16	3,17	46,71
<b>7</b>	22,13	26,58	3,29	46,80
<b>9</b>	22,01	21,60	3,13	44,66
<b>11</b>	19,60	6,91	7,89	48,52
<b>14</b>	17,49	10,66	5,05	48,88
<b>16</b>	14,56	3,71	10,31	45,28
<b>18</b>	14,64	0,05	14,66	54,41
<b>21</b>	18,29	0	26,73	47,75
<b>R<sub>2</sub></b>				
<b>0</b>	22,20	41,01	0,80	48,60
<b>2</b>	21,33	34,42	0,87	51,88
<b>4</b>	18,40	15,78	0,74	52,78
<b>7</b>	16,50	10,87	1,55	48,43
<b>9</b>	15,20	11,82	1,72	49,03
<b>11</b>	14,54	2,28	2,40	50,34
<b>14</b>	14,83	6,44	4,75	50,66
<b>16</b>	7,15	0	9,21	49,79
<b>18</b>	6,97	0	18,24	53,09
<b>21</b>	6,90	0	16,93	50,67
<b>R<sub>3</sub></b>				
<b>0</b>	29,68	59,21	1,03	40,83
<b>2</b>	30,37	35,16	0,69	39,16
<b>4</b>	23,65	17,69	0,50	42,18
<b>7</b>	26,71	18,06	0,22	40,99
<b>9</b>	22,93	2,60	1,93	40,66
<b>11</b>	21,40	1,51	3,93	41,72
<b>14</b>	16,54	1,32	2,77	41,18
<b>16</b>	14,27	1,81	4,84	40,65
<b>18</b>	8,63	0,24	6,28	45,55
<b>21</b>	7,94	0	11,43	45,59

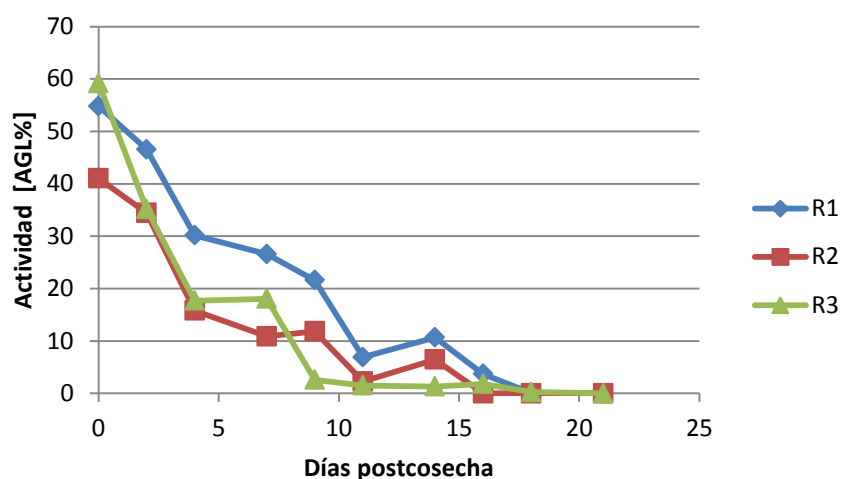
\*Actividad in situ = %AGL<sub>5°C</sub> - %AGL<sub>iniciales</sub>.

Los resultados muestran que al aumentar el tiempo postcosecha disminuye exponencialmente el contenido de humedad (**Figura 12**), este efecto es más marcado en los frutos que estuvieron expuestos al sol donde la pérdida de humedad alcanzo valores de 21.74% al cabo de 21 días de exposición ( $R_3$ ). En los frutos expuestos a la sombra ( $R_1$ ) la pérdida de humedad fue de 10.59% mientras que en los expuestos parcialmente al sol ( $R_2$ ) la pérdida fue de 15.30%, en el mismo lapso de tiempo.



**Figura 12.** Variación del contenido de humedad con el tiempo postcosecha para *E. guineensis* (tenera).

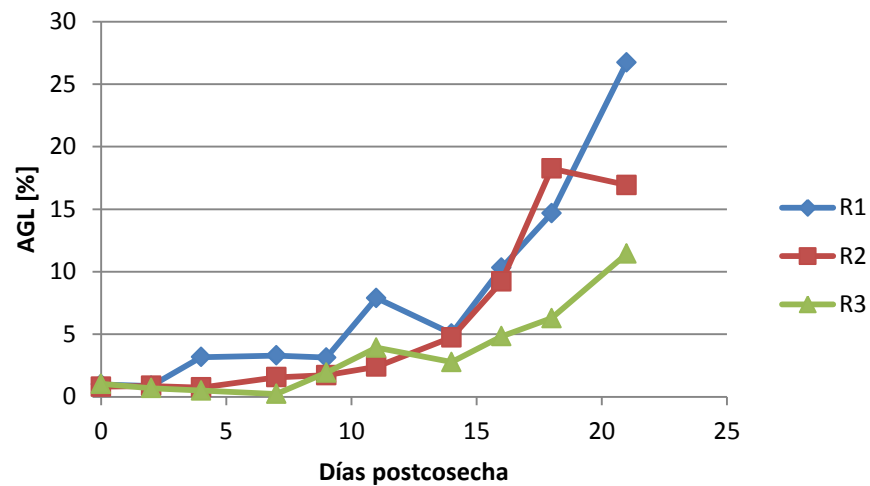
Con respecto a la actividad lipásica se observa que esta también disminuye exponencialmente con el tiempo postcosecha (**Figura 13**), sin embargo en los frutos mantenidos al sol, la velocidad de inactivación de la lipasa es mayor. En este caso la mínima actividad lipásica se alcanza al cabo de 9 días, mientras que en la repetición 2 y en la repetición 1, estos valores se obtienen a los 16 y 18 días respectivamente.



**Figura 13.** Evolución de la actividad lipásica in situ durante el tiempo postcosecha para *E. guineensis* (tenera).

Por su parte la formación de AGL aumenta con el tiempo postcosecha, como se muestra en la **Figura 14**, en menor proporción en las muestras expuestas al sol, y en mayor proporción en las muestras mantenidas a la sombra.

Los valores de ácidos grasos obtenidos al cabo de 21 días de exposición en cualquier caso, son altos: 11,43% para las muestras mantenidas al sol, 16,93% para las muestras parcialmente protegidas y 26,73% para las mantenidas en la sombra. Sin embargo, en las fincas los frutos se cosechan y pueden dejarse entre 3 y máximo 8 días antes de ser transportados a la planta extractora. En este lapso de tiempo, el contenido de ácidos grasos libres formados es menor de 5%.

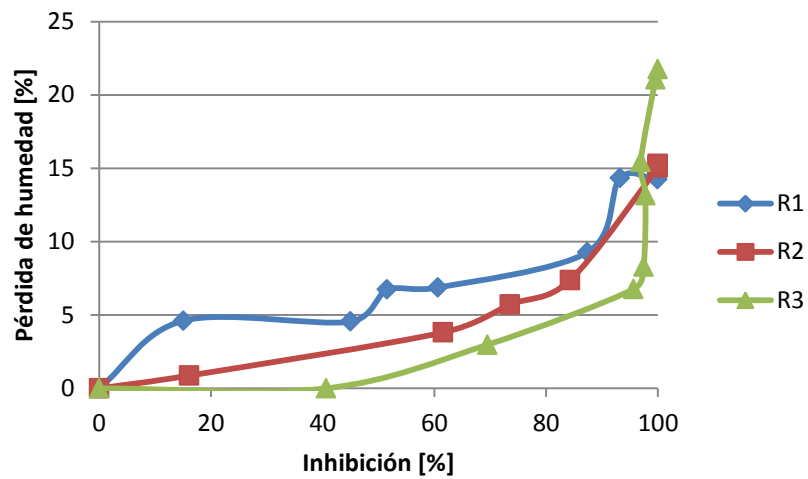


**Figura 14.** Evolución de la formación de los AGL durante el tiempo postcosecha para *E. guineensis* (tenera).

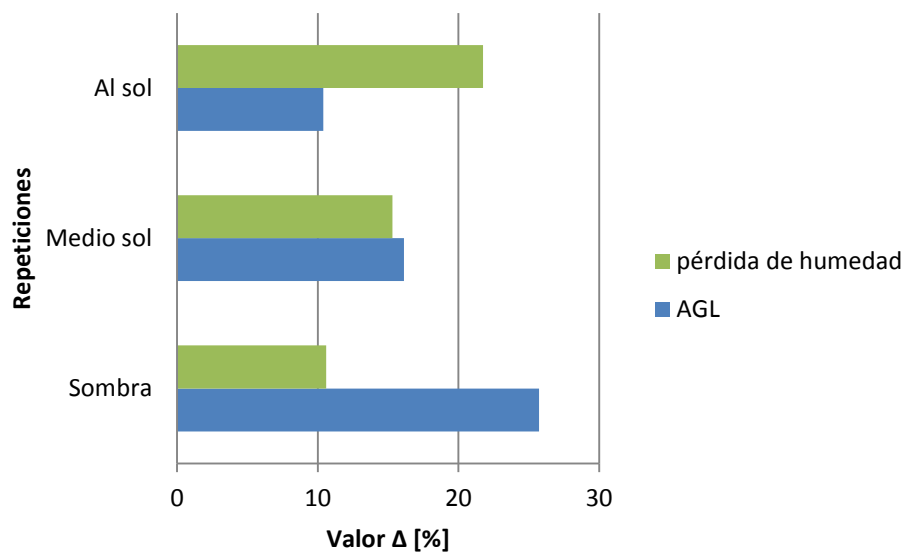
Relacionando el contenido de humedad con la actividad lipásica y los ácidos grasos libres formados, se observa en la **Figura 15** que en los frutos expuestos al sol ( $R_3$ ), la lipasa presenta una velocidad de inhibición mayor que en los frutos mantenidos en la sombra ( $R_1$ ), y estos últimos una velocidad de inhibición menor que los que estaban parcialmente protegidos ( $R_2$ ).

También se observa que inicialmente los frutos a la sombra perdieron agua en una mayor proporción que los que se encontraban parcialmente protegidos y estos a su vez que los que se encontraban expuestos al sol, perdiendo en el día nueve (9) aproximadamente la misma cantidad de agua: 6,87% para las mantenidas a la sombra, 7% para las protegidas parcialmente y 6,75% la expuestas al sol. Después de transcurrido este tiempo la pérdida de humedad se ve más acusada en estas últimas.

Por tanto, se dice que la pérdida de actividad de la enzima, se debe a dos factores: el primero, a la incidencia de la luz solar; y el segundo a la pérdida de humedad, que produce una disminución de AGL (**Figura 16**).

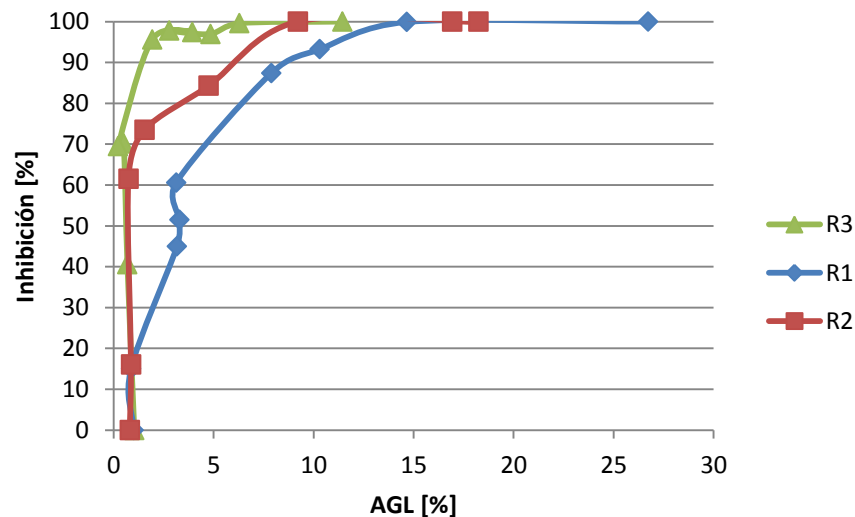


**Figura 15.** Relación entre el porcentaje de humedad y la actividad lipásica in situ para *E. guineensis* (tenera).



**Figura 16.** Relación entre la pérdida de humedad y la formación de AGL para *E. guineensis* (tenera).

De igual forma al comparar la evolución de la actividad lipásica con el tiempo postcosecha y la formación de ácidos grasos libres se encuentra que entre más rápido ocurra la inhibición, menor será el porcentaje de AGL (**Figura 17**).



**Figura 17.** Relación entre la actividad y el porcentaje de AGL para cada repetición de *E. guineensis* (tenera).

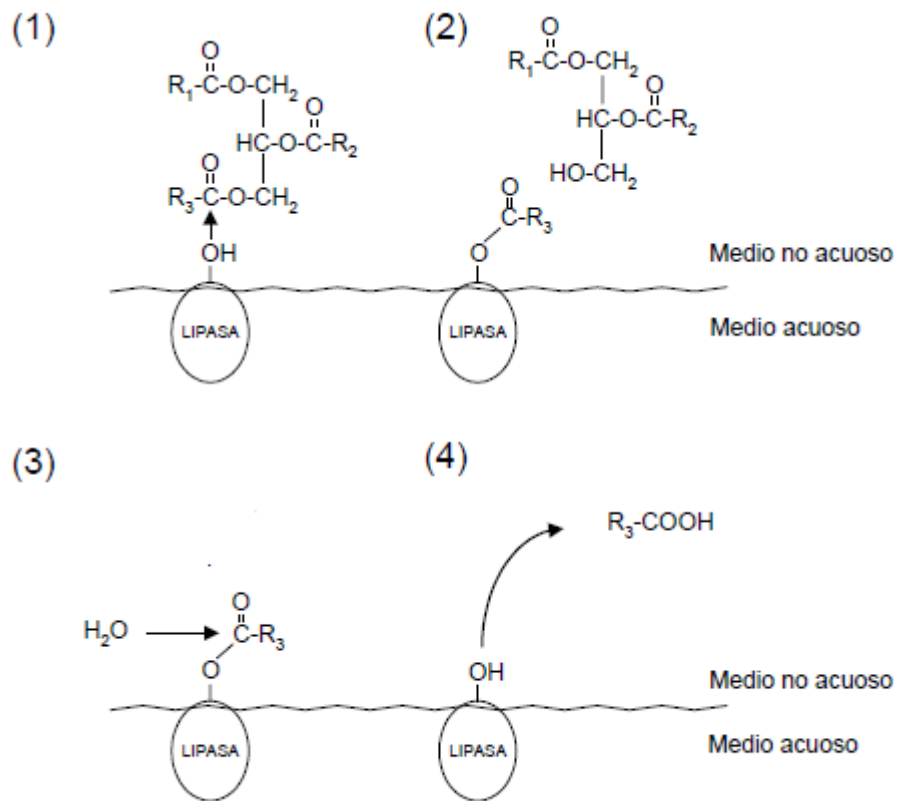
Cabe añadir que el incremento de los AGL se da de una manera exponencial gracias a dos factores importantes, uno la actividad lipásica endógena debido a las lipasas localizadas en el mesocarpio de los frutos (Mohankumar 1990) y el otro, al efecto de la actividad lipásica exógena debida a microorganismos. La primera se da hasta los días 16 ( $R_2$ ), o 18 ( $R_1$  y  $R_3$ ), que es el tiempo que dura la enzima en inactivarse, y la segunda por efecto de los microorganismos que aparecen en el fruto ya que este se encuentra en estado de pudrición (**Figura 18**).



**Figura 18.** Pudrición de los frutos de *E. guineensis* (tenera) pasados 18 días.

Lo anteriormente expuesto demuestra que las condiciones en que se mantengan los frutos antes de la extracción del aceite tienen un efecto directo sobre la formación de AGL dependientes de la actividad lipásica de la enzima presente en el mesocarpio.

La inactivación de la enzima, depende de la cantidad de agua que contengan los frutos, hecho que se ajusta al mecanismo catalítico actualmente aceptado para describir la acción de la lipasas (Camacho-Paéz, 2000) que se explica en la **Figura 19**.



**Figura 19.** Mecanismo catalítico actualmente aceptado para reacciones lipásicas. El átomo de oxígeno presente en la serina que hace parte de la triada catalítica del centro activo de la lipasa actúa como nucleófilo, formando un hemiacetal tetraédrico con el triglicérido. A continuación el enlace éster del hemiacetal es hidrolizado y el diacilglicérido liberado, formándose un complejo acil enzima. Seguidamente se produce un ataque sobre dicho complejo acil enzima por parte de un reactivo nucleófilo que es para nuestro caso es el agua obteniéndose finalmente un ácido carboxílico y liberándose la enzima.

En este caso, sin la presencia suficiente de agua, el hemiacetal que probablemente se forma en la reacción catalítica entre el centro activo de la enzima y el triglicérido no podrá ser hidrolizado, liberando el diacilglicérido ni formar el producto medido por titulación que es un ácido carboxílico (Fenómeno interfacial); sino que estos serán formados por acción de lipasas presentes en

los microorganismos que es lo que explica el aumento de AGL con el transcurrir del tiempo estando la enzima inactiva.

### 4.3. EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL TIEMPO POSTCOSECHA SOBRE EL GENOTIPO HÍBRIDO (OxG).

#### 4.3.1. Evaluación del efecto del tiempo postcosecha sobre la formación de AGL.

En la **tabla 6** se presenta la variación de la formación de AGL, la actividad lipásica (expresada como %AGL), la humedad (expresada como %humedad), el contenido de aceite (expresado con %aceite) y el DOBI en los frutos de *E. guineensis* (tenera) después de permanecer a la intemperie durante los diferentes días de evaluación.

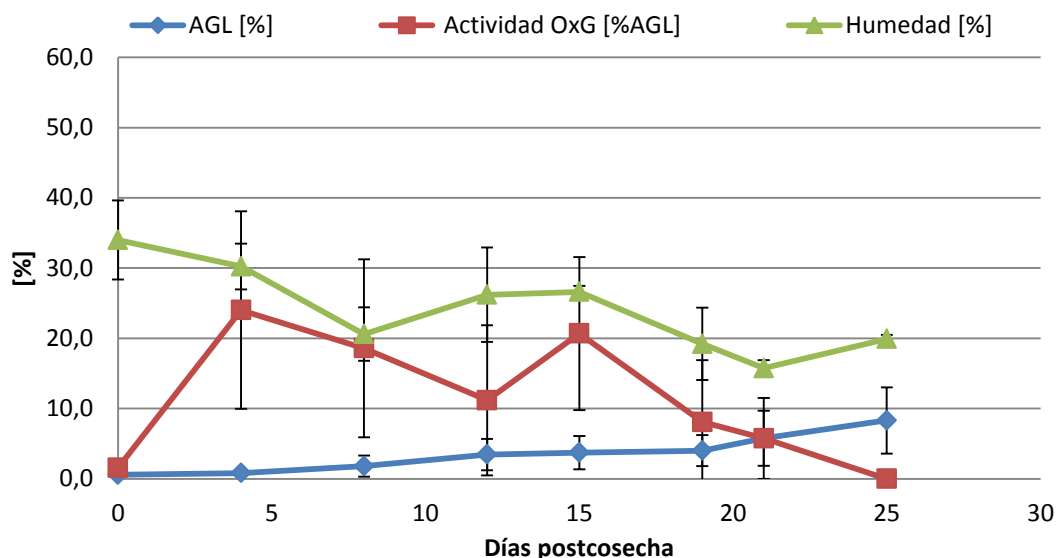
**Tabla 6.** Evolución de la formación de ácidos grasos libres, actividad lipásica, concentración de aceite, contenido de humedad y DOBI en la postcosecha de frutos de palma de aceite para el genotipo híbrido (OxG).

Días	Humedad[%]	Actividad in situ [%AGL]*	AGL [%]	Concentración de aceite en el fruto[%]	DOBI
0	33,99 ± 5,63	1,58 ± 0,69	0,58 ± 0,36	31,48 ± 6,21	4,12 ± 0,27
4	30,24 ± 3,26	24,02 ± 14,05	0,82 ± 0,04	31,64 ± 2,29	4,02 ± 0,34
8	20,61 ± 3,82	18,59 ± 12,65	1,81 ± 1,49	30,55 ± 1,52	3,92 ± 0,09
12	26,22 ± 6,73	11,19 ± 10,68	3,46 ± 2,24	33,58 ± 3,25	2,63 ± 0,31
15	26,61 ± 0,88	20,69 ± 10,89	3,73 ± 2,36	31,16 ± 2,99	3,56 ± 0,73
19	19,21 ± 5,16	8,09 ± 8,82	4,02 ± 2,21	31,70 ± 5,11	3,86 ± 0,14
21	15,76 ± 1,12	5,77 ± 5,76	5,77 ± 3,93	30,66 ± 3,15	3,93 ± 0,71
25	19,92 ± 0,60	0,00 ± 0,00	8,31 ± 4,73	30,94 ± 4,71	3,39 ± 0,71

\*Actividad in situ = %AGL<sub>5°C</sub> - %AGL<sub>iniciales</sub>.

Para el caso de las muestra de OxG, la formación de AGL se incrementó a 4% solo después del día 19. La lipasa perdió su actividad a los 21 días, pero en este punto la formación de AGL fue de 5.77%. El máximo de formación de AGL

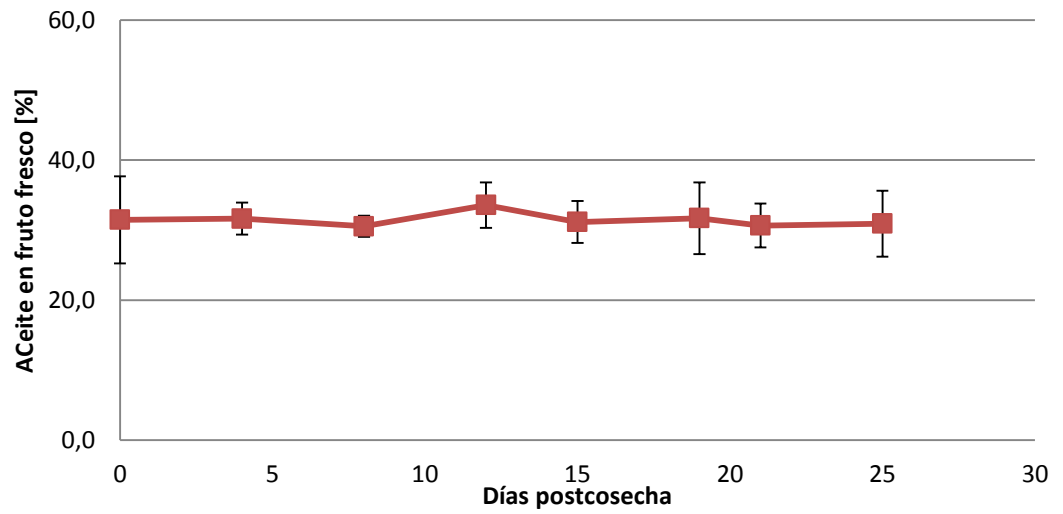
se alcanzó a los 25 días con un valor de 8,31% (**Figura 20**), cuando los frutos ya estaban muy deteriorados. Nuevamente, para el OxG se estimó en este ensayo que la máxima formación de AGL se debe a lipasas exógenas, más que las endógenas. En el caso del OxG, el % de humedad en el mesocarpio inició en 34% y finalizó el ensayo en 20%.



**Figura 20.** Variación de la formación de AGL, actividad lipásica y % de humedad durante la postcosecha en frutos de OxG.

#### 4.3.2. Evaluación del tiempo postcosecha sobre el contenido y composición del aceite.

La **Tabla 6** mostraba que el aceite en el fruto del híbrido representa aproximadamente entre el 25 y el 35% del peso total del mismo, el porcentaje restante corresponde a la nuez y a la humedad que en el caso del híbrido es 6% mayor que el del genotipo *E. guineensis* (tenera). La **Figura 21** muestra que la concentración de aceite en el fruto permanece invariable con el tiempo postcosecha.



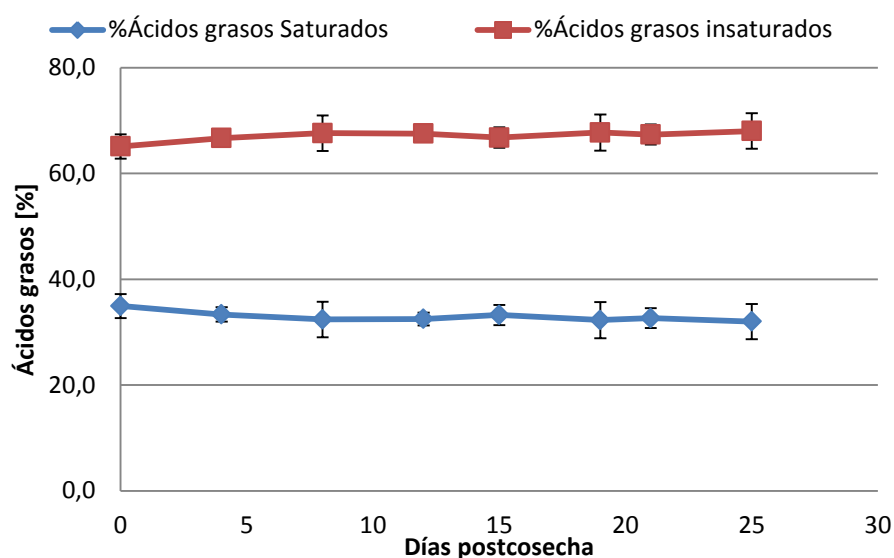
**Figura 21.** Concentración de aceite en frutos del híbrido (OxG).

En cuanto a la composición lipídica para el caso del híbrido (OxG) ocurre exactamente lo mismo que para el genotipo *E. guineensis*, no se observan cambios significativos en los perfiles de ácidos grasos durante los días postcosecha (**Tabla7**). Al calcularse el índice de yodo lo anterior se comprueba, lo cual significa que no hay enranciamiento oxidativo para este genotipo.

**Tabla 7.** Evolución del perfil de ácidos grasos para el genotipo híbrido (OxG) y el índice de yodo con el tiempo postcosecha.

Días	Ácido palmítico C16:0	Ácido esteárico C18:0	Ácido Oleico C18:1n9c	Ácido linoleico C18:2n6c	Índice de yodo
0	30,89 ± 2,12	3,74 ± 0,19	53,55 ± 3,16	9,58 ± 1,32	65,43 ± 0,53
4	29,63 ± 0,95	3,43 ± 0,45	55,12 ± 2,01	9,14 ± 0,74	66,05 ± 0,68
8	28,26 ± 2,76	3,72 ± 0,49	57,01 ± 3,41	8,24 ± 0,82	66,14 ± 1,70
12	28,60 ± 1,51	3,30 ± 0,37	55,14 ± 1,84	9,28 ± 0,47	66,34 ± 0,85
15	29,50 ± 1,76	3,44 ± 0,52	55,21 ± 2,42	8,87 ± 0,45	65,66 ± 1,38
19	28,42 ± 3,15	3,52 ± 0,53	56,14 ± 4,17	9,06 ± 1,67	66,83 ± 1,41
21	28,89 ± 1,93	3,46 ± 0,53	55,38 ± 2,79	9,18 ± 1,10	66,37 ± 0,54
25	28,41 ± 2,57	3,35 ± 0,88	56,86 ± 3,51	8,78 ± 0,84	66,97 ± 1,78

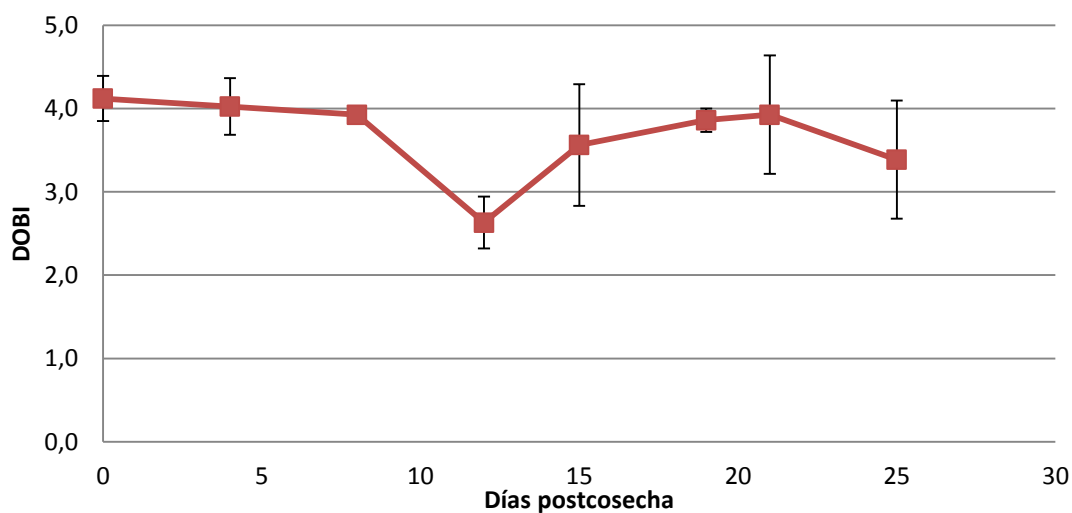
Por su parte la **Figura 22** muestra el porcentaje en composición de ácidos grasos para el aceite del híbrido (OxG) donde se ve que la relación es más o menos 33% ácidos grasos saturados 67% ácidos grasos insaturados, lo que es acorde con la teoría, indicando que el aceite del híbrido comparado con el aceite de genotipo *E. guineensis*, es más rico en ácidos grasos insaturados.



**Tabla 22.** Porcentaje de ácidos grasos saturados e insaturados para el genotipo híbrido (OxG)

#### 4.3.3. Evaluación del tiempo postcosecha sobre el DOBI.

En la **Figura 23** se presentan los valores del DOBI para aceite obtenido a partir del genotipo híbrido (OxG).



**Figura 23.** Valor del DOBI para el genotipo Híbrido (OxG) durante los días postcosecha

En este caso, se aprecia que en el híbrido el valor del DOBI es mucho más estable que para el genotipo *E. guineensis* (tenera), posiblemente esto se deba a que la concentración de carotenos para el híbrido (OxG) es aproximadamente el doble que para el otro genotipo como se indicó en la **Tabla 1**, por lo que la protección de los ácidos grasos insaturados fue mayor, por la cual no se presentó enrriamiento oxidativo.

En el día 12 se observa una drástica disminución del DOBI y luego se vuelve a estabilizar, sin embargo dicho valor sigue estando por encima de 2,30. La estabilidad del DOBI para este genotipo, pudo deberse a dos factores, el primero a que la integridad celular del fruto del híbrido se mantuvo más que la del otro genotipo por lo que la compartimentación celular ayudo a disminuir la oxidación de los carotenoides, y la segunda se le pueda atribuir al efecto de la composición lipídica.

Nuevamente se observa que las desviaciones estándar de los resultados correspondientes a la formación de AGL y la actividad lipásica son elevadas, demostrando, que entre cada repetición hay diferencias significativas, tal como se señalan a continuación.

#### **4.4. COMPARACIÓN ENTRE REPETICIONES PARA EL HÍBRIDO (OxG).**

##### **4.4.1. Efecto del manejo del fruto de palma sobre la actividad lipásica y formación de ácidos grasos libres.**

Para esta parte del estudio se hizo exactamente lo mismo que en el caso del genotipo *E. guineensis* (tenera) como se observa en la **Figura 24**. Las condiciones de las repeticiones fueron: la repetición 1 ( $R_1$ ) bajo la sombra, la repetición 2 ( $R_2$ ) protegida parcialmente y la repetición 3 ( $R_3$ ), al sol. Los días de estudio fueron los necesarios hasta que la actividad lipásica fuera mínima.



Racimos



Espigas



R<sub>1</sub>

R<sub>2</sub>

R<sub>3</sub>

**Figura 24.** Obtención de las repeticiones y condiciones en campo para el híbrido (OxG).

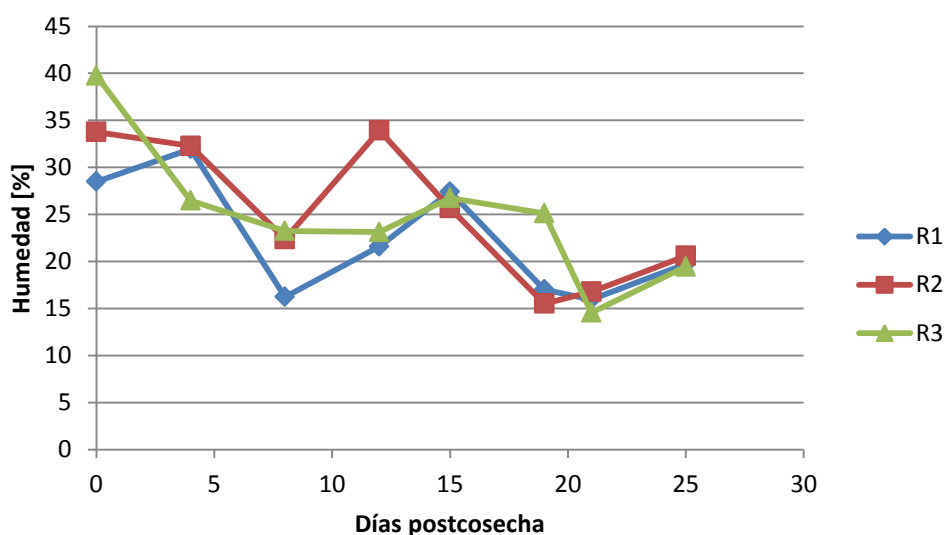
En la **Tabla 8** se presentan los valores obtenidos para las tres repeticiones del híbrido (OxG) al igual como se hizo para el genotipo *E. guineensis* (tenera).

**Tabla 8.** Evolución de la formación de ácidos grasos libres, actividad lipásica y concentración de aceite en la postcosecha de frutos de palma de aceite para el genotipo híbrido (OxG).

<b>R<sub>1</sub></b>				
<b>Días</b>	<b>Humedad[%]</b>	<b>Actividad in situ*</b>	<b>AGL [%]</b>	<b>Concentración de aceite en el fruto[%]</b>
<b>0</b>	28,48	2,00	0,37	27,09
<b>4</b>	31,96	38,87	0,81	32,41
<b>8</b>	16,23	17,38	1,99	30,25
<b>12</b>	21,60	9,28	5,90	36,01
<b>15</b>	27,42	9,63	5,52	29,51
<b>19</b>	17,00	6,76	5,34	29,75
<b>21</b>	15,95	5,79	8,72	30,68
<b>25</b>	19,72	0	12,12	26,15
<b>R<sub>2</sub></b>				
<b>0</b>	33,75	0,78	0,37	38,58
<b>4</b>	32,27	10,93	0,79	29,06
<b>8</b>	22,37	31,80	3,21	32,20
<b>12</b>	33,93	22,70	2,95	29,89
<b>15</b>	25,67	31,40	4,62	34,61
<b>19</b>	15,52	17,50	5,24	42,83
<b>21</b>	16,77	11,53	7,29	33,80
<b>25</b>	20,59	0	9,80	35,56
<b>R<sub>3</sub></b>				
<b>0</b>	39,74	1,95	0,99	28,76
<b>4</b>	26,48	22,27	0,87	33,45
<b>8</b>	23,23	6,59	0,25	29,20
<b>12</b>	23,12	1,59	1,51	34,85
<b>15</b>	26,74	21,06	1,06	29,36
<b>19</b>	25,11	0	1,47	22,52
<b>21</b>	14,56	0	1,32	27,51
<b>25</b>	19,44	0	3,02	31,10

\* Actividad in situ = %AGL<sub>5°C</sub> - %AGL<sub>iniciales</sub>

Los resultados muestran que al aumentar el tiempo postcosecha disminuye el contenido de humedad (**Figura 25**). Este efecto es más marcado en los frutos que estuvieron expuestos al sol donde la pérdida de humedad alcanzo valores de 20.30% al cabo de 25 días de exposición (R<sub>3</sub>). En los frutos expuestos a la sombra (R<sub>1</sub>) fue de 8,76% mientras que en los expuestos parcialmente al sol (R<sub>2</sub>) fue de 13,16%, en el mismo lapso de tiempo. También se debe mencionar que las variaciones en la humedad se deben al clima que se presentó durante el tiempo que estuvieron los frutos a la intemperie, donde al parecer las eventuales precipitaciones ocasionaron que los frutos ganaran humedad en ciertos días.



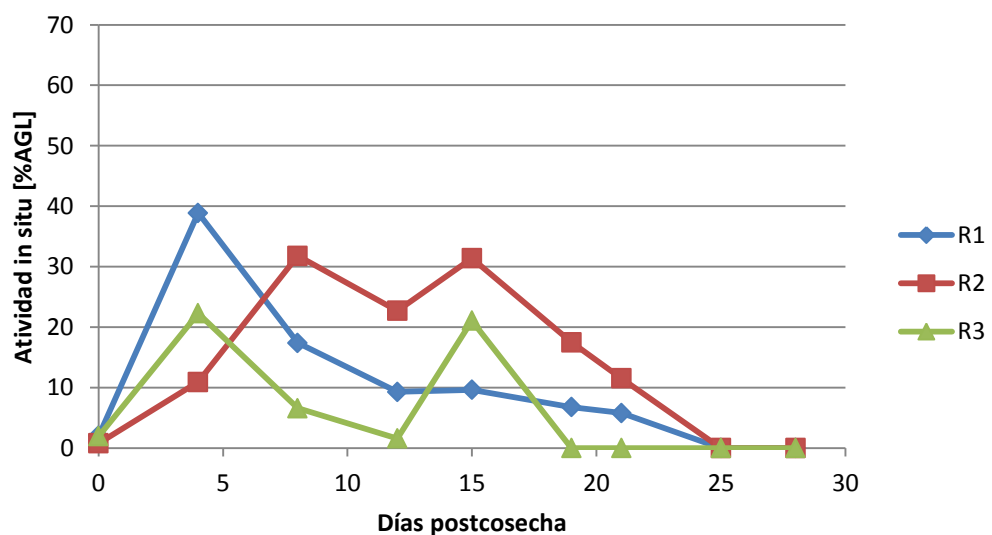
**Figura 25.** Comparación del porcentaje de humedad en cada una de las repeticiones del híbrido (OxG) durante el tiempo postcosecha.

Con respecto a la actividad, la **Figura 26** muestra que en el caso del híbrido (OxG) esta variable no se pone de manifiesto una vez se cosechan sus frutos, sino que esta aparece en el transcurso de los ocho (8) primeros días después del corte cualquiera que sea el caso, luego esta alcanza sus mínimos valores al cabo de 19 días para los frutos expuestos al sol (R<sub>3</sub>), 25 días para los

protegidos ( $R_1$ ) y los parcialmente protegidos ( $R_2$ ). Las actividades entre las tres repeticiones presentan diferencias de aproximadamente del 10% respectivamente.

La aparición de este primer pico de actividad después de la cosecha, probablemente se deba a que las membranas de las células no se han roto, impidiendo de esta manera que la lipasa inmersa en los compartimentos de las mismas se pongan en contacto con el aceite ocasionando su hidrólisis. Por su parte el rompimiento de las células ocurre por descomposición del fruto o por daños en su exocarpio.

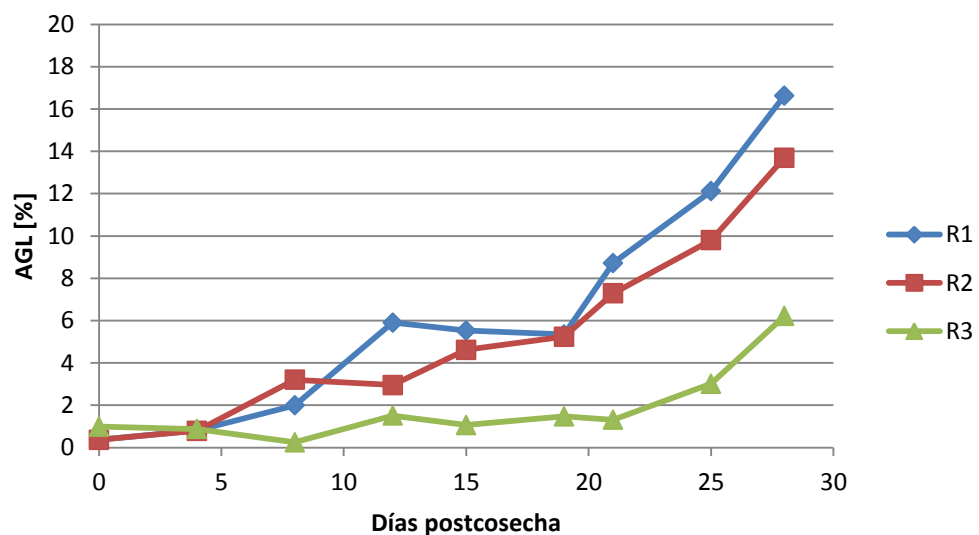
La diferencia en el comportamiento de la actividad lipásica con respecto al otro genotipo, es debido a que el exocarpio de la *E. guineensis* (tenera) es más susceptible al daño por microorganismos que aceleran su descomposición y al maltrato ocasionado durante su tiempo postcosecha; por lo que la inhibición de la enzima ocurre de una manera más rápida que en el híbrido (OxG), alcanzando su valor máximo para este último al cabo de 19 o 25 días dependiendo de las condiciones en las que se encuentren los frutos.



**Figura 26.** Comparación de la actividad in vivo en cada una de las repeticiones para el híbrido (OxG) durante el tiempo postcosecha.

A parte del máximo de actividad mencionado anteriormente, también se observa la presencia de otro máximo similar para los frutos expuestos al sol (R<sub>3</sub>) y para los protegidos parcialmente (R<sub>2</sub>) en el día 15 después de la cosecha. Su aparición posiblemente se deba a la influencia de la lluvia cuyo valor para ese día fue de 81,5 mm (1L/m<sup>2</sup>), ocasionando un aumento en la humedad de los frutos lo que probablemente condicione la actividad de la lipasa.

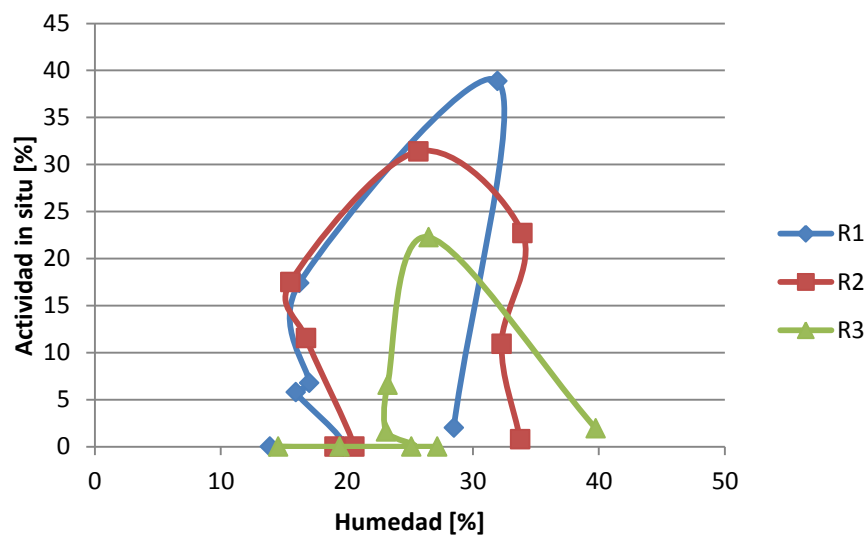
Por su parte la **Figura 27** muestra que la producción de AGL en el híbrido (OxG) tuvo valores bajos: los frutos expuestos al sol (R<sub>3</sub>) presentaron 2,03%; los que se mantuvieron a la sombra (R<sub>1</sub>) 11,75% y los que estaban parcialmente protegidos (R<sub>2</sub>) 9,43%; donde a los 8 días de cosechado los frutos se alcanza valores menores del 4% lo que le confiere al híbrido (OxG) una mejor calidad del aceite basada en este parámetro.



**Figura 27.** Comparación de la formación de AGL en cada una de las repeticiones para el híbrido (OxG) durante el tiempo postcosecha.

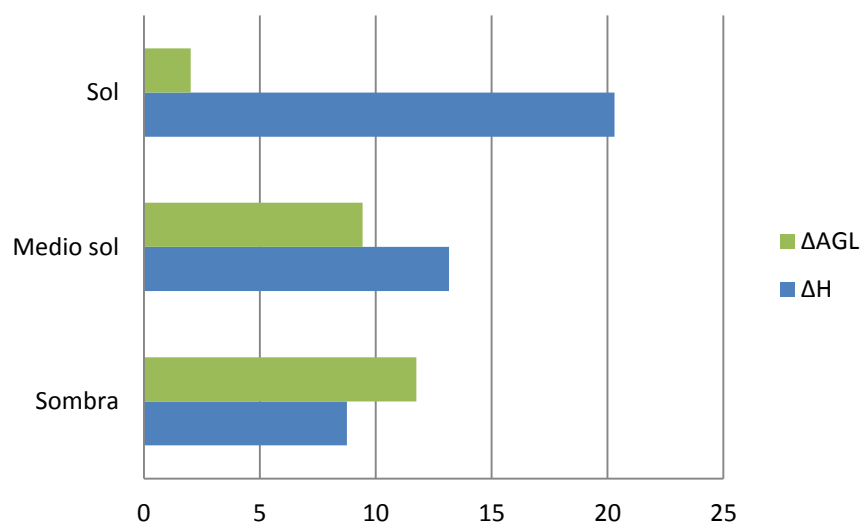
La figura anterior demuestra que al cosecharse los racimos de palma de aceite del híbrido (OxG), el efecto del corte no tiene ningún impacto sobre la actividad lipásica, ya que si esto fuera así, la figura en los mismos días del primer máximo de actividad mostraría un aumento considerable de los AGL.

Relacionando el contenido de humedad con la actividad lipásica y los ácidos grasos libres formados, se observa en la **Figura 28** que en cualquier caso, los máximos de actividad se presentan cuando existe entre 25 y 32% de humedad en el fruto, por encima y por debajo de este rango la actividad disminuye.



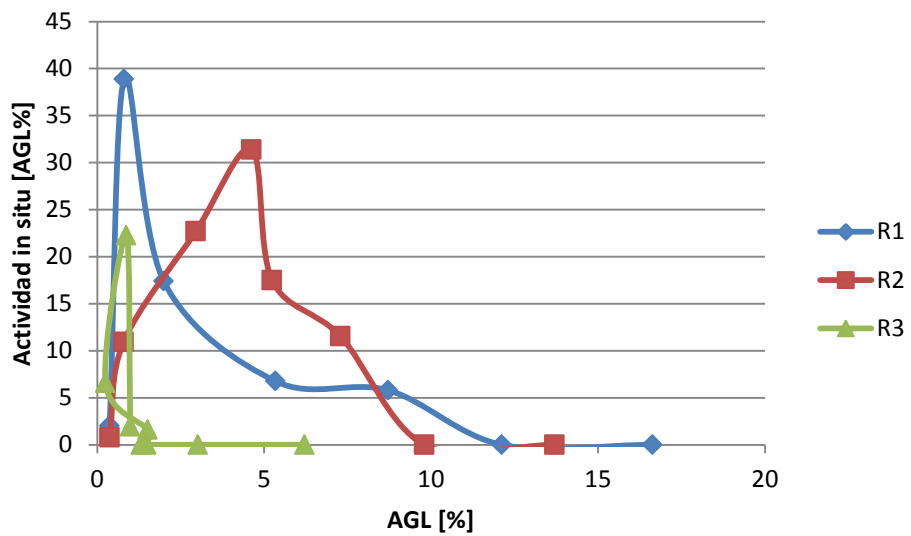
**Figura 28.** Relación entre la actividad lipásica in situ y el contenido de humedad de los frutos del híbrido (OXG).

Por su parte la **Figura 29** muestra que a mayor pérdida de agua menor es la producción de AGL, lo cual es coherente con el fenómeno interfacial anteriormente expuesto.



**Figura 29.** Relación entre la pérdida de agua y la producción de AGL en el genotipo híbrido (OxG).

De igual forma al comparar la evolución de la actividad lipásica con el tiempo postcosecha y la formación de ácidos grasos libres se encuentra que los frutos expuestos al sol ( $R_3$ ) presentaron una menor actividad lipásica y por ende menores concentraciones de AGL comparadas con los frutos parcialmente protegidos ( $R_2$ ) y con los que se encontraban a la sombra ( $R_1$ ) respectivamente (**Figura 30**).



**Figura 30.** Relación entre la actividad lipásica in situ y el porcentaje de AGL para el genotipo (OxG).

Finalmente el incremento de los AGL después de que la enzima se inactiva es debido al efecto de los microorganismos presentes en los frutos, sin embargo, este cambio no es tan marcado en el híbrido como lo fue para *E. guineensis* debido a que el OxG es más tolerante a ataques por los microorganismos y enfermedades (**Figura 31**).



**Figura 31.** Frutos de híbrido (OxG) en pudrición pasado 25 días.

#### **4.5. COMPARACIÓN DEL EFECTO POSTCOSECHA SOBRE LOS DOS GENOTIPOS DE PALMA DE ACEITE.**

Los resultados anteriores demuestran, que durante los 8 primeros días después de la cosecha, el contenido de AGL en el aceite es menor al 2% para ambos genotipos; sin embargo, para *E. guineensis* se observó un incremento drástico después del día 14, hasta alcanzar 18.4% en el día 21. Para los frutos de OxG, la formación de AGL observada en los frutos 21 días después de cosechados fue de 5.8%. Estos datos confirman la calidad superior del aceite obtenido a partir de genotipos OxG. En cuanto a la actividad lipásica, se observó que esta disminuyó por completo a los 15 y 25 días después de la cosecha para EG y OxG, respectivamente.

El contenido de humedad de los frutos del genotipo (OxG) inicialmente fue mayor del 7% que los frutos de *E. guineensis* (tenera), sin embargo el (OxG) pierde mayor humedad durante el tiempo postcosecha 18,23% transcurridos 21 días, mientras que el *E. guineensis* pierde 15,88% en el mismo lapso de tiempo. Esta diferencia de humedad repercute en el valor del fruto al momento de su compra en las plantas de beneficio.

Los resultados en este ensayo mostraron que bajo condiciones de buen trato al fruto, la formación de ácidos grasos libres se incrementó menos del 4% en el aceite extraído del fruto. En cambio, se observó un incremento en los AGL mayor del 5% después del día 8 cuando la lipasa está menos activa, esto sugiere que agentes externos al fruto también ayudan a la formación de AGL.

Por otra parte, el contenido de aceite en los frutos para el caso del genotipo *E. guineensis* (tenera) aumentó en 3,68% debido a la pérdida de humedad, mientras que en el caso del híbrido (OxG) permaneció constante.

En cuanto al perfil de ácidos grasos no se encontraron diferencias durante el tiempo postcosecha, sin embargo al calcular el índice de yodo para los dos genotipos se encuentra que para el caso de *E. guineensis* (tenera) hay un descenso del 2,39% transcurrido 21 días lo que indica que probablemente se

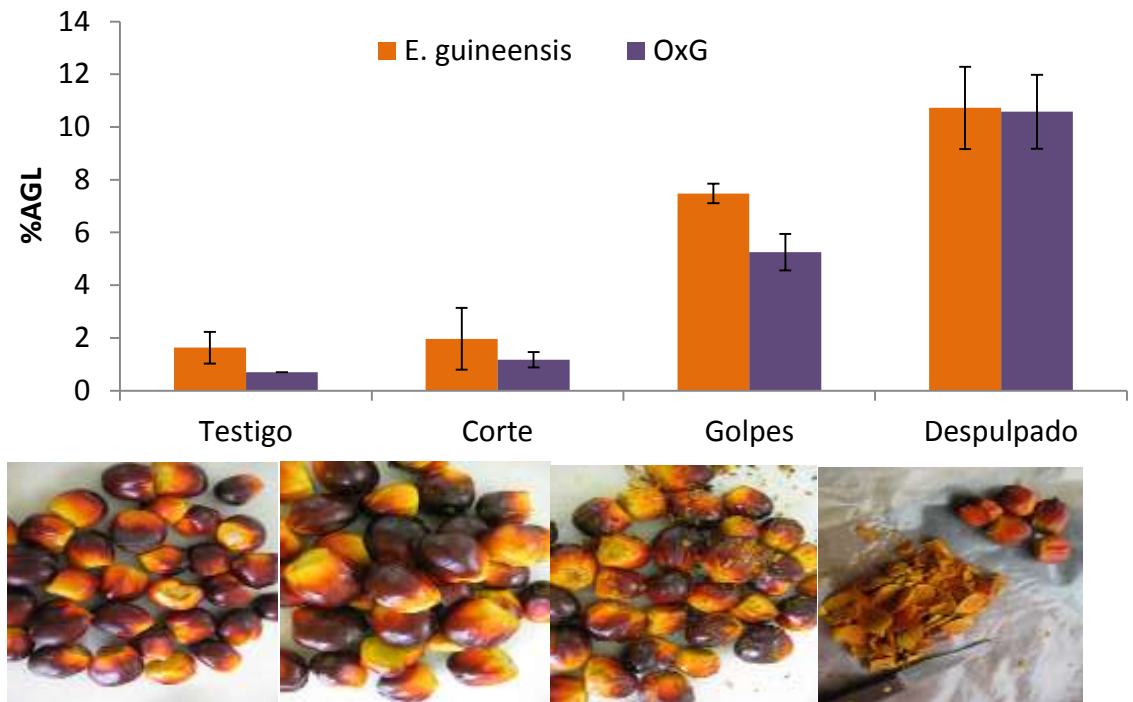
presentó un leve enrranciamiento oxidativo, mientras que para el mismo lapso de tiempo OxG no lo presentó.

Por su parte el DOBI mostró que la mayor resistencia a la producción de compuestos oxidados es el genotipo híbrido (OxG), que durante sus 25 días de evaluación no sobrepasó el valor de 2,30, mientras que *E. guineensis* (tenera) al cabo del día 11 arrojó un DOBI de 2,38.

#### **4.6. EFECTO DEL TRATAMIENTO POSTCOSECHA DEL FRUTO DE PALMA DE ACEITE SOBRE LA FORMACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES.**

Con el fin de dar una explicación a la formación de AGL que se presenta durante el proceso real de postcosecha de los frutos de palma de aceite, se observó que la formación de AGL después de la cosecha no coincide con la actividad lipásica observada en frutos intactos varios días después y en ensayos previos se observó que al remover el mesocarpio de los frutos se incrementaba la formación de AGL, se decidió verificar el supuesto de que el maltrato a los frutos tiene relación directa sobre el aumento en la concentración de AGL en el aceite.

En la **Figura 32** se presenta la formación de AGL tras someter los frutos de *E. guineensis* (tenera) e híbrido (OxG) a los diferentes tratamientos de daño del fruto. Los resultados obtenidos muestran que de acuerdo con el daño, se incrementa la formación de AGL y que esta es proporcional al grado de deterioro que presenta el tejido, el cual es mayor cuando el mesocarpio se remueve por completo. Frente a los tratamientos de daño en el fruto, el material híbrido (OxG) presenta menor formación de AGL que *E. guineensis*, a excepción del tratamiento de despulpado, donde no se observaron diferencias entre los dos genotipos. Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos previamente en este proyecto donde se demuestra que la lipasa es más activa en la especie *E. guineensis*.



**Figura 32.** Formación de AGL en frutos de *E.guineensis* e Híbrido sometidos a diferentes tratamientos de daño del tejido. Los resultados se presentan como la media desviación estándar para n=3

Con base en los resultados de este ensayo se deduce que el incremento en la formación de AGL en el procesamiento de los racimos de fruta fresca se debe principalmente al maltrato en los frutos y que el buen manejo postcosecha es un factor importante que muy seguramente aumentará la calidad del aceite crudo de palma.

## 5. CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos demuestran, que al cabo de 8 días postcosecha, el contenido de AGL en el aceite es menor al 2% para ambos genotipos; sin embargo, al cabo de 21 días para *E. guineensis* se observó un incremento de 18.4%, mientras que para los frutos de OxG la formación de AGL en este mismo lapso fue de 5.8%.

En cuanto a la actividad lipásica, se observó que esta disminuyó por completo a los 15 y 25 días después de la cosecha para EG y OxG respectivamente, mientras que por su parte el contenido de humedad descendió 18% para el híbrido (OxG) y 16% para *E. guineensis* al cabo de 21 días, lo que sugiere que existe una relación entre la formación de AGL, el contenido de humedad y la actividad lipásica para ambas especies, donde el incremento de la acidez depende principalmente de la actividad de la enzima y que esta se inactiva por la pérdida de agua; sin embargo hay que tener en cuenta que desde el punto de vista económico aunque se logre disminuir los AGL por la pérdida de humedad, el valor de los frutos al momento de su compra se ve afectado, debido a que su precio se negocia con base en el peso de los mismos.

En cuanto a los demás parámetros de calidad se demostró que el contenido de aceite en los frutos para el caso del genotipo *E. guineensis* (tenera) aumento en 3,68% debido a la pérdida de humedad. También que los perfiles de ácidos grasos no presentaron alteraciones durante el tiempo postcosecha; sin embargo el índice de yodo para el caso de *E. guineensis* (tenera) mostró un descenso del 2,39% transcurrido 21 días lo que indica un leve enranciamiento oxidativo, el cual no se evidenció en OxG.

Por su parte el DOBI para el genotipo híbrido (OxG) durante sus 25 días de evaluación no sobrepaso el valor de 2,30, mientras que *E. guineensis* (tenera) al cabo del día 11 arrojó un DOBI de 2,38. Con lo que finalmente se demuestra

que existe una interacción entre las características que determinan la calidad del aceite y la actividad lipásica, ya que una relación adecuada entre humedad y triglicéridos conlleva a una interacción más eficaz de la enzima con el sustrato, lo que genera el aumento de los AGL; quienes a su vez tornan a los compuestos insaturados en compuestos más inestables acelerando su oxidación, afectando la capacidad de blanqueo del aceite y el rendimiento de la concentración de aceite en el fruto, viéndose en todos los casos un efecto más acusado en el genotipo *E. guineensis* que en OxG.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, en caso de que la planta de beneficio presente algún retraso en la extracción del aceite de los frutos, el híbrido (OxG) pueden esperar para ser procesado alrededor de 15 días sin verse un efecto notorio en su calidad, mientras que para *E. guineensis* su tiempo de espera solo puede llegar a ser de 8 días.

Los resultados en este proyecto mostraron que bajo condiciones de buen trato al fruto, la formación de ácidos grasos libres se incrementó menos del 4% en el aceite extraído. En cambio, se observó un incremento en los AGL mayor del 5% después del día 8 cuando la lipasa está menos activa, esto sugiere que agentes externos al fruto también ayudan a la formación de AGL.

Finalmente Los resultados demostraron que el incremento en la formación de AGL en el procesamiento de los racimos de fruta fresca se debe principalmente al maltrato en los frutos y que el buen manejo postcosecha es un factor importante que muy seguramente aumentará la calidad del aceite crudo de palma.

## 6. RECOMENDACIONES.

Es importante tener en cuenta que los resultados obtenidos son en su conjunto, son estudios preliminares sobre la correlación existente sobre el tiempo postcosecha, los parámetros de calidad y como estos se ven afectados por la presencia de la enzima u otros factores externos a los frutos del aceite de palma. Por lo que se recomienda hacer estudios posteriores sobre este tema.

Como se evidenció el efecto del tiempo postcosecha sobre calidad del aceite tiene un gran impacto en los materiales genéticos evaluados, ya que el retraso en el procesamiento de los frutos puede acarrear pérdidas sobre el precio base del aceite, debido al deterioro de la calidad acusada por factores tales como el incremento de AGL siendo este mayor en el caso de *E. guineensis*, mostrando que el híbrido es la especie genética de mayor relevancia en cuanto a calidad se trata y se recomienda que las metas de mejoramiento en la calidad deben orientarse hacia ese tipo de materiales con alta resistencia al deterioro.

También se recomienda que en el híbrido no vale la pena hacer seguimiento con DOBI debido a que por contener mayor contenido de carotenos, que son los encargados de preservar los ácidos grasos insaturados se sugiere buscar otro tipo de prueba que contribuya a asegurar la calidad este genotipo.

## BIBLIOGRAFÍA.

- ABIGOR,D., OPUTE,F., OPUKU,A., and OSAGIE,A. Partial purification and some properties of the lipase present in oil palm (*Eleaeis guineensis*) mesocarp. In: Journal of Science and Food Agriculture. 1985. P. 599-606
- AOCS Official Method Ce 2-66 (Preparation of Methyl Esters of Long-Chain Fatty Acids).
- \_\_\_\_\_ Ce 1-62 (Fatty Acid Composition by Gas Chromatography)
- \_\_\_\_\_ Ca 5a-40, Free fatty acids.1993
- BALCAO, V.M, PAIVA AL, MALCATA FX. Bioreactors with immobilized lipases: state of the art. Enzyme MicrobTechnol. 1996. P. 392–416.
- BASTIDAS, PEÑA, REYES, PÉREZ y TOLOSA. Comportamiento agronómico del cultivar híbrido RC1 de Palma de aceite (*Elaeis oleífera* x *Elaeis guineensis*) x *Elaeis guineensis*. Revista Palmas .2007. P. 5-11.
- BERGER K.G. Problems in palm oil handling and storage. Malasya, Kuala Lumpur. In: Proc. Regional Workshop (Palm oil mill technology and effluent treatment) 1983. P. 112-118.
- CAMACHO-PÁEZ, B. Obtención de lípidos estructurados por acidólisis con lipasas inmovilizadas. España. Tesis Doctoral (Universidad de Almería) 2000.

- CHONG C.L. Storage, handling and transportation of palm oil and palm oil products. Malasya, Kuala Lumpur. In: Advances in oil palm research Vol. 2 Ed. Y. Barison, B.S. Jalani Si Chan K. W . 2000. P. 806-844.
- CHOOI C. F. Sterilised palm fruit bunch threshing. In: Proc. Regional Workshop "Palm oil mill technology and effluent treatment", Palm Oil Res. Malasya, Kuala Lumpur. 1983. P. 17-27.
- CLEGG A.J. An analysis of damage incurred by oil palm bunches during handling and transport. Malasya, Kuala Lumpur. In: Advances in oil palm cultivation. Ed. R.L. Wastie & D.A. Earp.1973. P. 421-431.
- CORLEY R.H.V, and LAW, I.H. Ripening, harvesting and oil extraction. Kuala Lumpur. ED. Planter. 2001. P. 507-524.
- CORLEY R.H.V, TINKER P.B. The palm oil. Malasya .4<sup>th</sup> ED. 2009. P. 485-503.
- DEGRAAF J. Composition, Quality and End Uses of Palm Oil. In: Oil Palm research. Amsterdam. ED. R.H. V. Corley, J.J. Hardon 8c B. J. Wood. 1976. P. 493-503.
- DESASSIS A. L'acidification de l'huile de palme. Oléagineux. Malasya, Kuala Lumpur. 1957. P. 525-534.
- EVANS, S. Notas taxonómicas, etnobotánicas y de nomenclatura sobre la *Eleais Guinensis*. Colombia. Revista Palmas. 2000. P. 17-21.
- FEDEPALMA. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite- Fedepalma. Tabla de bonificación al aceite de palma crudo en el mercado local Colombiano. Colombia. 2006. P. 1-10.

- \_\_\_\_\_ Fedepalma. Oferta y consumo aparente del aceite de palma en Colombia, in *Anuario Estadístico*. Colombia. 2009 .
- GARCÍA. Tesis doctoral “Hidrólisis enzimática de triglicéridos en emulsiones O/W. aplicación a formulaciones de detergentes.” Universidad de granada, Facultad de Ciencias, Departamento de Ing. Química Granada. España. Editorial de la Universidad Granada. 2005. P.29 -34.
- HARTLEY C.W.S. The palm oil. London. ED. Longman 3<sup>rd</sup> Ed. 1988.
- HENDERSON,J. and OSBORNE,D. Lipase activity in ripening and mature fruit of the oil palm. Stability in vivo and in vitro. *Phytochemistry*.1991. P. 1073-1078.
- JANSSEN, P.H, MONK C.R, MORGAN, H.W. A thermophilic, lipolytic *Bacillus* sp, and continuous assay of its p-nitrophenyl-palmitate esterase activity. *FEMS MicrobiolLett*. 1994. P.195–200.
- LONCIN, M. Study on pail kernel acidification during storage. Malasya, Kuala Lumpur. *Oleagineaux* Vol. 7. 1952. P. 695
- LORTIE R. Enzyme catalyzed esterification. Malasya, Kuala Lumpur. *Biotech. Adv*.1997.P. 1-15.
- MAYCOCK J. H. Innovations in palm oil mill processing and refining. In: *Proc. Symp. “New developments in palm oil”* Ed. by K. G. Berger, Palm Oil Res. Inst. Malasya, Kuala Lumpur. 1990. P.23-37.

- MOHANKUMAR C, ARUMUGHAN C, KALEYSARAJ R. Histological localization of oil palm fruit lipse. J. AMER Oil CChem Soc. Oleagineux Vol. 67 1990. P.665.
- NGANDO EBONGUE,G., DHOUIB,R., and CARRIÈRE,F. Assaying lipase activity from oil palm fruit (*Elaeis guineensis Jacq.*) mesocarp. Plant Physiological Biochemistry . 2006. P. 611-617.
- OLIE, J.J. Some factors affecting the bleachability of palm oil. In: The Quality and marketing of palm oil products. Malasya, Kuala Lumpur. ED. P.D. Turner.1969. P.32-41.
- OO, KC. V. Changes in fatty-acid composition of de lipid classes in the developing oil palm mesocarp. Oleagineux Vol. 6.1981. P.413-416.
- PARAKH, R.L. PATHAK, M.P. The palm oil refining and palm products manufacturing- an experience. In: Proc. Int. Planters Conf. "Planation tree crops in the new millenium: The way ahead. Malasya Kuala Lumpur ED. E. Pushparajah 2000. P. 835-842.
- PRADA, AYALA, DELGADO, RUIZ, and ROMERO. Effect of Fruit Ripening on Content and Chemical Composition of Oil from Three Oil Palm Cultivars (*Elaeis guineensis jacq.*) Grown in Colombia. American Chemical Society ACS Publications. Journal of Agricultural and Food Chemistry . 2011. P. 10136–10142.
- RAMÍREZ. Híbrido de la palma: una alternativa a la soya. Colombia Palmas Vol. 25 No. Especial tomo I, 2004. P. 295-300.
- RÍOS, R. Control de calidad de la cosecha. Santo Domingo de los Colorados, Ecuador. ED. ANCUPA. 1999. P. 3.

- SAMBANTHAMURTHI, R., RAJANAIDU, N. and S. HasnahParman. Lipid Catabolism: Complex Lipid Degradation. Lipid Catabolism Colloquium Organized and Edited by J. Harwood (School of Biosciences, Cardiff University) 14th International Symposium on Plant Lipids held at Cardiff University. 2000. P. 769-770.
- \_\_\_\_\_, CHONG, C.L, O.O K.C, YEOH K.H, RAJAN, P. J. Oil palm (*Elaeis guineensis*) Protoplasts: isolation, culture and microcallus formation. Plant Cell Tissue Organ Culture. Malasya Kuala Lumpur. 1991. P. 1199-205.
- \_\_\_\_\_, R., O.o K.C and H, PARMAN S.H. Factors affecting lipase activity in *Elaeis guineensis* mesocarp. Malasya Kuala Lumpur. Plant Physiol Biochem. 1995. P.353-9.
- \_\_\_\_\_, R, RAVIGADEVI, SUNDRAMKALYANA, TAN, Yew-Ai. Chemistry and biochemistry of palm oil Palm Oil Research. Malaysia, Kuala Lumpur. Progress in Lipid Research. 2000 P. 507-558.
- SIEW W.L. Analysis of palm and palm kernel oils. In: Advances in oil palm research. Malasya Kuala Lumpur. Vol. 2. ED. Y. Basiron, B. S. Jalani & Chan K.W. 2000. P. 895-934.
- TOMBS, STUBBS JB. The absence of endogenous lipase from oil palm mesocarp. J. Sci. Food Agric. 1982. P.892-7.