



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPUS TABASCO

PROGRAMA PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

**CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS EN LA
PRODUCCIÓN DE ACEITE DE PALMA AFRICANA**

MIRIAM CASTRO GUTIÉRREZ.

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO, MÉXICO


2015

La presente tesis, titulada: **Caracterización de residuos sólidos y líquidos en la producción de aceite de palma africana**, realizada por la alumna: Miriam Castro Gutiérrez, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:


MAESTRA EN CIENCIAS

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
Dr. Armando Guerrero Peña

ASESOR: 
Dr. Adolfo Bucio Galindo

ASESOR: 
Dr. Joel Velasco Velasco

ASESOR: 
Dr. Fidel Ulín Montejo

H. CARDENAS, TABASCO, MÉXICO, 19 DE JUNIO DE 2015

Caracterización de residuos sólidos y líquidos en la producción de aceite de palma africana

Miriam Castro Gutiérrez

Colegio de Postgraduados, 2015

La palma de aceite africana cuenta con un fruto oleaginoso de buenas cantidades de aceite, el cual necesita un proceso de extracción, donde se generan grandes cantidades de residuos sólidos y líquidos; ignorándose su composición química.

En esta investigación se estudian bajo el punto de vista físico y químico, los tres tipos de residuos sólidos (raquis, fibra de fruto y cascarilla) y líquidos generados en la planta procesadora de aceite AGROIPSA en un lapso de 5 días de un ciclo de producción de la empresa, que va desde la esterilización hasta la emisión del residuo, esto con el objetivo de una caracterización. Los parámetros evaluados en los desechos sólidos fueron humedad, cenizas, grasas, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, FDN, FDA, proteína, hemicelulosa, lignina y celulosa; en las muestras líquidas fueron grasas, P, N, DQO, DBO, N+NH₃, N+NO₃+NO₂, temperatura, pH, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales.

Se encontró que el raquis cuenta con buenas cantidades de nutrientes (N,P, K) para la utilización en compostas, así como suficientes cantidades de celulosa y hemicelulosa para la generación de papel, en general el raquis generado por la industria aceitera cuenta con un alto potencial para el uso en biorefinerías. Las lagunas tienen un alto índice de remoción, lo cual se observa en el tratamiento de estabilización.

Characterization of solid and liquid waste in the production of african palm oil

Miriam Castro Gutiérrez

Colegio de Postgraduados, 2015

The african oil palm has an oleaginous fruit, it contains high amounts of oil, and requires an extraction process, where large quantities of solid and liquid waste are generated with unknown chemical composition.

The aim of this research was to study the physical and chemical characteristics of solid wastes (empty fruit bunch, fruit fiber and sell) and liquid waste generated in the oil processing plant AGROIPSA in a production period from raw material to waste disposal (five days) for one production cycle, from sterilization to waste emission.

In solid waste samples, studied parameters were moisture, ash, oil, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn, FDN, FDA, protein, hemicellulose, lignin and cellulose; in liquid waste samples, parameters oil, P, N, DQO, DBO, $N+NH_3$, $N+NO_3+NO_2$, temperature, sedimentable solids and total suspended solids. Were assessed It was found that empty fruit bunch not only has high amounts of the nutrients (NPK) useful for composting, but also has enough amount of cellulose and hemicellulose for manufacturing sheets of paper in general, the empty fruit bunch generated for oil industry has a high potential for the use in biorefineries. The ponds have a high removal rate which are observed in the stabilization treatment.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a las personas más importantes en mi vida:

A Dios por ser el creador en excelencia y por haberme permitido despertar cada mañana.

A mis hijas por ser la mayor alegría de mi vida, mi compañía en las buenas y bendición en las malas, Evelyn y Katya gracias, las amo. A ti por el apoyo moral y emocional, gracias Richard.

A mis padres que siempre me han brindado un apoyo incondicional, sus sabias palabras me han ayudado a ser y forjarme cada día, gracias papas los amo.

A mis hermanos por tener siempre cariño y apoyo incondicional para conmigo.

Al Dr. Armando por ser la columna vertebral de este trabajo, por apoyarme y confiar en mi y por todos los conocimientos transmitidos.

A los Doctores Francisco, Adolfo, Joel, Fidel, Emilio por ser parte importante en mi preparación por las observaciones y aportaciones pertinentes, gracias.

A mis profesores, en especial al Dr. Juan Manuel Zaldivar por los conocimientos transmitidos y por su amistad.

A mis amigos, Alex, Maribel, Andrés, Mathias, Irma, Rodolfo y Carlos, por brindarme su amistad, por compartir estrés, tareas, apuntes y cariño, gracias.

Al técnico Esteban por su apoyo, su enseñanza y sobre todo su amistad.

Agradecimientos

A Dios:

Por regalarme la vida y todo lo que soy.

A mi familia:

Por la motivación, por estar siempre conmigo y por su apoyo incondicional.

A mi consejo:

Por instruirme, por ser mi apoyo, por la confianza y por todos los consejos para la realización de esta tesis.

A mis profesores:

Por transmitirme su conocimiento y forjar una mejor profesionista.

Al apoyo técnico:

Al técnico del laboratorio por su ayuda, entrenamiento, y enseñanza.

A mis compañeros y amigos:

Por su afecto, sus críticas y apoyo incondicional recibido.

Al colegio de postgraduados:

Por permitirme desarrollarme en su campus y contribuir con las instalaciones en desarrollo de este trabajo.

Al CONACYT:

Por otorgar la beca con la cual se cursó el postgrado.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVO GENERAL	2
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3	HIPOTESIS GENERAL	2
4	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
4.1	ANTECEDENTES DE LA PALMA AFRICANA	3
4.2	USOS COMESTIBLES	5
4.3	USOS NO COMESTIBLES.....	6
4.4	PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE PALMA AFRICANA Y RESIDUOS.....	6
4.5	DESCRIPCIÓN DE LOS RESIDUOS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA AFRICANA	7
4.6	PROBLEMAS AMBIENTALES DE LA INDUSTRIA ACEITERA	11
5	MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
5.1	MATERIA PRIMA.....	13
5.1.1	Evaluación de la materia prima	13
5.2	RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTOS DE LAS MUESTRAS.	13
5.3	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS.....	14
5.3.1	Determinaciones químicas de residuos sólidos.....	14
5.3.2	Determinaciones químicas de residuos líquidos.....	17
5.3.3	Determinaciones físicas de residuos sólidos	19
5.3.4	Determinaciones físicas de residuos sólidos y líquidos	19
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
7	BIBLIOGRAFÍA.....	66
8	ANEXOS	78

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Condiciones climáticas y de suelos para el cultivo de palma africana.....	3
Cuadro 2. Situación actual de la palma de aceite en México.	4
Cuadro 3. Generación de residuos provenientes de la extracción de aceite de palma. 12	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama del proceso de extracción de aceite (planta procesadora AGROIPSA).....	7
Figura 2. Gráfica de <i>Box-Plot</i> de contenido de ceniza (%) en los residuos sólidos.....	21
Figura 3. Gráfica de <i>Box-Plot</i> de contenido de fósforo (%) en los residuos sólidos.	23
Figura 4. Gráfica de <i>Box-Plot</i> de contenido de nitrógeno (%) en los residuos sólidos. .	24
Figura 5. Gráfica de <i>Box-Plot</i> de contenido de grasa (%) en los residuos sólidos.	26
Figura 6. Gráfica de <i>Box-Plot</i> de contenido de potasio (%) en los residuos sólidos.	27
Figura 7. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de calcio (%) en los residuos sólidos.	29
Figura 8. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de magnesio (%) en los residuos sólidos.	30
Figura 9. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de hierro (%) en los residuos sólidos.	32
Figura 10. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de cobre (%) en los residuos sólidos.	33
Figura 11. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de Zinc (%) en los residuos sólidos.	35
Figura 12. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de manganeso (%) en los residuos sólidos.....	36
Figura 13. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de FDN (%) en los residuos sólidos.....	38
Figura 14. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de FDA (%) en los residuos sólidos.	39
Figura 15. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de hemicelulosa (%) en los residuos sólidos.....	41
Figura 16. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de lignina (%) en los residuos sólidos....	42
Figura 17. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de celulosa (%) en los residuos sólidos.	44
Figura 18. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de grasa (mg L^{-1}) en los residuos líquidos.	45
Figura 19. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de fósforo (mg L^{-1}) en los residuos líquidos.....	47
Figura 20. Gráfica de <i>Box-Plot</i> en contenido de nitrógeno total (mg L^{-1}) en los residuos líquidos.....	49
Figura 21. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de DQO (mg L^{-1}) en los residuos líquidos.	51

Figura 23. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de nitrógeno amoniacal (mg L^{-1}) de los residuos líquidos.	53
Figura 24. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de humedad (%) en los residuos sólidos.	55
Figura 25. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de demanda bioquímica de oxígeno (mg L^{-1}) en los residuos líquidos.	57
Figura 26. Gráfica de <i>Box-Plot</i> del contenido de sólidos suspendidos (mg L^{-1}) en los residuos líquidos.	59
Figura 27. Gráfica de <i>Box-Plot</i> de los datos de pH, en los residuos líquidos.	61

Caracterización de residuos sólidos y líquidos en la producción de aceite de palma africana

1 INTRODUCCIÓN

La palma de aceite en algunos países africanos es un cultivo redituable en la actualidad, siendo un incentivo para que México tuviera un crecimiento en superficie de las plantaciones agrícolas y por ende, la generación de plantas para el procesamiento de los racimos de fruto fresco de la palma. Sin embargo, en todo proceso agroindustrial se generan residuos, y la cantidad de tales va en proporción de la producción, en algunas industrias se carece de conocimiento para la elaboración de productos a base de residuos, la caracterización química y física dan pauta para detectar el uso potencial hacia coproductos agroindustriales.

La contaminación de la industria aceitera está considerada de bajo riesgo, pues sus principales desechos consisten en los aceites perdidos en el proceso de extracción, esta industria genera grandes cantidades de residuos fibrosos, ruidos y olores desagradables, junto con efluentes líquidos que no pueden ser vertidos al alcantarillado público y/o cuerpos de aguas naturales, debido al riesgo de solidificación por presencia de grasas; estos deben ser tratados para evitar ser fuente de contaminante. Uno de los usos de las fibras es como material de combustión de calderas.

Debido a lo anterior, la industria tiene mermas en sus ganancias, debido a los constantes tratamientos y realización de análisis para cumplir con los límites permisibles marcados por las autoridades competentes para reducir el daño ambiental.

2 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar física y químicamente los residuos generados durante el proceso de extracción de aceite de palma africana, y sugerir su uso agroindustrial.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Caracterizar químicamente los residuos sólidos y líquidos.
- ❖ Caracterizar físicamente los residuos sólidos y líquidos.
- ❖ Realizar una propuesta de uso agroindustrial de los residuos.

3 HIPOTESIS GENERAL

La caracterización de los residuos del proceso de extracción de aceite de palma africana nos dará información confiable para hacer recomendaciones de usos en el sector agrícola.

Los residuos de palma de aceite contienen sustancias químicas que los hace atractivos para incorporarse como ingredientes alimenticios para animales, y fertilizantes de suelo.

4 REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 ANTECEDENTES DE LA PALMA AFRICANA

La palma africana (*Elaeis guineensis*) es una planta originaria de la costa de Guinea en el oeste de África. En centro y Sudamérica tienen décadas de estar recibiendo sus beneficios gracias a la adecuada explotación del potencial productivo. El valor principal de la planta es el aceite que se obtiene de ésta, del cual se pueden lograr una serie de beneficios para la salud sin dejar de lado que podría convertirse en la oleaginosa número uno a nivel mundial, además de que terminaría con el déficit de aceites que existe actualmente en México (Velázquez, 2010).

Este cultivo crece en zonas tropicales debido a que cuentan con los requerimientos que necesita la planta (Cuadro 1), también se destaca que a los 3 años puede iniciar la producción, y prolongarse hasta 50 años; aunque el mayor rendimiento se observa entre los 7 y 10 años y se prolonga hasta los 25 años (Faisal y Mahidin, 2013). Mingorance *et al.* (2004) nos describe a esta planta como un cultivo oleaginoso que produce mayor cantidad de aceite por unidad de superficie respecto a otras semillas (olivo), pudiendo cada palma producir entre 80 y 230 kg de racimos por cosecha; y por hectárea año⁻¹, puede producirse 20 t de racimos. De los cuales se extrae hasta el 25 % de aceite de palma (5 t) y el 5 % de aceite de palmiste (1 t).

Cuadro 1 Condiciones climáticas y de suelos para el cultivo de palma africana.

Latitud	Entre 15° de latitud norte y 15° de latitud sur
Altitud	Hasta 500 m.
Terrenos	Con pendientes menores a 15°
Suelos	Francos, franco-arcillosos, sueltos y profundos de buena permeabilidad y bien drenados, con pH neutro o moderadamente ácido
Temperatura	Máx. 33 °C y Mín. 22 °C
Luminosidad (horas luz año ¹)	Superior a 1500 h
Lluvia	1 100 mm.
Humedad relativa	80%

Fuente: Mingorance *et al.* (2004)).

La capacidad de las plantas extractoras depende de la adquisición de fruta fresca de la empresa. Sin embargo, no se obtiene una producción uniforme durante todos los meses. En los meses con más precipitación pluvial es cuando se obtienen los mayores volúmenes de producción de fruta, y por ende, de extracción de aceite. Una alternativa para incrementar la productividad en el eslabón de producción son los sistemas de riego (SAGARPA, 2004).

La primera plantación en México se dio en Chiapas en 1952, con semillas provenientes de Costa Rica, pero fue hasta 1996 cuando el gobierno estructuró un programa de plantaciones en el sur y sureste de México, concretándose los primeros plantíos en los estados de Chiapas y Campeche, e incorporándose los estados de Tabasco y Veracruz en los años posteriores (Leal, 1989).

Cuadro 2. Situación actual de la palma de aceite en México.

Ubicación	Sup. Sembrada (ha)	Sup. Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Valor de producción (miles de pesos)
Campeche	3 543.0	1 321.0	15 634.6	11.8	21 607.8
Chiapas	38 525.0	20 886.9	400 175.2	19.1	665 652.8
Tabasco	5 925.3	4136.3	49 488.8	11.9	86 124.6
Veracruz	6 436.0	6 356.5	41 711.8	6.5	77 237.2

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2011), disponible en http://www.siap.gob.mx/agricola_siap/icultivo/index.jsp.

En México, el cultivo se ha establecido esencialmente en la región sureste, siendo el estado de Tabasco el tercer productor a nivel nacional (SENER/ BID/ GTZ, 2006). Debido al incremento de las plantaciones de palma de aceite africana y de plantas procesadoras de esta, ha surgido un nuevo campo de estudio, el cual está liderado por la fabricación de biocombustibles; siendo el principal, el biodiesel seguido del bioetanol como nos indica Masera *et al.* (2006); dejando a un lado posibles ceras, jabones, detergentes lubricantes entre otros. Planteando la utilización de desechos se

implementa un intento de manejo, ya que los aceites vírgenes son usados y comercializados en la industria alimentaria.

Cabe destacar que en un estudio realizado por SAGARPA (2006), el costo de producción de dichos energéticos es superior a los producidos con petróleo; por lo cual se necesitan mayores investigaciones en el campo y una estrategia de implementación masiva ya que desde el punto de vista ambiental las diferencias en cuanto a contaminación y reciclaje son grandes.

La industria aceitera en México, para elaborar sus productos, depende en gran medida de las importaciones de oleaginosas, tan solo en el periodo 2010-2011 se reportó la importación de 5.16 millones de toneladas métricas de semillas de oleaginosas, lo que genera una importante fuga de divisas (Santacruz *et al.*, 2012).

Dentro del estado de Tabasco solo están registrados 8 de los 17 municipios con plantaciones de Palma de aceite, siendo en orden decreciente los más representativos Tenosique (43 %), Balancán (27 %), Emiliano Zapata (9 %) y Jalapa (9 %). En lo que concierne a la producción se tiene a Jalapa (32 %), Balancán (22 %), Tenosique (18 %), y Tacotalpa (12 %) (SIAP, 2011).

4.2 USOS COMESTIBLES

Actualmente, el aceite de palma es el segundo aceite más consumido en el mundo y se emplea como aceite de cocina y para elaborar productos de panadería, pastelería, confitería, heladería, sopas instantáneas, salsas, diversos platos congelados y deshidratados, cremas no lácteas para mezclar con el café.

El contenido de sólidos grasos del aceite de palma le dá a algunos productos como margarinas y shortenings una consistencia sólida/semisólida sin necesidad de

hidrogenación. En un proceso de hidrogenación parcial se forman ácidos grasos trans, que tienen un efecto negativo en la salud.

4.3 USOS NO COMESTIBLES

El uso no comestible, es ampliamente utilizado para la fabricación de jabones y detergentes, también en la elaboración de grasas, lubricantes y secadores metálicos, destinados a la producción de pintura, barnices y tintas.

Debido a la similitud en la composición de ácidos grasos, el aceite de palma y de palmiste ofrece una alternativa, buena y competitiva al aceite de coco y a la manteca de origen animal, respectivamente, como material crudo para la elaboración de jabón. Una ventaja añadida de utilizar productos a partir del aceite de palma en tales aplicaciones es su biodegradabilidad, contribuyendo de esta forma a un impacto menos agresivo al medio. Sustentabilidad ambiental (Jalani y Ahmad, 1997).

4.4 PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE PALMA AFRICANA Y RESIDUOS

El proceso inicia con la recepción de fruta, la cual es pesada y almacenada, para su pronto proceso (no más de tres días). Una vez en fábrica, la fruta es esterilizada y desinfectada mediante ciclos de 20 t. Se procede al desfrutado, donde es separado el fruto del racimo, dando paso al primer desecho sólido denominado raquis, el cual representa el 23 % de la fruta. El fruto es trasladado a los digestores donde se macera con agitación circular y vapor, una vez digerido se prensa, en esta etapa se aplica agua para lavar fibras, surgiendo dos desechos, uno líquido y otro sólido; el sólido está compuesto por la semilla del producto y fibras del proceso de prensado; el líquido es una mezcla de agua-aceite. El resto del proceso es aceite crudo, el cual entra a una serie de clarificación, para dar como producto final aceite crudo.

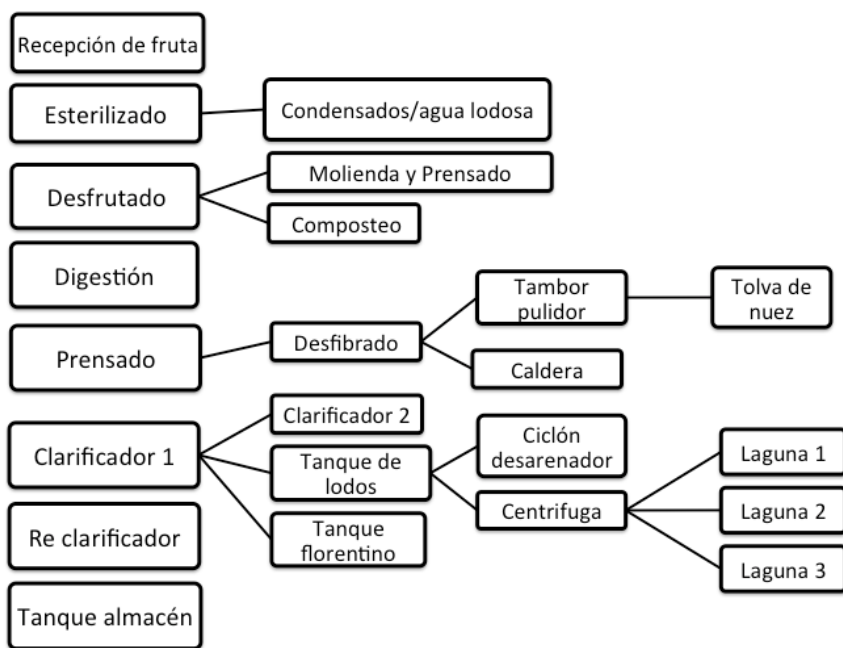


Figura 1 Diagrama del proceso de extracción de aceite (planta procesadora AGROIPSA).

Como es evidente todas las actividades industriales generan residuos, que pueden ser líquidos, sólidos o gases, o una mezcla de ellos, la industria aceitera es considerada con bajo nivel de contaminación debido a que los factores contaminantes, son causados por la pérdida de materia prima durante el proceso.

Los residuos son regidos bajo una serie de normas que implementan los límites permisibles, con el fin de tener el menor impacto posible en el medio ambiente.

El proceso de la extracción cuenta con grandes cantidades de subproductos que van desde racimos vacíos, fibras o pasta, semilla o palmiste y lodos según Hernández *et al.* (2006). Estos desechos podrían resultar de utilidad, solo si es identificado su potencial, y aprovechamiento en nuevos productos.

4.5 DESCRIPCIÓN DE LOS RESIDUOS DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA AFRICANA

Baldrian y Valáskóva (2008) definieron los residuos agrícolas, como forestales e industriales que son en su mayoría biomasa lignocelulósica y representan la mayor cantidad de carbono renovable en el suelo. Estos materiales orgánicos ocasionan

inconvenientes en el ambiente ya que ocupa mucho espacio, su degradación natural es muy lenta y su almacenamiento casi imposible en los volúmenes en que se generan.

Residuos Sólidos

Los residuos sólidos comprenden fibra de la fruta, el raquis y la cascará (Wood y Beattle, 1982). García y García (2013), indicaron porcentajes en la producción de residuos sólidos de: 21 % pertenecen a racimos de frutos vacíos (raquis), 13 % de fibra de fruto y 5 % de cáscara.

Estos residuos pueden ser utilizados en la alimentación de rumiantes, hormigones, arlequines entre otros. La cantidad y calidad de los residuos se ven afectados debido a las distintas épocas del año, debido a que las precipitaciones y una alta producción pueden interferir en el proceso de la extracción del aceite, haciéndolo más o menos productivo. Las fibras pueden ser transformadas en abono orgánico, debido a que presentan las características físicas y químicas, para esa materia prima dando una muy alta calidad nos indican Torres *et al.* (2004).

Residuos Líquidos

Los residuos líquidos están compuestos básicamente de materia orgánica suspendida, agua, sólidos sedimentados y grasas suspendida. La materia orgánica procede principalmente de las partículas de la pulpa de las frutas, los sólidos sedimentados proceden de arena adheridos a los racimos de los frutos.

En los últimos años se ha intensificado la producción de residuos agroindustriales. Hernández *et al.* (2006) nos dan un resumen de los subproductos generados en la extractora:

Racimos Vacíos. Contienen 65 % de agua, pero al secarse pueden utilizarse como combustible para producir vapor y electricidad. También pueden regresar al campo reciclando así sus nutrimentos, principalmente el potasio; además adicionan

materia orgánica al suelo. Éstos se han utilizado también, como sustrato para producir hongos y para producir fibra de baja densidad.

Fibra o Pasta. La fibra o pasta de la cual se extrajo el aceite, contiene 2,500 kilocalorías por kilogramo. Generalmente se seca y quema en la caldera, para producir vapor para el esterilizador, el digestor, el deshidratador, los tanques de almacenamiento y generar electricidad. De tal forma que una extractora puede diseñarse para tener excedentes en la producción de energía. También se puede usar como alimento para rumiantes.

Semilla o Palmiste. Después de finalizar el proceso, donde se elimina el mesocarpio del fruto queda la semilla que es un subproducto que contiene una almendra rica en aceite de alto precio y de calidad muy parecida a la de coco. Su extracción requiere de otra línea de equipo, por lo que dependiendo del tamaño de la extractora se procesa allí mismo o se vende a otra empresa acopiadora. El proceso de extracción del aceite de palmiste consiste en deshidratar la semilla a un 10 % de humedad, con la finalidad de que la almendra se desprenda de la cáscara o cuesco. Luego se clasifican por tamaño y se trituran, para posteriormente separar los pedazos de cáscara y la almendra, de la cual se extrae el aceite mediante el prensado. De una tonelada de RFF se obtienen aproximadamente 40 L de aceite de palmiste.

Lodos. Se producen efluentes, aguas y lodos residuales, de $0.8 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1} \text{ t}^{-1}$ de racimo procesado, los cuales pueden contaminar el ambiente, cuando no se les proporciona el tratamiento adecuado. Éstos provienen de la condensación del vapor, escurrimientos, lavado de equipos, evaporación, sedimentación y filtrado. Contienen gran cantidad de materia orgánica, demanda O_2 de $25,000 \text{ mg L}^{-1}$ para oxidarse biológicamente y nutrientes. Existen modernos evaporadores para concentrar y disminuir su volumen, pero es más frecuente el procesamiento en fosas de oxidación;

en estas últimas, la materia orgánica se descompone en forma natural para generar metano y agua no contaminante, con calidad para riego y fertilizar las plantaciones.

Por su parte Alfaro y Ortiz (2006) definen dos clases de residuos, sólido y líquido, estos son provenientes del prensado (parte del proceso); 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. Éstos representan el 60 % sobre la fruta, además se produce 6 % de semilla (4 % almendra y 2 % de cáscara) el 9 % es fibra.

Los desechos líquidos son descritos por Gómez (1999), como vertimientos de aguas residuales provocados por:

- Condensación en la esterilización: Los condensados en la esterilización son producto de la deshidratación que sufre el fruto en la etapa de cocimiento, que es evacuado continuamente de los estabilizadores; produciéndose una fuente de agua residual que es bombeado al canal recuperador de aceite. En estos podemos encontrar grasas y aceites, sólidos, materia orgánica, acidez etc. Éstos representan el 10 % del peso de la fruta procesada y hasta el 15 % del total de los efluentes.
- Efluentes de clarificación: mediante decantadores continuos y centrifugas, se realiza la reparación del aceite de las demás impurezas, dejando como desechos los lodos. En proporción con la fruta procesada, oscila entre 0.55 y 1.2 m³ de lodo/TM FP (fruta procesada), con un promedio de 0.82 m³ de lodo/TM FP.

Los desechos sólidos se miden mediante la producción así que no se tienen datos estimados para conceptualizar; Aunque existen límites permisibles marcados en la Norma Mexicana NMX-AA-005-SCFI-2000.

Los productos del aceite de palma también tienen una amplia aplicación en el sector no-alimenticio, especialmente en la producción de jabones y detergentes, productos farmacéuticos, cosméticos y productos oleoquímicos (Pantzaris, 1997).

4.6 PROBLEMAS AMBIENTALES DE LA INDUSTRIA ACEITERA

Los problemas ambientales asociados con la industria aceitera, son en relación con los residuos líquidos, sólidos y latentes a ciertos gases explosivos. También se dicen ligados a contaminación acústica debido al ruido y a olores desagradables. Existen diversos métodos para dar tratamientos a los desechos y poder así llegar a cero residuos para poder convertirlos en coproductos, siendo necesario saber la cantidad y composición para poder determinar el fin más adecuado, menos costoso pero sobre todo más amigable para el medio ambiente.

Un estudio realizado en Tailandia por Chavalparit *et al.* (2006), resume la generación de residuos (Cuadro 3) y las emisiones generadas en la producción de aceite de palma, siendo las siguientes:

- Emisiones de aire donde se encuentran los vapores y partículas sólidas,
- Emisiones líquidas donde se hallan contaminantes de aceite y alto contenido orgánico.
- Emisiones sólidas indicando los ya mencionados racimos de fruta vacía, fibra, cascarilla y cenizas.

Los residuos líquidos son, un residuo complejo lleno de aceites y grasas, con una carga considerable de sólidos suspendidos, alto contenido de demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), que son una gran fuente de contaminantes de ríos (Yeong, *et al.* 2010). Si los efluentes están conectados a los alcantarillados públicos, pueden provocar obstrucción de las redes de alcantarillado por solidificación de aceites y grasas.

Cuadro 3. Generación de residuos provenientes de la extracción de aceite de palma.

	Peso fresco t ha ⁻¹ año ⁻¹	Peso seco t ha ⁻¹ año ⁻¹
Racimos de fruta fresco	16.5	10.6
Rendimiento de aceite	2.75	2.75
Contenido de aceite en el fruto de palma	17	-
Extracción de aceite (%)	16.8	-
Racimos de fruta vacíos	3.96	2.6
Fibra	2.31	1.6
Cascarilla	1.0	0.9
Residuos líquidos	10.56	0.64

Fuente: Chavalparit *et al.* (2006).

También existe como desecho las cenizas generadas de la quema de los racimos vacíos, para el calentamiento de la caldera; este desecho repercute en la salud de los trabajadores ya que es inhalado de manera normal en las horas laborales.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 MATERIA PRIMA

En el presente estudio se tomaron muestras sólidas y líquidas, en la planta extractora de aceite AGROIPSA, ubicada en la carretera ejido Jalapa Aquiles Serdán km 1 en San Miguel Afuera, municipio de Jalapa, Tabasco.

5.1.1 Evaluación de la materia prima

La serie de análisis fue realizada en los Laboratorio Agroindustrial, Suelo, Planta y Agua (LASPA) y Laboratorio de ciencia animal, ambos pertenecientes al Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, y en el Laboratorio de Calidad del Agua en la Secretaria de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental (SERNAPAM).

5.2 RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTOS DE LAS MUESTRAS.

Se tomaron muestras de residuos sólidos y líquidos de la siguiente manera:

Para los residuos sólidos, fueron recolectadas 3 muestras con 3 repeticiones de un ciclo de producción que cuenta con 20 t por periodo de 5 días no continuos, teniendo un total de 45 unidades experimentales.

Las muestras fueron secadas a 75 °C durante 2 días, posteriormente se molieron y etiquetaron en botes de plástico con taparrosca, para su almacenamiento y posterior análisis.

Para los residuos líquidos fueron recolectadas 3 muestras con 3 repeticiones del flujo de entrada y de las 3 lagunas existentes, haciendo un total de 48 unidades

experimentales. Las muestras fueron almacenadas en botes de plástico con taparroscas, en refrigeración a 4 °C y congeladas.

Para la determinación de oxígeno disuelto (OD) las muestras fueron recolectadas en botellas Winkler con capacidad de 300 mL, y estabilizadas con sulfato manganoso y yoduro-azida.

Para la determinación de grasas y aceites las muestras fueron recolectadas en recipientes de vidrio con capacidad de 500 mL.

Para la determinación de DBO y DQO, las muestras fueron tomadas en recipientes ámbar de plástico de 4 L y estabilizadas con ácido sulfúrico concentrado, hasta llegar a pH de 2.

5.3 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

5.3.1 Determinaciones químicas de residuos sólidos.

Determinación de cenizas y carbono total.

Para la determinación de cenizas y carbono total, se utilizaron 5 g de muestras, se colocaron en crisoles de porcelana con peso constante, se introdujeron a la mufla hasta alcanzar una temperatura de 600 °C, una vez temperados fueron pesados y se realizó el cálculo correspondiente.

Determinación de fósforo.

Para la determinación de esta variable se utilizaron 0.5 g de muestra, se colocaron en tubos de digestión adicionando 6 mL de mezcla digestora (HNO_3 - HClO_4 relación 2:1), durante 12 horas para su predigestión, una vez concluida esa etapa se

elevó la temperatura en un block digestor a 210 °C hasta la presencia de vapores blancos, seguido se transfirió a un matraz aforado de 10 mL y se aforó con agua desionizada.

Con la etapa anterior se obtuvieron tubos con 10 mL de muestra, de estos se tomó una alícuota de 2 mL y se colocó en un matraz aforado de 50 mL, se adicionó 7.5 mL de reactivo Vanadomolibdico (ácido nítrico, vanadato de amonio y molibdato de amonio en relación 1:1:1), seguido los matraces fueron aforados con agua desionizada, agitados y dejados en reposo por 20 min para su lectura, se leyó mediante absorción de luz a 470 nm, de acuerdo con la metodología del Manual de Procedimientos Analíticos de Aguas, Suelos y Plantas (LASPA).

Determinación de nitrógeno total y/o proteína.

Para la determinación de esta variable fueron utilizadas muestras de 0.1 g colocadas en tubos de digestión, se adicionó 1.1 g de mezcla catalizadora (K_2SO_4 , $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) y selenio metálico (100:10:1), seguido de 4 mL de ácido sulfúrico concentrado, se comenzó a calentar en el block digestor lentamente alcanzando no más de 300 °C, y retirado una vez que la mezcla se aclaró virando a una tonalidad azul-verdosa.

Lo obtenido se colocó en un matraz aforado de 25 mL, llevándose al aforó con agua desionizada, seguido fue trasladado a tubos de ensaye.

Con la etapa anterior se obtuvieron muestras de 25 mL, de las cuales se tomó una alícuota de 10 mL para llevarla a destilación; como etapa final se tituló con ácido sulfúrico 0.05 N, y se realizaron los cálculos correspondientes, de acuerdo con la metodología del Manual de Procedimientos Analíticos del Laboratorio Agroindustrial, Suelos, Planta y Agua del Campus Tabasco – Colegio de Postgraduados.

Determinación de grasas.

Para la determinación de grasas se pesaron 5 g del material vegetal, colocándose en cartuchos de celulosa. Mediante el método Soxhlet se realizó la extracción, usando hexano como solvente.

Determinación de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn.

Para la determinación de esta variable se utilizaron 0.5 g de muestra, se colocaron en tubos de digestión adicionando 6 mL de mezcla digestora (HNO_3 , HClO_4 2:1) durante 12 horas para su pre-digestión, una vez concluida esa etapa se elevó la temperatura en un block digestor a 210 °C hasta la presencia de vapores blancos, seguido se transfiere a un matraz aforado de 10 mL y se aforó con agua desionizada

Se procedió a la lectura mediante absorción atómica; cuando las muestras salían del rango de las curvas de calibración fue necesario realizar diluciones (1:9), luego se realizaron los cálculos correspondientes.

Determinación de FDN, FDA y hemicelulosa.

Para determinar estas variable se utilizaron bolsitas de tela nylon (5 x 10 cm) a las cuales se les agregó 0.6 g de muestra, previamente sometidas a estufa de aire forzado para mantener peso constante fueron selladas y se sometieron a la acción del detergente neutro y detergente ácido utilizando la metodología propuesta por (Van Soest *et al.*, 1991). La hemicelosa se calculó por diferencia de peso en FDN – FDA.

Determinación de lignina y celulosa.

Para este análisis se pesó 0.350 g de muestra, se colocó en matraces Gooch rellenos de fibra de vidrio; una vez con muestra fueron sumergidos en ácido sulfúrico al 76 % durante 2 horas, hasta tener peso constate y se procedió a calcinar en la mufla a

550 °C durante 4 horas. Los cálculos fueron realizados mediante el Manual de Procedimientos Analíticos del Laboratorio de Ganadería, del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.

5.3.2 Determinaciones químicas de residuos líquidos.

Grasas.

Se tomó una muestra de 1 L acidulada con ácido sulfúrico 1:1, se utilizó un embudo Büchner con papel filtro en el matraz Kitazato, se agregaron 100 mL de la suspensión de tierra diatomeas-sílice sobre el filtro; luego se aplicó vacío y se lavó con 100 mL de agua destilada.

El material filtrado fue transferido a un cartucho de celulosa y secado en estufa a 100 °C durante 30 min, el cartucho de celulosa contenido con la muestra fue trasladado al equipo Soxhlet con 150 mL de hexano durante 4 horas, luego se evaporó el exceso de hexano se sometió a peso constante el matraz, pesado y se determinó el contenido de grasas, de acuerdo con la metodología de NMX-AA-005-SCFI-2000.

Fósforo total (P_t).

Fueron tomados 5 mL de muestra, secados en la estufa durante 2 días a 75 °C y así se determinó el peso real de la muestra, seguido se adicionó 6 mL de ácido nítrico perclórico, se sometió a block digester hasta 300 °C y con la presencia de vapores blancos fueron retirados. La muestra digestada fue aforada a 10 mL con agua destilada, se tomaron 2 mL de alícuota en un matraz volumétrico de 50 mL con 7.5 mL de reactivo vanadomolibdico (ácido nítrico, vanadato de amonio y molibdato de amonio en relación 1:1:1) y seguido fueron aforados con agua destilada, se dejaron reposar por 20 min. y fueron leídas mediante absorción de luz a 470 nm, de acuerdo con la

metodología del Manual de Procedimientos Analíticos del Laboratorio Agroindustrial, Suelo, Planta y Agua.

Nitrógeno total (N_t)

Para la determinación de esta variable fueron tomados 5 mL de muestra, secados en la estufa durante 2 días a 75 °C y así se determinó el peso real de la muestra, se adicionó 1.1 g de mezcla catalizadora (K_2SO_4 , $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) y selenio metálico (100:10:1), seguido de 4 mL de ácido sulfúrico concentrado, se comenzó a calentar en el block digestor lentamente alcanzando no más de 300 °C, y retirado una vez que la mezcla se aclaró virando a una tonalidad azul-verdosa.

Lo obtenido se colocó en un matraz aforado de 25 mL, llevándose al aforó con agua desionizada, seguido fue trasladado a tubos de ensaye. De las muestras anteriores de 25 mL, fue tomada una alícuota de 10 mL para llevarla a destilación, como etapa final se tituló con ácido sulfúrico 0.05 N, y se realizaron los cálculos correspondientes, de acuerdo con la metodología del Manual de Procedimientos Analíticos del Laboratorio Agroindustrial, Suelo, Planta y Agua.

Demanda química de oxígeno (DQO)

En la determinación de este parámetro fueron utilizados 50 mL de muestra, se adicionó sulfato de mercurio y perlas de vidrio, seguido se agregaron 25 mL de dicromato de potasio 0.041 7 M y se mezcló de forma circular. Se conectó el matraz en el condensador tipo Friedrich, se adicionó 75 mL de ácido sulfúrico-sulfato de plata, fue calentado el matraz y se mantuvo en reflujo durante 2 horas, se añadió agua destilada hasta aproximadamente 300 mL y se dejó enfriar. En siguiente paso se adicionaron 3 gotas de fenantrolina y se tituló con sulfato ferroso amoniacal 0.25 M hasta el vire de color de azul verdoso a café rojizo, de acuerdo a la metodología de reflujo abierto/método de titulación de la norma NMX-AA-030-SCFI-2001.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Se realizó en conjunto con la prueba de OD, fue incubado por 5 días siguiendo los cálculos descritos en la norma NMX-AA-028-SCFI-2001.

Nitrógeno amoniacal

En este parámetro fueron utilizados 50 mL de muestra, se neutralizó el pH con hidróxido de sodio 12.5 mol L⁻¹, las muestras fueron colocadas en matraces Kjeldahl, se añadieron 25 mL de disolución amortiguadora de boratos, se destiló la muestra a 29 °C, se recolectó 300 mL del condensado en un matraz con 50 mL de ácido bórico y se procedió a titular con ácido sulfúrico hasta el vire de verde esmeralda a morado. De acuerdo con la metodología descrita en la NMX-AA026-SCFI-2010.

5.3.3 Determinaciones físicas de residuos sólidos

Determinación de humedad.

Para la determinación de esta variable se utilizaron 20 g de muestra en cajas petri de cristal, se colocaron en una estufa de aire forzado durante 48 horas de acuerdo a la metodología de la AOAC (2005).

5.3.4 Determinaciones físicas de residuos sólidos y líquidos

Para la determinación de los parámetros físicos cualitativos se rellenó un formato (Anexo 1) donde fueron registradas las muestras, indicado presencia de color, olor, transparencia, burbujas, película visible y materia flotante.

Sólidos Sedimentables

Se tomó una muestra de 1 L, se depositó en un cono Imhoff, se dejó reposar 45 min. Se retiraron los sólidos adheridos y se dejó reposar por 15 min, se registró el volumen de los sólidos sedimentables, con base en la Norma NMX AA-004 SCFI-2013.

Sólidos Suspendidos Totales

La determinación se llevó a cabo con base en la Norma NMX AA-034 SCFI 2001.

Temperatura.

La medición de la temperatura se realizó de inmediato al ser recolectada la muestra, mediante la Norma NMX-AA-007-SCFI-2000

pH.

La determinación de pH fue realizada con base en la Norma NMX-AA-008-SCFI-2013.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

DETERMINACIONES QUÍMICAS

Cenizas

El contenido de ceniza se presenta en la Figura 2; la cual incluye los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

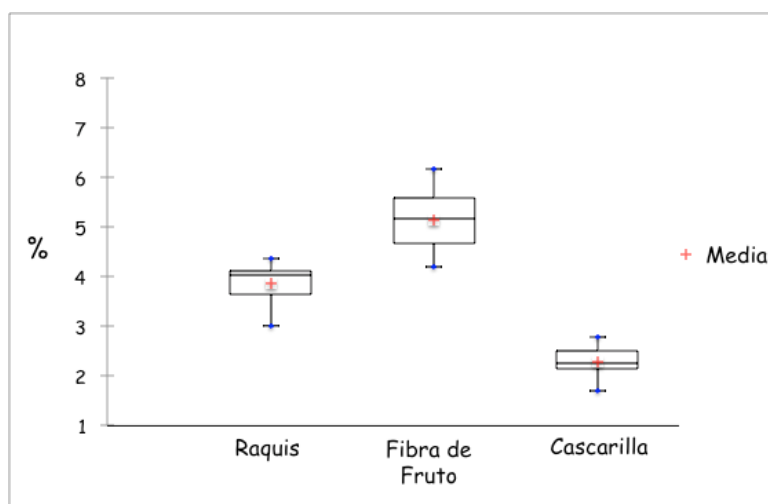


Figura 2. Gráfica de *Box-Plot* de contenido de ceniza (%) en los residuos sólidos.

La fibra de fruto es la de mayor en contenido de ceniza, cuyo valor promedio fue de 5.1 ± 0.58 %, un coeficiente de variación 0.11, un rango de 1.95, la diferencia intercuartil fue de 0.92, con un valor máximo y mínimo de 6.1 % y 4.1 %. La mediana y media son estadísticamente similares proporcionando simetría, confirmando con la prueba de asimetría de Fisher la cual tiene un valor de 0.26.

El raquis contiene 3.8 ± 0.35 % de contenido de ceniza, presenta un coeficiente de variación de 0.09, con rango de 1.3, la diferencia intercuartil de 0.46 y con un valor máximo de 4.3 % y mínimo de 3 %, la mediana se encuentra por arriba de la media

siendo evidente un sesgo negativo debido a la agrupación de los datos en los valores máximos y asintiendo con la asimetría de Fisher de -1.03.

En lo que respecta a la cascarilla el contenido fue de 2.2 ± 0.35 %, con coeficiente de variación de 0.15, un rango de 1, una diferencia intercuartil de 0.36 y con un valor máximo de 2.7 % y mínimo de 1.6 %, lo cual nos indica poca variación en sus datos pero debido a que sus valores máximos están más agrupados tiende a un sesgo negativo y ratificando con la prueba de asimetría de Fisher -0.26.

Diversos autores (Mahlia *et al.*, 2001, Bakar *et al.*, 2006 y Cujia y Bula, 2010), reportaron datos (5.4 a 7.3 %) de ceniza en el raquis, por encima que los observados en el presente trabajo; mientras que en la fibra de fruto reportaron datos similares de 8.4 a 3.6 %, y en la cascarilla indican 3.2 y 2.3 %.

Existen investigaciones en las cuales utilizan la ceniza de fibra de fruto como sustituto en cemento y como fertilizante crudo (Chun-Yan *et al.* 2008), por otro lado Finell y Nillson (2005), realizaron un estudio en caña de azúcar indicando que la cantidad de ceniza en algunas fracciones de la planta depende del tipo de suelo y la ubicación, esto en la planta de extracción es un factor desconocido ya que en ella se reciben los racimos de fruta fresca sin el conocimiento de la procedencia y la especie de la palma de aceite.

Fósforo

El contenido de fósforo se muestra en la Figura 3; la cual contiene los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

En el contenido de fósforo la fibra de fruto se encuentra con los valores más altos, siendo su media de 0.082 ± 0.013 %, con un coeficiente de variación de 0.15, un rango de 0.069, la diferencia intercuartil de 0.019 y con un valor máximo y mínimo de

0.10 y 0.06 %, su asimetría es positiva con datos concentrados ligeramente hacia la parte superior y revalidando con la prueba de asimetría de Fisher (1.4), y por último presenta una mayor variación de datos en contraste con los otros 2 residuos.

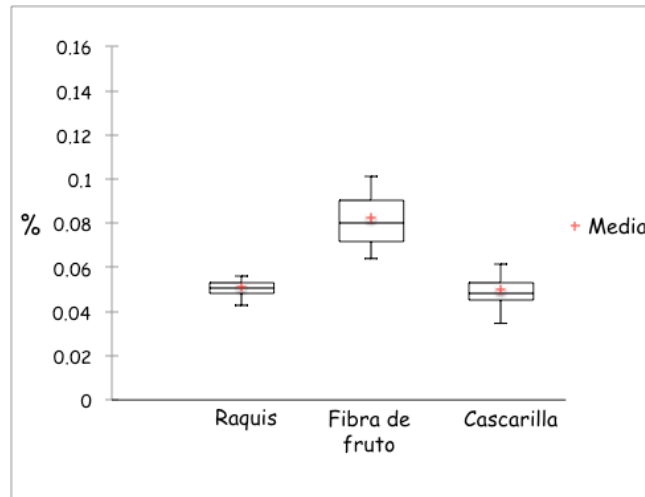


Figura 3. Gráfica de *Box-Plot* de contenido de fósforo (%) en los residuos sólidos.

En el raquis el contenido de fósforo tiene una media de 0.05 ± 0.006 %, con un coeficiente de variación de 0.11, un rango de 0.027, la diferencia intercuartil de 0.005 y con un valor máximo y mínimo de 0.056 y 0.042 %, los datos presentan poca variación y tienen una media y mediana iguales, esto indica una curtosis mesocúrtica o simetría en los datos coadyuvado por la prueba de asimetría de Fisher con valor de 0.05.

En lo que respecta a la cascarilla, la concentración de fósforo es de 0.049 ± 0.008 %, con un coeficiente de variación de 0.16, un rango de 0.032, la diferencia intercuartil de 0.008 y con un valor máximo y mínimo de 0.061 y 0.034 %; la media y la mediana son estadísticamente similares y aunque sus límites máximos y mínimos se encuentran más alejados del 3er cuartil en contraste con los demás coproductos, este presenta una simetría en sus datos sienta comprobada con la prueba de Fisher con 0.2.

Diferentes autores (Prasertsan y Prasertsan, 1996; Shuaimi y Ong, 2001; Sridhard y AdeloOluwa, 2009; Stichnothe y Schuchardt, 2011,) reportan en el raquis

valores de 0.05 a 0.016 % de fósforo siendo similares a los reportados en esta investigación; por su parte Menon *et al.* (2003) difieren a lo reportado en esta tesis respecto al contenido de raquis, ellos indican valores (0.144 %) muy superiores.

Nitrógeno

El contenido de nitrógeno se muestra en la Figura 4, conformada por los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

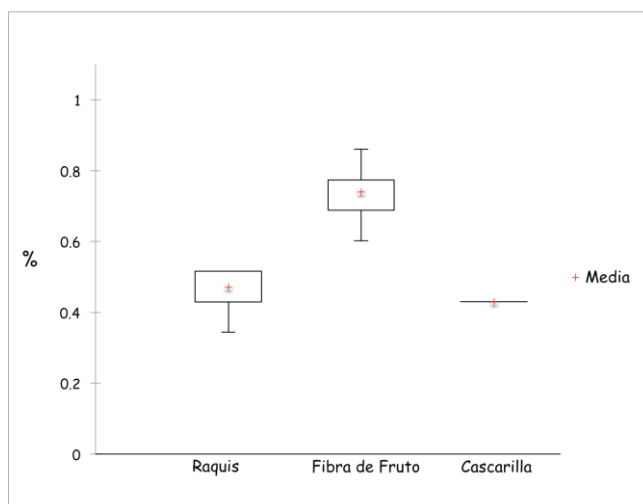


Figura 4. Gráfica de *Box-Plot* de contenido de nitrógeno (%) en los residuos sólidos.

El contenido registrado de nitrógeno en la fibra de fruto, presenta una media de 0.074 ± 0.08 %, con un coeficiente de variación de 0.11, un rango de 0.315, la diferencia intercuartil es de 0.14 y con un valor máximo y mínimo de 0.88 y 0.57 % en la fibra de fruto la media se encuentra en el límite del tercer cuartil presentando simetría en los datos con poca varianza de los mismos y corroborando con la prueba de asimetría de Fisher con -0.02.

El raquis posee una concentración de nitrógeno de 0.47 ± 0.04 %, con un coeficiente de variación de 0.86, un rango de 0.032, la diferencia intercuartil de 0.05 y con un valor máximo y mínimo de 0.051 y 0.037 %, los valores máximos están pegados al tercer cuartil y los valores mínimos son dispersos y debido a la agrupación de los

valores hacia arriba se presenta un sesgo a la izquierda evidenciado con la prueba de asimetría de Fisher con -0.08.

La cascarilla cuenta con una concentración de nitrógeno de 0.43 ± 0.04 %, con un coeficiente de variación de 0.11, un rango de 0.032, la diferencia intercuartil de 0.02, los valores máximos y mínimos de 0.051 y 0.037 %. La cascarilla presenta media y mediana iguales y los límites máximos y mínimos muy cercanos, por lo que de acuerdo con la prueba de asimetría de Fisher -1.14, se obtiene una simetría negativa o sesgo a la izquierda.

El contenido de nitrógeno en raquis presentado en este trabajo, coinciden con lo reportado por Abdullah y Gerhauser (2008) con 0.7 %, pero difieren de lo reportado por Mohd *et al.* (2008), ellos obtuvieron valores inferiores en el raquis de 0.2 %, la fibra de fruto la reportan superior con 1.4 % y solo la cascarilla es similar (0.6 %). De igual forma Cujia y Bula (2010) difieren de los resultados, ya que afirman ausencia de nitrógeno en raquis y cascarilla, y en la fibra de fruto indican un valor de 0.42 % siendo similar al encontrado en este trabajo. Por otro lado Asadullah *et al.* (2013) reportaron en la cascarilla un mayor contenido de nitrógeno (0.56 %).

Grasa

El contenido de grasa se muestra en la Figura 5, conformada por los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

La concentración de grasa en la fibra de fruto presenta una media de 5.8 ± 0.85 %, con un coeficiente de variación de 0.14, un rango de 2.8, la diferencia intercuartil de 1 y con un valor máximo y mínimo de 7.43 y 4.53 %, los datos se presentan de una mediana y media estadísticamente iguales, la simetría es comprobada con prueba de asimetría de Fisher con 0.3.

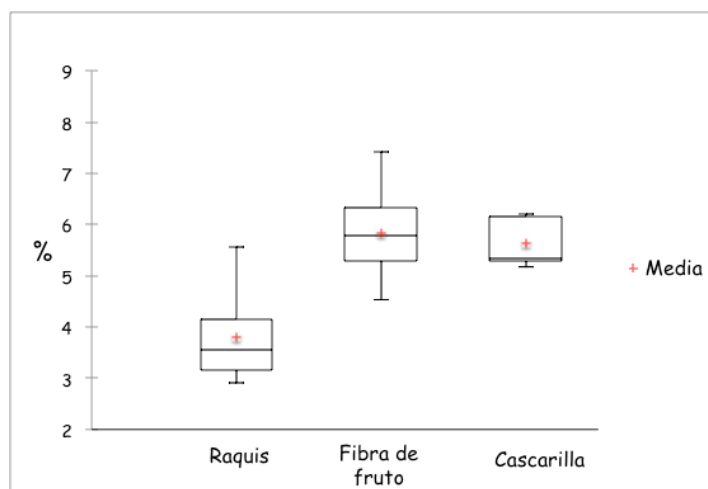


Figura 5. Gráfica de Box-Plot de contenido de grasa (%) en los residuos sólidos.

La cascarilla presenta una concentración de 5.6 ± 0.44 %, con un coeficiente de variación de 0.07, un rango de 1, la diferencia intercuartil de 0.8 y valores máximo y mínimo de 6.20 y 5.18 %, los valores presentan un ligero agrupamiento en la parte superior de los datos y su mediana es menor que la media ubicándose junto al primer cuartil, aunque visualmente se observa simetría esta es rechazada mediante la prueba de asimetría de Fisher 0.054 obteniendo una distribución de datos sesgada a la derecha.

El contenido de grasa en el raquis, indica el menor porcentaje con 3.7 ± 0.7 %, tiene un coeficiente de variación de 0.2, un rango de 2.6, la diferencia intercuartil de 0.9 y valores máximo y mínimo de 5.56 y 2.9 %, los valores presentan un notable agrupamiento en la parte inferior de los datos y su mediana es menor que la media, teniendo una distribución leptocúrtica, que es confirmado con la prueba de asimetría de Fisher 1.

Riansa y Prasertsan (2011), indican los contenidos de grasas en la fibra de fruto muy por encima del hallazgo en esta investigación, con 12.89 %; Por su parte Cuesta *et al.* (2000) indican que podrían ser utilizados en alimentación de rumiantes con un tratamiento de amonificación, y reportan valores entre 10 y 4 % coincidiendo con Faisal y Mahidin (2013) quienes la reportan con 5 %, pero en el raquis y la cascarilla difieren

reportando 1 y 5 %, pudiendo deberse la variación a que ellos evaluaron 25 distintas plantas con diferentes procesos de extracción; la cantidad de aceite depende en cierto modo de la presión generada al momento del prensado para ser vertidos como residuos, la extractora AGROIPSA monitorea por control de calidad y pérdida de aceite (raquis 5 %, fibra de fruto 5.5 - 6 %) la variación de la presión oscilando de 800 psi a 1 000 psi, es decir la emisión de aceite es inversamente proporcional a la presión.

Potasio

El contenido de potasio se muestra en la Figura 6, conformada por los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

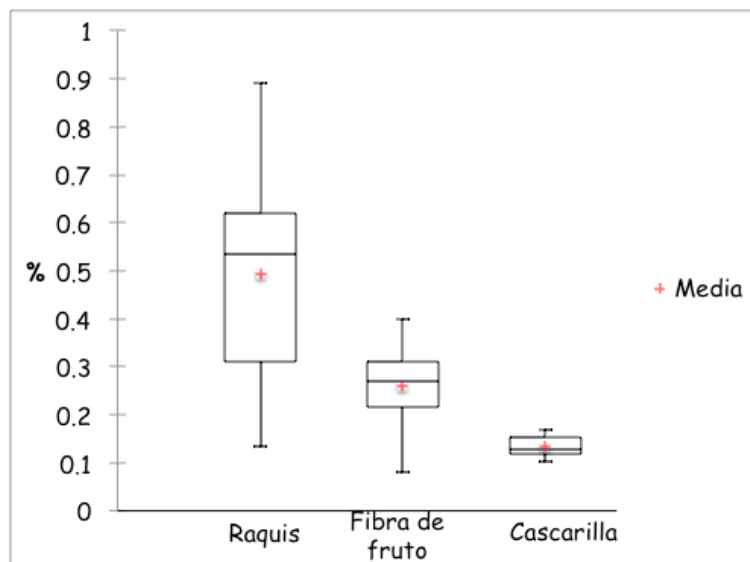


Figura 6. Gráfica de Box-Plot de contenido de potasio (%) en los residuos sólidos.

La concentración de potasio en el raquis se encuentra con la mayor media siendo de 0.49 ± 0.22 %, con un coeficiente de variación de 0.45, un rango de 0.75, la diferencia intercuartil de 0.3 y valores máximo y mínimo de 0.89 y 0.13 %, los valores presentan la mediana ligeramente encima de la media y aunque existe mucha dispersión se observa una distribución mesocúrtica que es corroborada mediante la prueba de asimetría de Fisher 0.01.

El contenido en la fibra de fruto es una media de 0.26 ± 0.07 %, con un coeficiente de variación de 0.3, un rango de 0.31, la diferencia intercuartil de 0.9 y valores máximo y mínimo de 0.39 y 0.08 %, el agrupamiento de los valores se encuentra en la parte superior proporcionando una asimetría negativa confirmada con la prueba de asimetría de Fisher de -0.54, con media y mediana estadísticamente similares mostrando poca variabilidad en los datos entre el cuartil 1 y cuartil 3.

La cascarilla presenta el menor contenido de potasio de los tres residuos, su media es de 0.13 ± 0.02 %, con un coeficiente de variación de 0.17, un rango de 0.06, la diferencia intercuartil de 0.03, con valores máximos y mínimos de 0.16 y 0.10 %, presenta rangos cercanos a los cuartiles proporcionando muy poca variabilidad en sus datos, con media y mediana estadísticamente similares, en la prueba de asimetría de Fisher (0.2) se constata que los datos son simétricos.

Varios autores (Suhaimi y Ong, 2001; Menon *et al.* 2003; y Singh *et al.* 2010; Geng, 2013) reportan concentraciones en raquis de entre 1.34 a 2.4 %, las cuales se encuentran muy por encima de lo reportado en esta investigación; Abdullah y Gerhauser (2008) reportan en fibra de fruto 2 %, e indican diferencia, presentándose por debajo lo encontrado en este estudio.

Calcio

El contenido de calcio se muestra en la Figura 7, conformada por los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

La fibra de fruto muestra un contenido de calcio medio de 0.25 ± 0.08 %, con un coeficiente de variación de 0.32, un rango de 0.34, la diferencia intercuartil de 0.06 y valores máximos y mínimos de 0.50 y 0.15 %, los valores presentan la media por arriba de la mediana y aunque existe mucha dispersión se observa una distribución agrupada

en la parte inferior que denotando una mayor dispersión en los valores más altos mostrando un sesgo a la derecha, lo dicho con antelación es comprobado con la prueba de asimetría de Fisher 2.2.

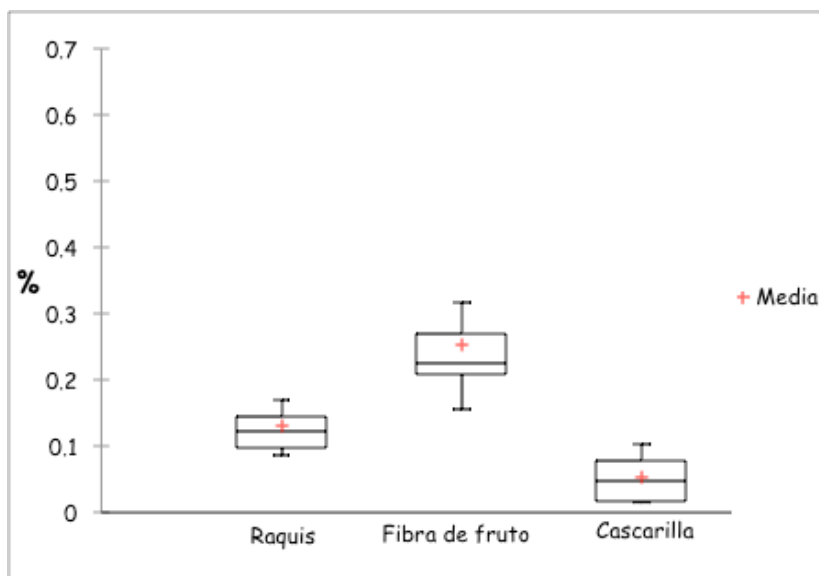


Figura 7. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de calcio (%) en los residuos sólidos.

El raquis de fruto presenta una concentración de 0.132 ± 0.04 %, con un coeficiente de variación de 0.37, un rango de 0.20, la diferencia intercuartil de 0.04, sus valores máximos y mínimos de 0.289 y 0.086 %, su media se encuentra por encima de la mediana, el agrupamiento de los valores se encuentra en la parte inferior proporcionando una asimetría positiva confirmada con la prueba de asimetría de Fisher de 2.2.

La cascarilla es la de menor contenido, su media es de 0.05 ± 0.03 %, con un coeficiente de variación de 0.65, un rango de 0.08, la diferencia intercuartil de 0.03 y valores máximos y mínimos de 0.10 y 0.01 %, la media se encuentra ligeramente por encima de la mediana siendo notable una aglomeración de los datos en la parte inferior, esto indica una distribución leptocúrtica que es comprobada con la prueba de asimetría de Fisher 0.4.

Existe muy poca variación de los datos encontrados y también en la cantidades de los diferentes tipos de residuos, Abdhullah y Gerhauser (2008) afirman valores de 1.43 % en raquis, lo que es superior en contraste con los valores de esta investigación; por otra parte Sridhard and AdeOluwa, 2009 y Suhaimi and Ong (2001) afirman valores de (0.3 y 0.6 %), y Singh *et al.* (2010) alegan un valor de 0.19 % en el raquis, que coincide con lo obtenido en esta tesis.

Magnesio

El contenido de magnesio es mostrado en la Figura 8, conformada por los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

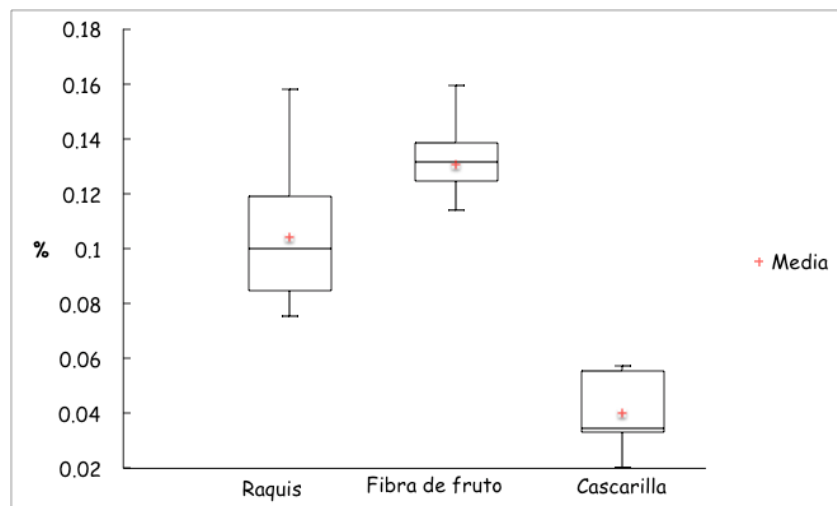


Figura 8. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de magnesio (%) en los residuos sólidos.

La fibra de fruto posee la mayor concentración media de 0.13 ± 0.01 %, con un coeficiente de variación de 0.11, un rango de 0.06, la diferencia intercuartil de 0.01 y valores máximos y mínimos de 0.15 y 0.09 %, la mediana y la media son estadísticamente similares con amplia variabilidad en los datos, la prueba de asimetría de Fisher (-0.7) indica una distribución platocúrtica.

El raquis presenta un contenido medio de 0.10 ± 0.02 %, con un coeficiente de variación de 0.22, un rango de 0.08, la diferencia intercuartil de 0.03 y valores máximo y mínimo de 0.15 y 0.07 %, la mediana y la media son estadísticamente similares con amplia variabilidad en los datos y agrupamiento en la parte inferior mostrándose sesgados a la derecha y confirmando con la prueba de asimetría de Fisher 0.8.

La cascarilla inviste un contenido medio de 0.04 ± 0.01 %, con un coeficiente de variación de 0.35, un rango de 0.03, la diferencia intercuartil de 0.02 y valores máximo y mínimo de 0.05 y 0.02 %, la mediana se encuentra por debajo de la media; debido a la concentración de los datos en la parte superior se tiene una asimetría negativa o sesgada a la izquierda, esto es corroborado con la prueba de Curtosis de Fisher -2.

Prasertsan y Prasertsan (1996) solo reportan el raquis 0.2 % de contenido de magnesio, y consideran que la cascarilla es difícil descomposición, sugiriendo su uso como energía calorífica en las calderas, otros autores (Suhaimi y Ong, 2001; Torres *et al.*, 2004) reportan resultados que coinciden con nuestro hallazgo indicando la presencia de magnesio en 0.2 % y 0.18 % en raquis. Por otra parte lo presentado en este estudio difiere de las concentraciones encontradas por Menon *et al.* (2003), quienes presentan valores superiores de 0.36 %.

En lo que respecta a la fibra de fruto y a la cascarilla existen muy poca información en la revisión de literatura, y los reportados son centrados únicamente en los elementos para el compostaje, como lo son NPK.

Hierro

El contenido de hierro se muestra en la Figura 9, conformada por los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

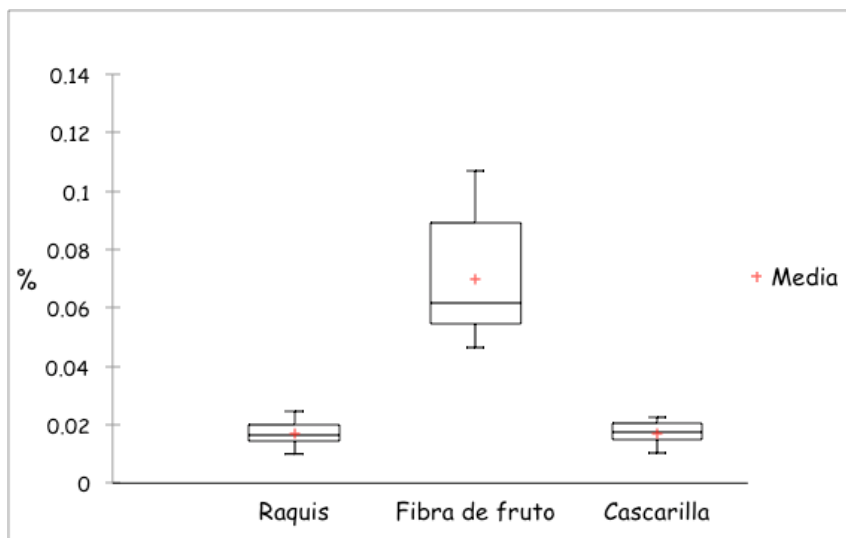


Figura 9. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de hierro (%) en los residuos sólidos.

La fibra de fruto posee la mayor concentración media de 0.07 ± 0.00 %, con un coeficiente de variación de 0.29, un rango de 0.06, la diferencia intercuartil de 0.03 y valores máximos y mínimos de 0.10 y 0.04 %, la media es mayor que la mediana y los datos se encuentran agrupados en la parte inferior extendiéndose más hacia la derecha indicando una mayor variación en los valores mayores, dando como resultado una asimetría positiva corroborando con la prueba de asimetría de Fisher de 0.69.

El raquis presenta un contenido medio de 0.01 ± 0.00 %, con un coeficiente de variación de 0.25, un rango de 0.01, la diferencia intercuartil de 0, cuenta con valores máximos y mínimos de 0.02 y 0.01 %, la media y la mediana son estadísticamente similares, se observa una simetría y es comprobado con la prueba de asimetría de Fisher de 0.03.

La cascarilla tiene una concentración media de 0.01 ± 0.0 %, con un coeficiente de variación de 0.25, un rango de 0.01, la diferencia intercuartil de 0.00 y valores máximo y mínimo de 0.02 y 0.01 %, la media y la mediana son estadísticamente iguales, los datos se encuentran ligeramente en la parte superior proporcionando un sesgo a la izquierda y es comprobado con la prueba de asimetría de Fisher de -0.5.

Abdhullah y Gerhauser (2008) reportan el contenido de hierro en fibra de fruto de 0.31 % y en raquis 0.29 %, por su parte Sridhard and AdeOluwa (2009) indican solo al raquis con 0.071 %, y los datos de Singh *et al.* (2010) reportan 1 %; todos los valores encontrados son superiores a los determinados en este estudio, en lo que respecta a la cascarilla se dispone de muy poca información en cuanto a minerales debido a la poca degradabilidad y al hecho de que mayormente es utilizado con fuente de energía para la caldera.

Cobre

El contenido de Cobre se muestra en la Figura 10, conformada por los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

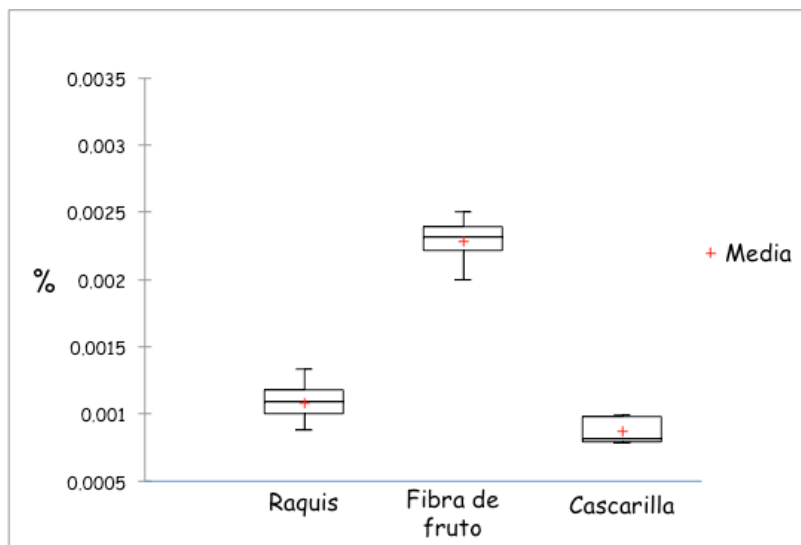


Figura 10. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de cobre (%) en los residuos sólidos.

En la fibra de fruto la concentración media es de 0.002 ± 0.00 %, con un coeficiente de variación de 0.11, un rango de 0.00, sin diferencia intercuartilicas y valores máximo y mínimo de 0.0013 y 0.0009 %, la media y la mediana son

estadísticamente iguales, y los datos se presentan simetría, lo cual es confirmando con la prueba de asimetría de Fisher con 0.

El raquis presenta un contenido medio de 0.001 ± 0.00 %, con un coeficiente de variación de 0.11, un rango de 0.00, sin diferencia intercuartílicas y valores máximo y mínimo de 0.00133 y 0.0008 %, la media y la mediana son estadísticamente iguales, los datos son mesocúrticos lo cual es constatado con la prueba de asimetría de Fisher de 0.

La cascarilla presenta una concentración media de 0.001 ± 0.0 %, con un coeficiente de variación de 0.10, un rango de 0.001, sin diferencia intercuartílicas y valores máximo y mínimo de 0.0009 y 0.0007 %, la media y la mediana son estadísticamente similares, los datos se presentan de manera normal y los valores máximos y mínimos se encuentran muy cercanos a los cuartiles 1 y 3, de este modo que podemos definir datos simétrico, lo cual reafirmado con la prueba de asimetría de Fisher con 0.3.

Abdhullah y Gerhauser (2008) indican al raquis con valores (0.31 %) mayores a los hallados en esta investigación, por su parte Sridhard and AdeOluwa (2009) y Singh *et al.* (2010) reportan valores entre 0.0017 y 0.001 % coincidiendo con la cantidad de cobre determinada en este estudio, en lo que concierne a la fibra de fruto y la cascarilla son pocos los estudios realizados encontrados en la literatura, pudiendo deberse a que los micronutrientes son de poca relevancia por la degradabilidad de la materia prima.

Zinc

El contenido de zinc se muestra en la Figura 11, conformada por los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

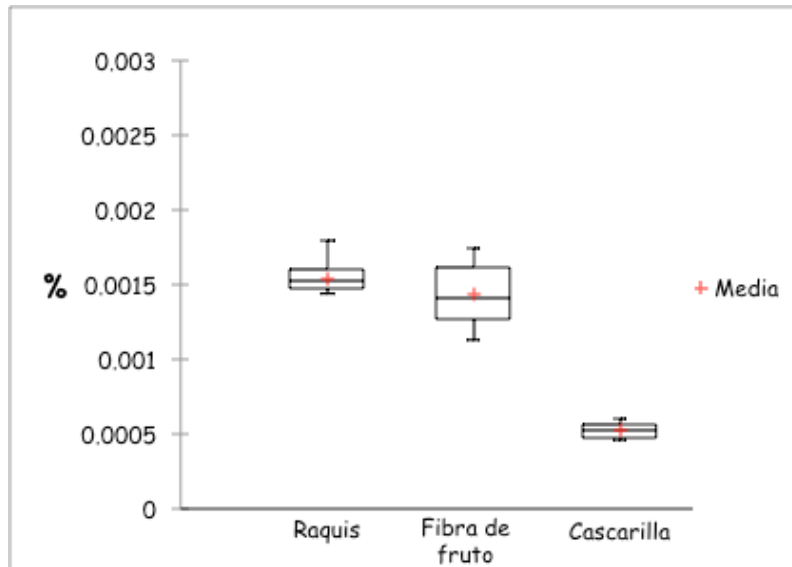


Figura 11. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de Zinc (%) en los residuos sólidos.

El contenido de zinc en raquis tiene un valor promedio de 0.002 ± 0.00 %, con un coeficiente de variación de 0.146, un rango de 0.001, no existe diferencia intercuartilica y los valores máximos y mínimos son de 0.002 y 0.001 %; la media y la mediana son estadísticamente iguales, y existe un agrupamiento de los datos en la parte inferior indicando un sesgo positivo, siendo corroborado con la prueba de asimetría de Fisher - 0.54.

En la fibra de fruto la concentración media es de 0.001 ± 0.0 %, con un coeficiente de variación de 0.13, no presenta rango ni diferencia intercuartilicas, los valores máximos y mínimos son de 0.002 y 0.001 %, la media y la mediana son estadísticamente iguales, y los datos se presentan de forma normal presentando simetría y confirmando con la prueba de asimetría de 0.

La cascarilla contiene un contenido medio de 0.001 ± 0.0 %, con un coeficiente de variación de 0.10, sin rango y sin diferencia intercuartilica, sus valores máximos y mínimos son de 0.001 y 0.0005 %, la media y la mediana son estadísticamente similares, los datos se presentan de manera normal y los valores máximos y mínimos se encuentran muy cercanos a los cuartiles 1 y 3, de este modo se define como una distribución mesocúrtica que es reafirmada con la prueba de asimetría de 0.1.

El contenido de zinc presente en los residuos sólidos estudiados, es muy parecido entre el raquis y la fibra de fruto; varios autores (Rao, 2004; Torres *et al.*, 2004; Sridhard and AdeOluwa, 2009; Singh *et al.* 2010) coinciden con lo evidenciado en este trabajo con valores entre 0.002 y 0.004 % encontrados en el raquis, por otro lado Abdhullah y Gerhauser (2008) reportan un valor de 0.12 % lo que se encuentra muy por encima del contenido de zinc reportado con antelación.

Manganeso

El contenido de manganeso se muestra en la Figura 12, conformada por los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

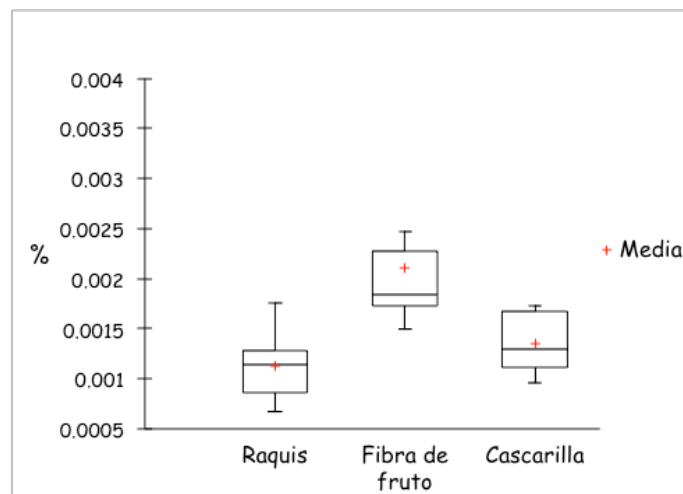


Figura 12. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de manganeso (%) en los residuos sólidos.

La fibra de fruto se encuentra con la mejor concentración media de 0.002 ± 0.0 %, con un coeficiente de variación de 0.28, un rango de 0.002, con una diferencia intercuartilica de 0.001, valores máximos y mínimos de 0.003 y 0.001 %, la media se encuentra por encima de la mediana, debido a la amplitud de caja se observa gran variabilidad en los datos y poco agrupamiento de tales, por lo tanto cuantitativamente se obtiene un sesgo positivo comprobado con la prueba de asimetría de 1.3.

El raquis presenta una concentración media de 0.001 ± 0.0 %, con un coeficiente de variación de 0.29, un rango de 0.001, no existe diferencia intercuartilica y presenta valores máximos y mínimos de 0.002 y 0.001 %; la media y la mediana son estadísticamente iguales, y existe un agrupamiento de los datos en la parte inferior de los datos indicando un sesgo a la derecha, siendo corroborado con la prueba de asimetría de Fisher 0.53.

En la cascarilla, el contenido fue de 0.001 ± 0.0 %, con un coeficiente de variación de 0.22, un rango de 0.001, con diferencia intercuartilica de 0.001, valores máximos y mínimos de 0.002 y 0.001 %; la media y la mediana son estadísticamente iguales, y existe un ligero agrupamiento de los datos en la parte superior indicando un sesgo negativo, siendo corroborado con la prueba de curtosis de Fisher -2.55.

Sridhard and AdeOluwa (2009) realizaron una investigación sobre la utilización de residuos de la palma, indicando al raquis como posible compuesto para compostaje, ellos reportan 0.011 % de manganeso sin embargo difieren por mucho en lo encontrado junto con Singh *et al.* (2011) quienes reportan 0.023 % en raquis, debido al estudio de la eficiencia de vermicomposta a partir de los residuos de palma.

Fibra detergente neutro (FDN)

El contenido de fibra detergente neutro se muestra en la Figura 13, conformada por los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

La cascarilla es la que presenta el mayor concentración media de 85.5 ± 2.6 %, con un coeficiente de variación de 0.03, un rango de 7.8, con una diferencia intercuartilica de 2.3, valores máximos y mínimos de 88.9 y 81.09 %, la media y la mediana son estadísticamente iguales y existe una concentración de los datos en la parte superior teniendo un sesgo negativo comprobado con la prueba de asimetría de Fisher de -0.57.

El raquis tiene un contenido de 82.7 ± 1.7 %, con un coeficiente de variación de 0.02, un rango de 6.4, con una diferencia intercuartilica de 2.8, valores máximo y mínimo de 85.1 y 75.8 %, la media y la mediana son estadísticamente similares, los datos se presentan de manera normal o mesocúrtica y es corroborado con la prueba de asimetría de Fisher de 0.4.

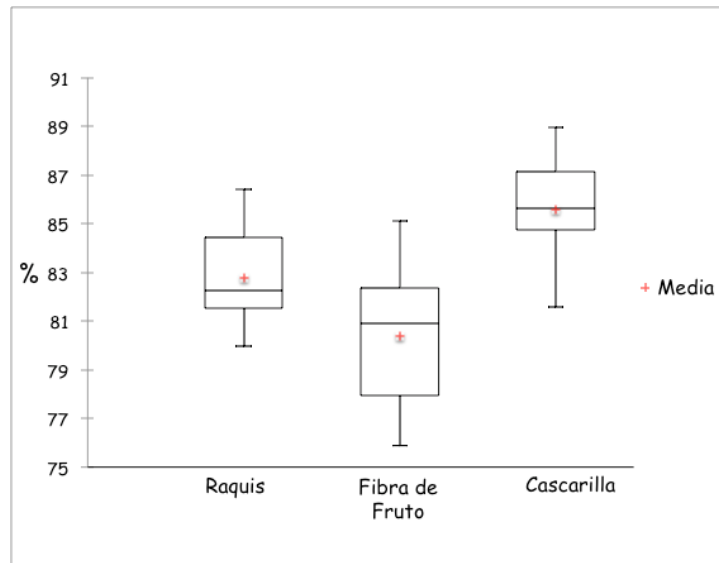


Figura 13. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de FDN (%) en los residuos sólidos.

La fibra de fruto se encuentra con una concentración media de 80.3 ± 2.66 %, con un coeficiente de variación de 0.03, un rango de 9.2, con una diferencia intercuartilica de 4.4, sus valores máximos y mínimos son de 88.9 y 81.09 %, la media y la mediana son estadísticamente similares y los datos se encuentran distribuidos de forma normal proporcionando simetría lo cual es corroborado con la prueba de asimetría de Fisher -0.3.

Podemos observar en Gomez-Vazques *et al.* (2010) contenidos en la fibra de 52 %, aunque no indican si se refieren a la fibra de fruto o la fibra de raquis, por su parte Cuesta *et al.* (2000) reportan cifras de 77 % en la fibra de fruto, acercándose a lo reportado en este estudio, ellos aplican la amonificación aumentando así la disponibilidad en la utilización de nutrimentos.

En los alimentos con altos contenidos fibrosos se ha implementado tratamiento biotecnológicos a la fibra mediante fermentación en estado sólido, siendo una práctica que puede incrementar la degradabilidad de la FDN Galindo y Marrero (2005). Gómez-Vázquez *et al.* (2010) señalan que con la adición de un mineral orgánico se incrementa el consumo y se mejora su digestibilidad para el ganado bovino.

Fibra detergente ácido (FDA)

El contenido de fibra detergente ácido se muestra en la Figura 14, conformada por los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

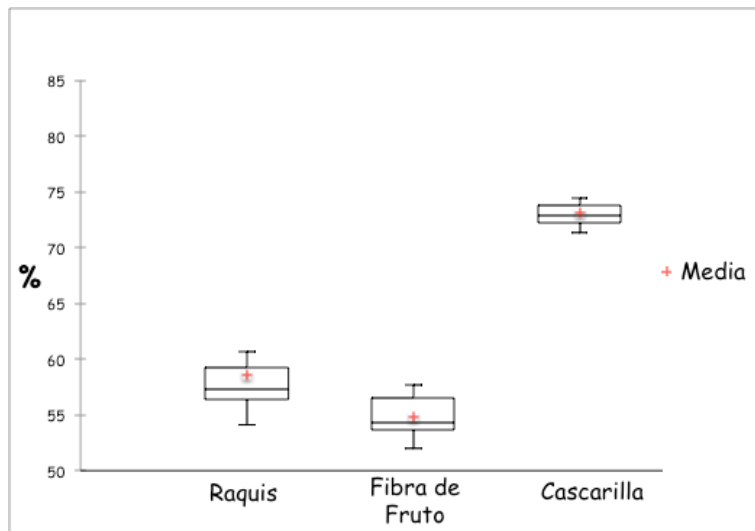


Figura 14. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de FDA (%) en los residuos sólidos.

La cascarilla indica un contenido medio de 73.1 ± 1.6 %, con un coeficiente de variación de 0.02, un rango de 5.4, con una diferencia intercuartilica de 1.5, valores máximos y mínimos de 76.8 y 71.3 %, la media y la mediana son estadísticamente similares y debido a la poca variabilidad de los datos y la cercanía los límites máximos y mínimos únicamente puede constatar un sesgo a la derecha con la prueba de asimetría de Fisher de 1.3.

El raquis revela una concentración media de 78.6 ± 3.6 %, con un coeficiente de variación de 0.06, un rango de 13.4, con una diferencia intercuartilica de 2.8, valores máximos y mínimos de 67.6 y 54.1 %, la media se encuentra por encima de la mediana debido a la poca variabilidad de los datos y la cercanía los límites máximos y mínimos únicamente puede constatar un sesgo a la derecha con la prueba de asimetría de Fisher de 1.6.

La fibra de fruto indica un contenido de 54.8 ± 1.8 %, con un coeficiente de variación de 0.03, un rango de 5.6, con una diferencia intercuartilica de 2.8, valores máximos y mínimos de 57.6.8 y 52.0 %, la media y la mediana son estadísticamente similares, los datos se encuentran ligeramente agrupados en la parte superior pudiendo mostrarse una distribución platocúrtica corroborada con la prueba de curtosis de Fisher de -1.4.

Gómez-Vázquez *et al.* (2010a) reportan a la fibra con 36.4 % aunque no indican si se refieren a la fibra de fruto o la fibra de raquis, por su parte *et al.* (2000) reportan cifras de 65.7 % ubicándose por encima a lo reportado en este estudio.

Hemicelulosa

El contenido de fibra hemicelulosa se muestra en la Figura 15, conformada por los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

La fibra de fruto indica una concentración media de 25.4 ± 2.6 %, con un coeficiente de variación de 0.10, un rango de 11.6, con una diferencia intercuartilica de 3.4, sus valores máximos y mínimos son de 30.61 y 18.96 %, la media y la mediana son estadísticamente iguales y los datos se concentran en la parte superior desarrollando una distribución sesgada a la izquierda corroborada por prueba de asimetría de Fisher de -0.43.

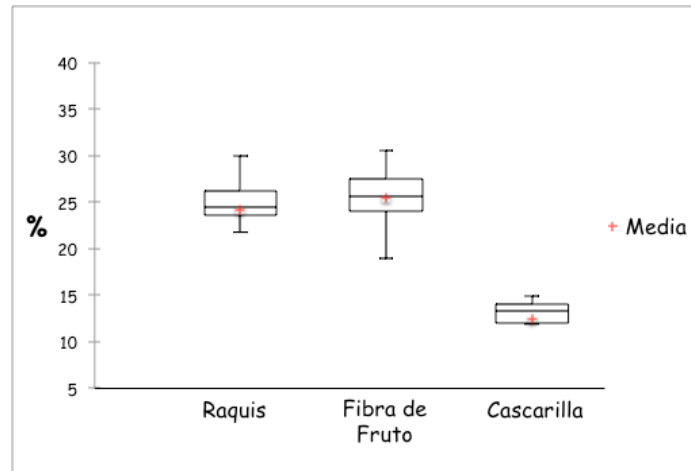


Figura 15. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de hemicelulosa (%) en los residuos sólidos.

El contenido de raquis es de 24.1 ± 3.7 %, con un coeficiente de variación de 0.15, un rango de 16.4, con una diferencia intercuartílica de 2.5, valores máximos y mínimos de 29.9 % y 13.5 %, la media se encuentra ligeramente por debajo de la mediana son y los datos con valores menores se agrupan formando una distribución sesgada a la derecha corroborada por prueba de curtosis de Fisher de 1.8.

La cascarilla presenta una concentración media de $12.4 \pm 2.7\%$, con un coeficiente de variación de 0.20, un rango de 8.3, con una diferencia intercuartílica de 2.0, valores máximos y mínimos de 14.9 y 6.6 %, la media se encuentra por debajo de la mediana y los datos se concentran en la parte inferior mostrando una distribución sesgada a la derecha corroborada por prueba de curtosis de Fisher de 0.1.

Won *et al.* (2013) nos reportan que el contenido de hemicelulosa en raquis es de 22.1 % donde es similar al encontrado; sin embargo en cascarilla reportan 30.6 %, siendo sus valores mayores a los determinados en este trabajo; por otro lado Gómez-Vázquez *et al.* (2010) y Piñero-Castro y Velásquez-Lozano (2014) presentan datos de 15.43 % siendo de igual forma menores. En una revisión sobre los componente de las fibras de la palma de aceite Shinoj *et al.* (2011) muestran un rango de 17.5 a 33.5 % donde los reportado queda dentro de los valores dados.

Lignina

Los datos de lignina se muestra en la Figura 16, conformada por los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

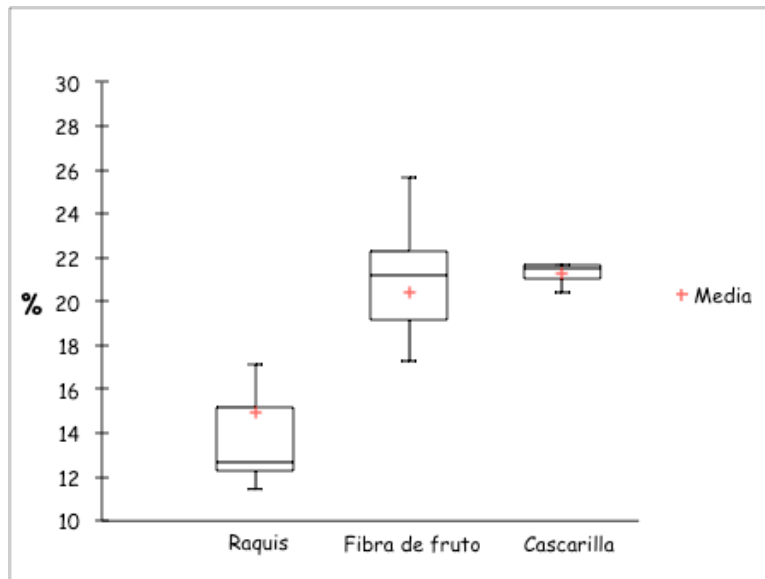


Figura 16. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de lignina (%) en los residuos sólidos.

La fibra de fruto contiene una media de 20.4 ± 3.2 % de lignina, con un coeficiente de variación de 0.15, un rango de 14.2, con una diferencia intercuartílica de 3.1, valores máximos y mínimos de 25.6 y 11.3 %, la media se encuentra estadísticamente debajo de la mediana; los datos se concentran en la parte inferior desarrollando una curtosis leptocúrtica que es corroborada por la prueba de curtosis de Fisher de 3.4.

El contenido de lignina en raquis es de 14.9 ± 4.5 %, con un coeficiente de variación de 0.30, un rango de 15.2, con una diferencia intercuartílica de 2.8, valores máximos y mínimos de 26.6 y 11.4 %, la media se encuentra por encima agrupándose en la parte inferior la mayoría de los valores denotando una distribución sesgada a la derecha corroborada por prueba de asimetría de Fisher de 1.6.

La cascarilla cuenta con una concentración media de 21.2 ± 0.4 %, con un coeficiente de variación de 0.02, un rango de 1.2, con una diferencia intercuartílica de 0.6, valores máximos y mínimos de 21.6 y 20.4 %, la media y la mediana son estadísticamente iguales los datos se concentran ligeramente la parte superior mostrando mayor dispersión en los datos menores, por lo tanto de acuerdo con la prueba de asimetría de Fisher de -1.2, los datos tienen un sesgo inclinado a la izquierda.

En la concentración de lignina varios autores (Sulaiman *et al.*, 2011; Mohammed *et al.*, 2011; Shijoj *et al.*, 2011; Won *et al.*, 2013; Piñeros-Castro y Velazquez-Lozano, 2014) coinciden con los contenidos presentes en el raquis de 18.1 % a 25.1%, siendo similar a los valores reportados en este estudio; en lo que concierne a la fibra de fruto diversos autores (Sreekala *et al.*, 1997; Mohammed *et al.*, 2011 Riansa-ngawong Y Prasertan 2011) afirman cantidades de 17 - 25 %, estos valores se hallan dentro de los rangos encontrados en esta tesis y por último Mohammed *et al.* (2011) indica un porcentaje de 50.7 de contenido de lignina en cascarilla encontrándose por encima de lo reportado en esta investigación.

Celulosa

Los datos de celulosa se muestra en la Figura 17, conformada por los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

El contenido de raquis presenta una media de 50.3 ± 9.2 %, con un coeficiente de variación de 0.18, un rango de 31.9, con una diferencia intercuartílica de 9.1, valores máximos y mínimos de 63.9 y 32.0 %, la media se encuentra por debajo de la mediana agrupándose los valores en la parte superior, mostrando una asimetría negativa que es constatada con la prueba de asimetría de Fisher de -0.6.

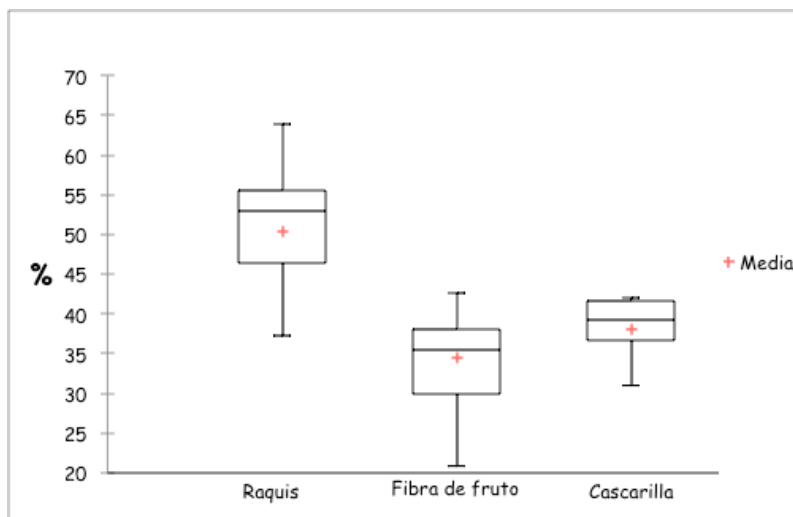


Figura 17. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de celulosa (%) en los residuos sólidos.

La fibra de fruto tiene un contenido medio de 34.4 ± 5.9 %, con un coeficiente de variación de 0.17, un rango de 21.8, con una diferencia intercuartilica de 8.1, valores máximos y mínimos de 42.7 y 20.8 %, la media se encuentra ligeramente por debajo de la mediana; los datos se concentran en la parte superior desarrollando una curtosis platocúrtica que es corroborada por la prueba de Curtosis de Fisher de -0.1.

La cascarilla cuenta con una concentración media de 38.1 ± 4.0 %, con un coeficiente de variación de 0.10, un rango de 11, con una diferencia intercuartilica de 0.6, valores máximos y mínimos de 42.2 y 31.0 %, la media se encuentra ligeramente por debajo de la mediana; los datos se concentran en la parte superior desarrollando un sesgo a la izquierda que es corroborada por la prueba de asimetría de Fisher de -1.1.

Diversos autores (Sulaiman *et al.*, 2011; Piñeros-Castro y Velazquez-Lozano, 2014) afirman valores en el contenido de celulosa de 45 % hasta 60 %, los cuales se encuentran dentro de los rangos obtenidos en esta tesis, por su parte Won *et al.* (2013) reportan un valor de 22 % encontrándose por debajo de los valores en este trabajo; en lo que respecta al contenido de celulosa en la fibra de fruto, Mohammed *et al.* (2011) y Riansa-ngawong Y Prasertan (2011) reportan valores de 32 y 38 %, estos son similares a los reportados dentro de esta investigación, por su parte Sreekala *et al.* (1997)

reporta valores de 60 % los cuales se encuentran muy por encima a la media reportada en esta tesis. En los valores encontrados en la cascarilla solo Mohammed *et al.* (2011) afirman encontrar 20% de contenido de celulosa, este valor difiere de lo reportado en esta tesis.

RESIDUOS LÍQUIDOS

Grasas

El contenido de grasa se muestra en la Figura 18, conformada por el flujo de entrada, laguna 1, laguna 2 y laguna 3.

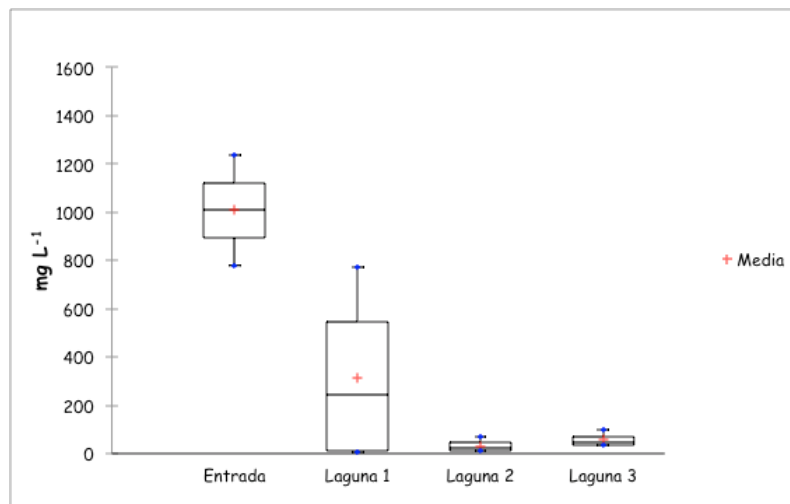


Figura 18. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de grasa (mg L⁻¹) en los residuos líquidos.

El flujo de entrada tiene una concentración media de 1008.0 ± 328.8 mg L⁻¹, con un coeficiente de variación de 0.22, un rango de 458.0, con una diferencia intercuartilica de 229, valores máximos y mínimos de 1237 mg y 779 mg L⁻¹, la media y la mediana son estadísticamente iguales, los datos estos se comportan de manera normal teniendo simetría y es comprobado con la prueba de asimetría de Fisher de 0.

La laguna 1 presenta un contenido medio de $314.3 \pm 324.7 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 1.0, un rango de 767, con una diferencia intercuartílica de 535, valores máximos y mínimos de 771 mg y 3.8 mg L⁻¹, la media se encuentra por encima de la mediana, en la distribución de los datos estos se comportan de manera muy irregular teniendo mucha variedad que se denota en la anchura de la caja, los valores inferiores se agrupan en la parte inferior teniendo un evidente sesgo a la derecha y es comprobado con la prueba de asimetría de Fisher de 0.52.

La laguna 2 presenta una concentración media de $31.5 \pm 25.6 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.8, un rango de 63.5, con una diferencia intercuartílica de 33.2, valores máximos y mínimos de 72.5 mg y 9 mg L⁻¹, la media se encuentra por encima de la mediana, los datos se agrupan ligeramente en la parte inferior siendo la mediana muy cercana al límite mínimo, por lo tanto de acuerdo con la prueba de asimetría de Fisher de 1.2 los datos se encuentran de forma positiva.

La laguna 3 exhibe un contenido medio de $55.2 \pm 25.9 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.4, un rango de 64.2, con una diferencia intercuartílica de 34.8, valores máximos y mínimos de 96.2 mg y 32 mg L⁻¹, la media se encuentra por encima de la mediana, los datos se agrupan ligeramente en la parte inferior siendo la mediana muy cercana al límite mínimo, por lo tanto de acuerdo con la prueba de asimetría de Fisher de 1.1, siendo los datos de forma positiva.

Uno de los rangos de grasa encontrados en la literatura oscila entre 4000 y 6000 mg L⁻¹ emitido por shumathi *et al.* (2008), parecido a ellos Ahmad *et al.* (2008) indican valores de 3700 mg L⁻¹; por otro lado Jing *et al.* (2012) encontraron datos un poco mayores de 8700 - 13, 800 mg L⁻¹; por su parte Yeong *et al.* (2010) reportan datos de 1000 - 7000 mg L⁻¹, estos últimos autores presentan un estudio donde examinan la eficiencia de diferentes tratamientos anaerobicos y con reactores de lodos activados donde indican una eficiencia de remoción de entre 80 y 93 %.

Cabe destacar que en el lugar de estudio se monitoreó tres veces por turnos la salida de aceite a las lagunas de estabilización, por lo tanto las diferencias de contenidos de grasas en el flujo de entrada tendrán un contraste marcado el día cuando lavan la planta, ya que remueven lo incrustado en toda la tubería.

Fósforo

El contenido de fósforo se muestra en la Figura 19, conformada por el flujo de entrada, laguna 1, laguna 2 y laguna 3.

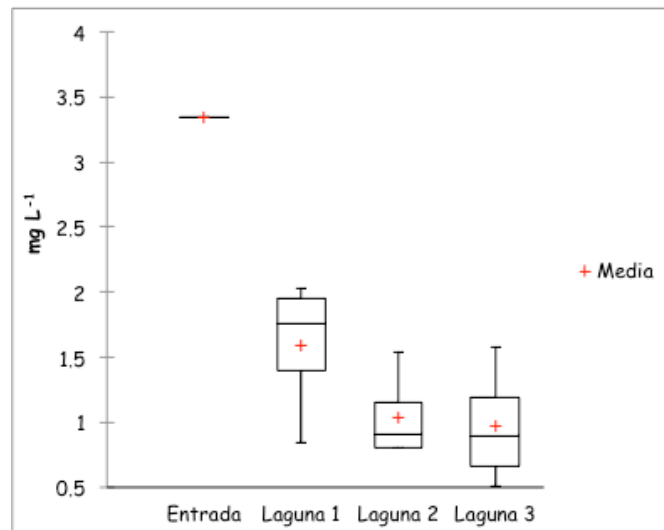


Figura 19. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de fósforo (mg L^{-1}) en los residuos líquidos.

El flujo de entrada tiene una concentración media de $3.34 \pm 0.02 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.001, un rango de 0.005, con una diferencia intercuartilica de 0.003, valores máximos y mínimos de 3.34 y 3.33 mg L^{-1} , la media y la mediana son estadísticamente iguales, los datos son de manera normal teniendo simetría y es comprobado con la prueba de asimetría de Fisher de 0.

La laguna 1 indicó un contenido medio de $1.5 \pm 0.4 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.29, un rango de 0.74, con una diferencia intercuartílica de 0.5, valores máximos y mínimos de 1.5 y 0.8 mg L^{-1} , la media se encuentra por debajo de la mediana, los datos se comporta de forma negativa, agrupándose en la parte superior la mayor parte de los valores, esto es corroborado con la prueba de asimetría de Fisher de -1.3.

La laguna 2 demostró una concentración media de $0.48 \pm 0.15 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.31, un rango de 0.5, con una diferencia intercuartílica de 0.24, valores máximos y mínimos de 0.81 mg y 0.30 mg L^{-1} , la media se encuentra por encima de la mediana, los datos se agrupan ligeramente en la parte inferior, indicando un sesgo completamente a la derecha donde siendo evidente la dispersión de los valores mayores, los datos son leptocúrticos y es comprobado con la prueba de asimetría de Fisher de 1.5.

La laguna 3 presentó un contenido medio de $0.96 \pm 0.4 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.42, un rango de 1.07, con una diferencia intercuartílica de 0.53, valores máximo y mínimo de 1.57 y 0.50 mg L^{-1} , la media se encuentra ligeramente por encima de la mediana, los datos se encuentran agrupados en la parte inferior siendo de forma positiva y es corroborado con la prueba de asimetría de Fisher de 0.7.

Varios autores (Cail and Barford, 1985; Singh *et al.*, 2010; Nasution *et al.*, 2011; Mohammad *et al.*, 2012) reportan valores de 17 y 180 mg L^{-1} , lo cual difiere en gran medida a lo reportado en este estudio, cabe destacar que uno de los muestreos fue llevado a cabo después de un día de lluvia, aunque no se encontró variación entre los datos.

Nitrógeno total

El contenido de nitrógeno total se muestra en la Figura 20, conformada por el flujo de entrada, laguna 1, laguna 2 y laguna 3.

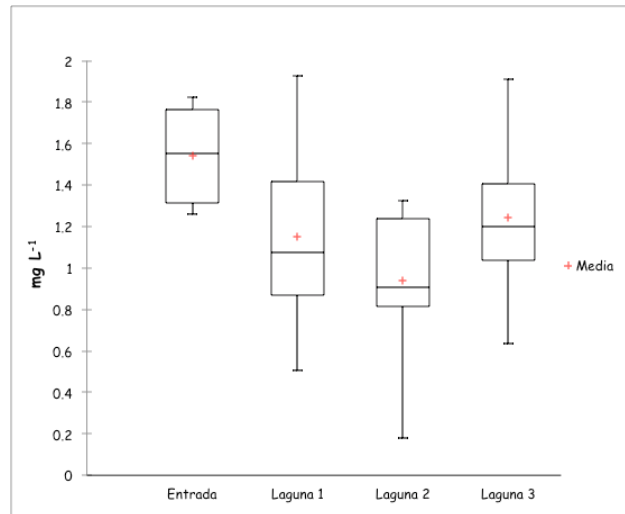


Figura 20. Gráfica de *Box-Plot* en contenido de nitrógeno total (mg L⁻¹) en los residuos líquidos.

El contenido de nitrógeno total en el flujo de entrada, mostró una media de 1.5 ± 0.3 mg L⁻¹, con coeficiente de variación de 0.15, un rango de 0.56, con una diferencia intercuartilica de 0.44, valores máximos y mínimos de 1.8 y 1.2 mg L⁻¹, la media y la mediana son estadísticamente iguales, los datos se comportan de manera normal teniendo simetría y es comprobado con la prueba de asimetría de Fisher de -0.0.

La laguna 1 presentó una concentración media de 1.1 ± 0.3 mg L⁻¹, con un coeficiente de variación de 0.34, un rango de 1.4, con una diferencia intercuartilica de 0.5, valores máximos y mínimos de 1.9 y 0.5 mg L⁻¹, la media se encuentra por encima de la mediana, los datos se agrupan en la parte inferior proporcionando un sesgo positivo que es corroborado con la prueba de asimetría de Fisher de 0.3.

La laguna 2 mostró un contenido medio de 0.9 ± 0.3 mg L⁻¹, con un coeficiente de variación de 0.3, un rango de 1.1, una diferencia intercuartilica de 0.4 y cuenta con

valores máximos y mínimos de 1.3 mg y 0.1 mg L⁻¹, la media se encuentra por encima de la mediana, los datos se agrupan ligeramente en la parte inferior, debido a la aglomeración de los datos en la parte superior se presenta un sesgo completamente a la izquierda, esto se puede constatar con la prueba de asimetría de Fisher de -0.9.

La laguna 3 exhibe una concentración media de 1.2 ± 0.3 mg L⁻¹, con un coeficiente de variación de 0.26, un rango de 1.2, con una diferencia intercuartilica de 0.3, con valores máximos y mínimos de 1.9 mg L⁻¹ y 0.6 mg L⁻¹, la media se encuentra ligeramente por encima de la mediana, los datos son simétricos, lo cual es afirmado por la prueba de asimetría de Fisher de 0.3.

Numerosos autores (Borja and Banks, 1994;. Ahmad *et al.*, 2003; Torres *et al.*, 2004; Yejian *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2010; Nasution *et al.*, 2011; Mohammad *et al.*, 2012; Gobi and Vadivelu, 2013) afirman valores entre 300 - 900 mg L⁻¹, mientras que otros autores (Cail and Barford, 1985; Rao, 2004; Khemkhao *et al.*, 2015) observaron concentraciones mayores, que van desde 920 a 1020 mg L⁻¹, algunos de los autores implementaron pre-tratamientos como la congelación de las muestras sin verse afectado en los resultados obtenidos, en contraste con lo obtenido en esta tesis, los valores presentados están muy por debajo de los encontrados en la literatura, pudiéndose deber a la metodología, cabe destacar que los datos obtenidos tuvieron muy poca variación y presentaron un índice alto de remoción a lo largo de las lagunas.

Demanda química de oxígeno (DQO)

El contenido de demanda química de oxígeno (DQO) se muestra en la Figura 21, conformada por el flujo de entrada, laguna 1, laguna 2 y laguna 3.

El flujo de entrada tiene una concentración media de $453\,208 \pm 353\,192$ mg L⁻¹, con un coeficiente de variación de 0.7, un rango de 706 384, con una diferencia intercuartilica de 353 192, valores máximos y mínimos de 806 400 y 100 016 mg L⁻¹, la

media y la mediana son estadísticamente iguales, los datos son simétricos y es comprobado con la prueba de asimetría de Fisher de 0.

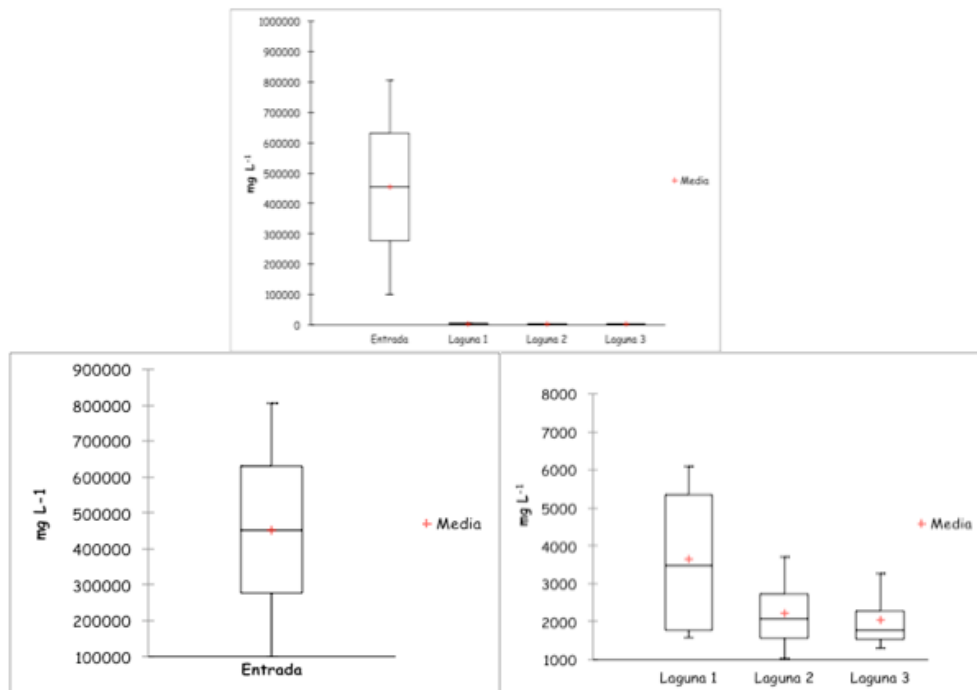


Figura 21. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de DQO (mg L⁻¹) en los residuos líquidos.

La laguna 1 presenta un contenido medio de 3654 ± 1976 mg L⁻¹, con un coeficiente de variación de 0.54, un rango de 4 500, con una diferencia intercuartilica de 3 585, y valores máximos y mínimos de 6 080 y 1 579 mg L⁻¹, la media se encuentra por encima de la mediana, los datos estos tienden a agruparse en la parte inferior demostrando mayor dispersión de los valores mayores, proporcionando una asimetría sesgada a la derecha que se puede constatar con la prueba de asimetría de Fisher de 0.14.

La laguna 2 presenta una concentración media de 2222 ± 990 mg L⁻¹, con un coeficiente de variación de 0.44, un rango de 2698, con una diferencia intercuartilica de 1 140, y valores máximos y mínimos de 3 724 y 1 025 mg L⁻¹, la media se encuentra por encima de la mediana, los datos se agrupan ligeramente en la parte inferior,

indicando una asimetría positiva y comprobado con la prueba de asimetría de Fisher de 0.7.

La laguna 3 presenta un contenido medio de $2\ 032 \pm 749\ \text{mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.36, un rango de 1 962, con una diferencia intercuartilica de 757, y valores máximos y mínimos de 3 268 y 1 305 mg L^{-1} , la media se encuentra por encima de la mediana y los datos se agrupan en la parte inferior siendo de forma leptocurtica y corroborado con la prueba de asimetría de Fisher de 1.4.

Cail and Barford (1985) son los únicos autores que reporta valores muy bajos en esta variable, ellos encontraron $70\ \text{mg L}^{-1}$; sin embargo, este valor pudiera ser muy bajo debido a que fue sometió a congelación y posterior fue analizado. Varios autores (Borja *et al.*, 1988; Mohammad *et al.*, 2012; Gobi and Vadivelu, 2013) reportan valores entre 6 100 y 10 410 mg L^{-1} siendo valores bajos observados únicamente en las lagunas 2 y 3, esto debido al tratamiento dado en la planta. Por otro lado diversos autores (Ng *et al.*, 1987; Borja and Banks, 1994; Ahmad *et al.*, 2003; Torres *et al.*, 2004; Ahmad *et al.*, 2008; Yejian *et al.*, 2008; Damayanti *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2010; Nasution *et al.*, 2011; Saidu *et al.*, 2014; Khemkhao *et al.*, 2015) engloban concentraciones altas de DQO que van desde 30 000 - 79 723 mg L^{-1} , que son parecidas a las encontradas, cabe destacar que se observa un decremento de los valores a medida que avanza el efluente en las lagunas.

Nitrógeno amoniacal

El contenido de nitrógeno amoniacal se muestra en la Figura 23, conformada por el flujo de entrada, laguna 1, laguna 2 y laguna 3.

El flujo de entrada tiene una concentración media de $344 \pm 135\ \text{mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.39, un rango de 270, con una diferencia intercuartilica de 135, con valores máximos y mínimos de 479 y 209 mg L^{-1} , la media y la mediana son

estadísticamente iguales, los datos son mesocúrticos, lo cual es evidenciado con la prueba de asimetría de Fisher de 0.

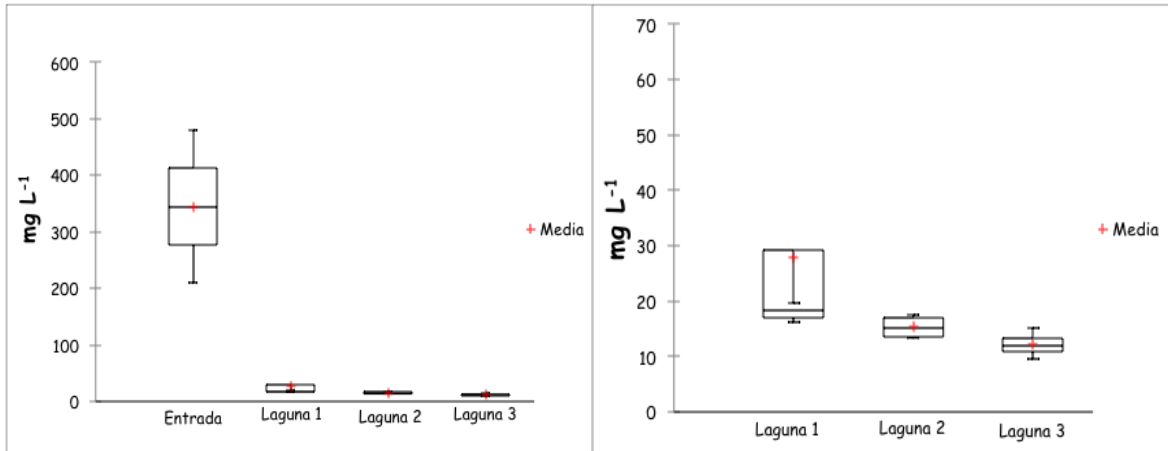


Figura 22. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de nitrógeno amoniacal (mg L^{-1}) de los residuos líquidos.

La laguna 1 presenta un contenido medio de $27.8 \pm 17 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.6, un rango de 42, con una diferencia intercuartílica de 12, cuenta con valores máximos y mínimos de 58 y 16 mg L^{-1} , la media se encuentra por encima de la mediana, en la distribución de los datos, estos son muy dispersos y los valores máximos se encuentran dentro del tercer cuartil, esto es debido a un valor atípico que eleva la media, los datos son con sesgo negativo, lo cual es constatado con la prueba de asimetría de Fisher de -5.5.

La laguna 2 presenta una concentración media de $15.3 \pm 1.8 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.12, un rango de 4.1, con una diferencia intercuartílica de 3.5, con valores máximos y mínimos de 17 y 13 mg L^{-1} , la media y la mediana son estadísticamente iguales, los datos se distribuyen de manera normal proporcionando simetría, esto es corroborado con la prueba asimetría de Fisher de 0.

La laguna 3 indica un contenido medio de $12 \pm 2 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.1, un rango de 5, con una diferencia intercuartilica de 2.3, sus valores máximos y mínimos son de 15 y 9 mg L^{-1} , la media y la mediana son estadísticamente iguales, los datos se distribuyen de manera normal proporcionando simetría, esto es corroborado con la prueba asimetría de Fisher de 0.

Damayanti *et al.* (2010) reportan valores de 4.2 mg L^{-1} , estos valores se encuentran por debajo de los encontrados en esta tesis, sin embargo no especifican de que parte del proceso toman estas lecturas o si agregaron algún tratamiento a los efluentes; por otro lado algunos autores (Yejian *et al.*, 2008; Nasution *et al.*, 2011; Saidu *et al.*, 2014) reportan valores entre 51 y 72 mg L^{-1} , no indicando que parte del proceso analizan estos valores se encuentran dentro de los reportados en esta investigación en las lagunas 1, 2 y 3 encontrándose por debajo de la cantidad de nitrógeno amoniacal del flujo de entrada a las lagunas.

DETERMINACIONES FÍSICAS

RESIDUOS SÓLIDOS

Determinación de humedad

El contenido de humedad se muestra en la Figura 24, conformada por los coproductos fibra, raquis y cascarilla.

El raquis tiene una concentración media de $54.8 \pm 5.1 \%$, con un coeficiente de variación de 0.09, un rango de 18.16, con una diferencia intercuartilica de 6.6, sus valores máximos y mínimos son de 65.5 y 47.3 %, la media se encuentra por encima de la mediana, los datos se concentran en la parte inferior mostrando un sesgo positivo que es corroborado con la prueba de asimetría de Fisher de 0.51.

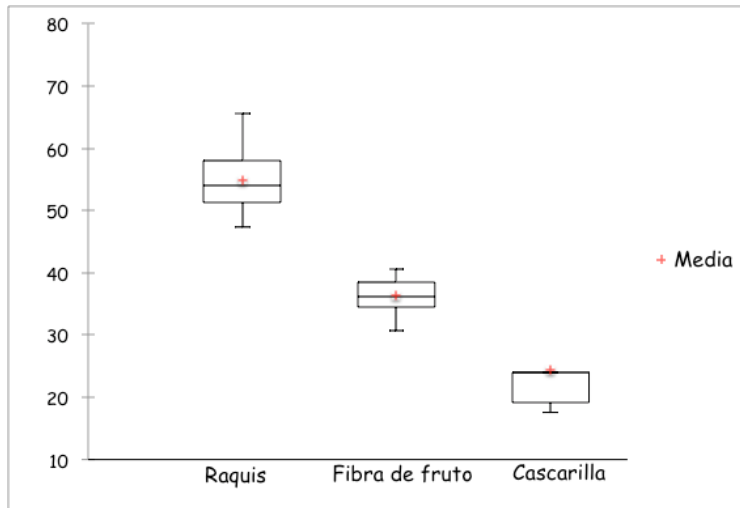


Figura 23. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de humedad (%) en los residuos sólidos.

La fibra de fruto consta de un contenido medio de 36.3 ± 3.2 %, con un coeficiente de variación de 0.08, un rango de 9.8, con una diferencia intercuartilica de 4.0, valores máximos y mínimos de 40.5 y 30.6 %, la media y la mediana son estadísticamente iguales, los datos se concentran en la parte superior mostrando un sesgo negativo, lo cual es corroborado con la prueba de asimetría de Fisher de -0.3.

La cascarilla tiene una concentración media de 24.4 ± 7.8 %, con un coeficiente de variación de 0.2, un rango de 19.8, con una diferencia intercuartilica de 4.8 y valores máximos y mínimos de 37.4 y 17.5 %, la media se encuentra por encima de la mediana, los valores máximos se encuentran pegados al tercer cuartil y debido a eso la distribución de los datos solo podemos describirla mediante la prueba de asimetría de Fisher de 1.51 que nos indica una distribución positiva o sesgada a la derecha.

Yussof (2006) reporta contenidos de humedad en raquis y fibra de fruto de 65 y 42 % respectivamente, y en el caso de la cascarilla un contenido de 7 %, por otro lado los valores en el raquis concuerdan con lo reportado por Faisal y Mahidin (2013) quienes reportan valores 47 y 51 %, la variación de los resultados está ligado al post-tratamiento de la planta, ya que una vez terminado el proceso los residuos de fibra de fruto junto con la cascarilla, son secados para la utilización como combustible en la caldera. Nur y Siddiquee (2013) indican un 70 % en raquis. Así mismo Mekhilef *et al.*

(2011) reportan en raquis 60 %, fibra de fruto 40 % y la cascarilla 20 %, que son valores un poco similares a los reportados en estudio.

Por lo tanto existe una mayor susceptibilidad de proliferación de microorganismos en el raquis, ya que la humedad óptima para el adecuado crecimiento de hongos y levaduras se encuentran entre el 90 y el 50 % (Azin *et al.*, 2007). De acuerdo con Gutiérrez (1995), el agua disuelve los nutrientes y facilita su acceso a las células permitiendo su crecimiento.

RESIDUOS LÍQUIDOS

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El contenido de sólidos sedimentables se muestra en la Figura 25, conformada por el flujo de entrada, laguna 1, laguna 2 y laguna 3.

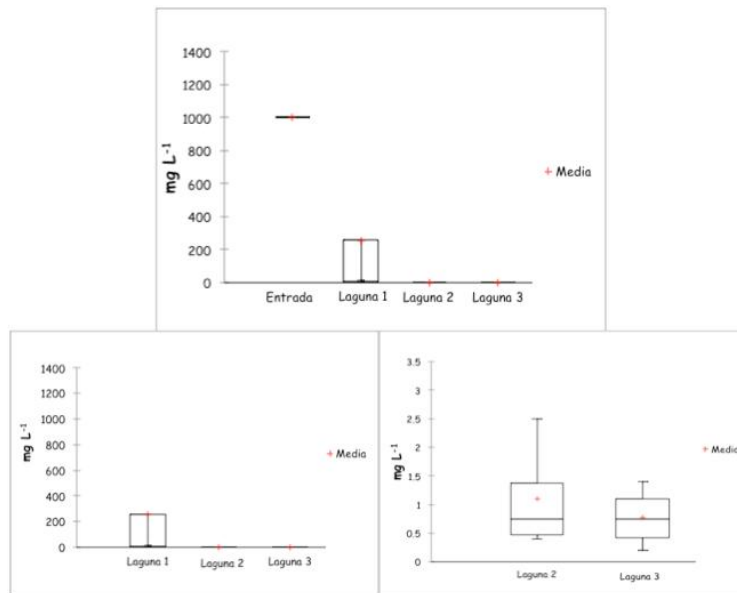


Figura 24. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de demanda bioquímica de oxígeno (mg L⁻¹) en los residuos líquidos.

El flujo de entrada tiene una concentración media de $1\ 000 \pm 2$ mg L⁻¹, con un coeficiente de variación de 0, sin rango ni diferencia intercuartílica, sus valores máximos y mínimos son de 1 000 mg L⁻¹, la media y la mediana son estadísticamente iguales, en la distribución de los datos estos se comportan de manera normal siendo mesocúrtica y es evidenciado con la prueba de asimetría de Fisher de 0.

La laguna 1 presenta un contenido medio de 253 ± 431 mg L⁻¹, con un coeficiente de variación de 1.7, un rango de 999, con una diferencia intercuartílica de 258, los valores máximos y mínimos son de 1 000 y 0.3 mg L⁻¹, la media se encuentra

por encima de la mediana, los datos son demasiados dispersos pudiendo deberse a que en uno de los días de recolección de muestra existió presencia de precipitación pluvial, no obstante la prueba de asimetría de Fisher de 1.9 denota un sesgo a la derecha proporcionado un asimetría porsitiva.

La laguna 2 presenta una concentración media de $1.1 \pm 0.8 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.7, un rango de 2.1, con una diferencia intercuartilica de 0.9 y valores máximos y mínimos son de 2.5 y 0.4 mg L^{-1} , la media se encuentra por encima de la mediana, y los datos se agrupan en la parte inferior denotando un sesgo a la derecha, esto es corroborado con la prueba asimetría de Fisher de 1.5.

La laguna 3 presenta un contenido medio de $0.75 \pm 0.4 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.5, un rango de 0.6, con una diferencia intercuartilica de 0.6 y valores máximos y mínimos son de 1.2 y 0.4 mg L^{-1} , la media y la mediana son estadísticamente iguales, los datos son simétricos, esto es corroborado con la prueba asimetría de Fisher de 0.1.

En los datos de contenido de demanda bioquímica de oxígeno, se observa mucha variabilidad, cabe destacar que en las mediciones hechas en el flujo de entrada los valores no tuvieron variación, Torres *et al.* (2004) reportaron una concentración de sólidos sedimentables de 950 mg L^{-1} , este valor se encuentra muy cercano al reportado en esta tesis, la mayoría de los estudios realizados en efluentes de extracciones de aceites no muestran esta variable, sin embargo es de suma importancia conocer los valores de sedimentación que pudieran presentarse en los lodos formados en el fondo de las lagunas.

Sólidos suspendidos totales

El contenido de sólidos suspendidos totales se muestra en la Figura 26, conformada por el flujo de entrada, laguna 1, laguna 2 y laguna 3.

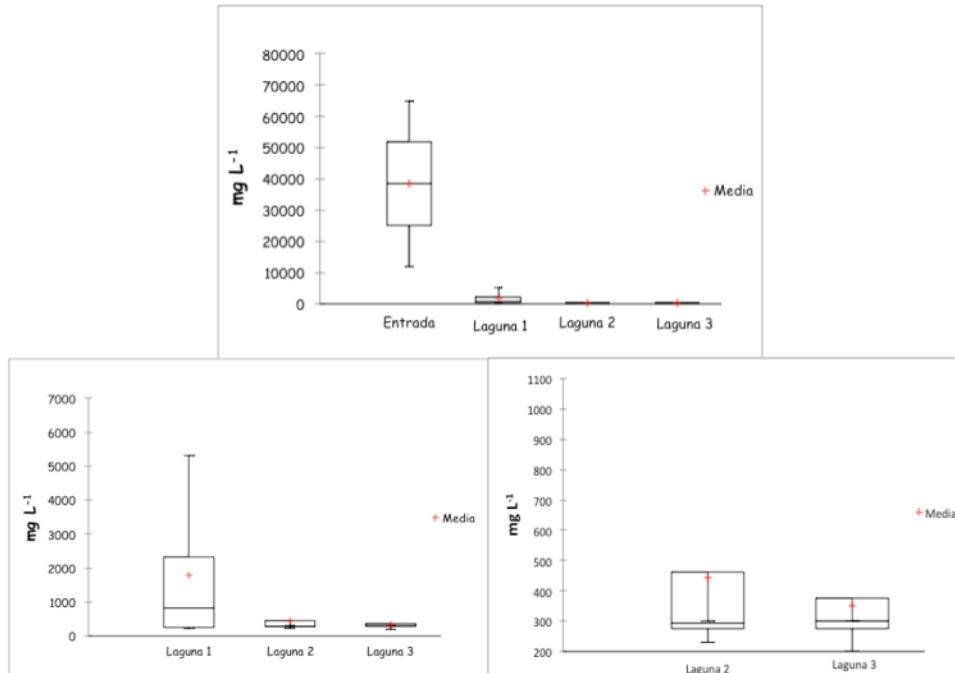


Figura 25. Gráfica de *Box-Plot* del contenido de sólidos suspendidos (mg L^{-1}) en los residuos líquidos.

El flujo de entrada tiene una media de $38\,500 \pm 26\,500 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.6, con un rango de 53 000 y una diferencia intercuartilica de 26 500, sus valores máximos y mínimos son de 65 000 y 12 000 mg L^{-1} , la media y la mediana son estadísticamente iguales, en la distribución de los datos estos se comportan de manera normal siendo mesocúrtica, lo cual es evidenciado con la prueba de asimetría de Fisher de 0.

La laguna 1 presenta una media de $1\,788 \pm 2\,077 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 1.1, un rango de 5 080, con una diferencia intercuartilica de 2 073, los valores máximos y mínimos son de 5 300 y 220 mg L^{-1} , la media se encuentra por encima de la mediana, los datos se agrupan en la parte inferior denotando un sesgo a la derecha o simetría positiva, esto es constatado por la prueba de asimetría de Fisher de 1.7.

La laguna 2 presenta una media de $443 \pm 294 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.6, un rango de 720, con una diferencia intercuartilica de 188, sus valores máximos y mínimos son de 950 y 230 mg L^{-1} , los datos se encuentran demasiados dispersos y el límite superior se encuentra entre el 3er cuartil, la media se localiza por encima de la mediana, y los datos se agrupan en la parte inferior denotando un sesgo a la derecha, esto es corroborado con la prueba asimetría de Fisher de 1.9.

La laguna 3 presenta una media de $350 \pm 150 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.4, un rango de 0.6, con una diferencia intercuartilica de 100, sus valores máximos y mínimos son de 600 y 200 mg L^{-1} , la media se delimita por encima de la mediana, y los datos se agrupan en la parte inferior denotando un simetría leptocúrtica, esto es corroborado con la prueba asimetría de Fisher de 1.5.

En lo que respecta a las concentraciones de solidos suspendidos totales obtenidos en esta investigación, es notable un decremento en el avance de los efluentes en las lagunas, varios autores (Ahmad *et al.* 2008; Yejian *et al.* 2008; Gobi and Vadivelu 2013) reportaron valores de entre $42\ 000\text{--}54\ 000 \text{ mg L}^{-1}$, los cuales se sitúan por encima de lo encontrado en esta tesis, por otro lado diversos autores afirman valores menores a los anteriores que oscilan entre los $14\ 800\ 000 \text{ mg L}^{-1}$ y $20\ 650\ 000 \text{ mg L}^{-1}$, los cuales entran dentro de los datos obtenidos en los efluentes estudiados, sin embargo cabe destacar que la variación de los sólidos suspendidos tendrá cabida en la laguna de retención de ácidos grasos, esta laguna tiene la comitiva de captar la mayor parte de los sólidos suspendidos con el fin de poder ser utilizados como grasa de tercera y tener un valor agregado en el proceso.

pH

Los datos de pH se muestran en la Figura 27, conformada por el flujo de entrada, laguna 1, laguna 2 y laguna 3.

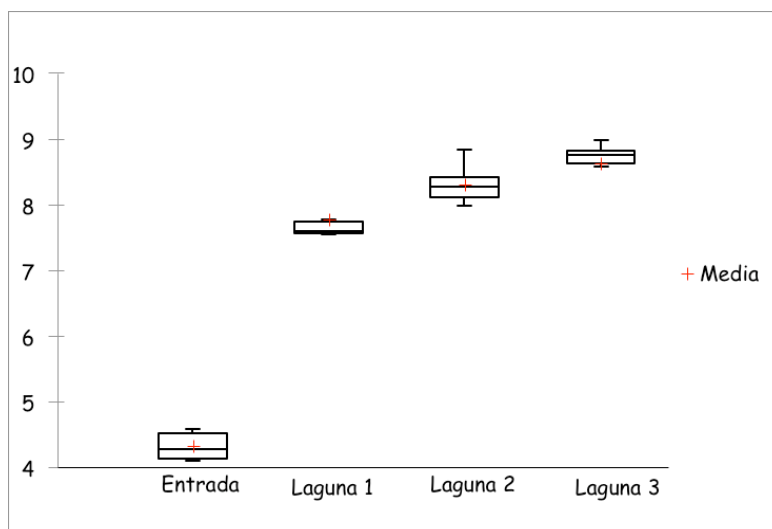


Figura 26. Gráfica de *Box-Plot* de los datos de pH, en los residuos líquidos.

El flujo de entrada tiene una media de $4.32 \pm 0.2 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.04, con un rango de 0.49 y una diferencia intercuartílica de 0.38, sus valores máximos y mínimos son de 4.5 y 4.1 mg L^{-1} , la media se encuentra ligeramente por encima de la mediana, los datos se comportan de manera normal proporcionando simetría, lo cual es justificado con la prueba de asimetría de Fisher de 0.2.

La laguna 1 presenta una media de 7.7 ± 0.4 , con un coeficiente de variación de 0, un rango de 1.4, su diferencia intercuartílica es de 0.1, sus valores máximos y mínimos son de 8.6 y 7.2 mg L^{-1} , la media se encuentra por encima de la mediana, los datos se agrupan en la parte inferior denotando un sesgo a la derecha, esto es constatado por la prueba de asimetría de Fisher de 1.5.

La laguna 2 presenta una media de $8.3 \pm 0.2 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0.6, un rango de 0.8, una diferencia intercuartílica de 0.3, con valores máximos y mínimos son de 8.8 y 7.9 mg L^{-1} , los datos se son notablemente concentrados en la parte inferior indicando una curtosis leptocurtica, esto es afirmado con la prueba asimetría de Fisher de 0.7.

La laguna 3 presenta una media de $8.6 \pm 0.3 \text{ mg L}^{-1}$, con un coeficiente de variación de 0, un rango de 1.1, con una diferencia intercuartilica de 0.1, sus valores máximos y mínimos son de 8.9 y 7.8 mg L^{-1} , la media se fija por debajo de la mediana, debido a que los valores mínimos se encuentran muy cerca del 3er cuartil se carece de un bigote inferior, por lo anterior es difícil apreciar el agrupamiento en la parte superior de los datos, no obstante con la prueba asimetría de Fisher de -1.7 se puede verificar la asimetría negativa con la que cuentan los datos en esta laguna.

Diversos autores (Borja *et al.*, 1998; Ahmad *et al.*, 2003; Yejian *et al.*, 2008; Shing *et al.*, 2010; Stichnothe y Schuchardt, 2011; Choi *et al.*, 2013; Gobi y Vadivelu, 2013; Mohammed *et al.*, 2014) concuerdan con valores de pH ácidos entre 3 y 6, solo unos cuantos autores como Mohammad *et al.* 2012 y Mohammed and Chong 2014 afirman rangos entre 4 y 8 unidades de pH, en lo que respecta a los datos de esta tesis el efluente entra a las lagunas con un pH ácido al paso de las lagunas se comporta de manera alcalina, cabe destacar que los datos tuvieron poca variación y no se vio afectado por las lluvias entre los muestreos.

7 CONCLUSIONES

Con base en los análisis físico-químicos realizados a los desechos sólidos, tales como N, P, K es posible el reusó de la fibra de fruto como fuente de nutrientes a través de composta. De la misma forma la cantidad encontrada de lignina y celulosa son de alto potencial en la creación de polímeros.

En la comparación de los resultados obtenidos la literatura, se concluye de manera clara que el raquis tiene un alto potencial en la fabricación de nanopapel, otorgando el valor agregado a dicho residuo agroindustrial que se encuentra ampliamente disponible.

La fibra de fruto tiene potencial para la implementación de fibra en dietas para cerdos y animales rumiantes debido a sus concentraciones de grasas y el contenido de fibra.

El raquis debido a su cantidad y las propiedades es viable en el uso de briquetes para el manejo no solo en calderas sino como fuente de energía calorífica en otras empresas tales como las rosticerías, las panaderías, entre otras.

En la caracterización residual se constató que los efluentes son ácidos y con una alta carga orgánica, sin embargo con el tratamiento dado en la planta, pueden ser destinados a la fertilización en forma de riego.

La temperatura del efluente se encuentra definido por el proceso de la planta, y la temperatura de las lagunas de estabilización depende de las condiciones ambientales del lugar donde se encuentra situada la planta de extracción AGROIPSA.

Los periodos de retención para las lagunas estabilizadoras 1, 2 y 3 (3 semanas), son aceptables.

El tratamiento expedido por la planta rinde un alto porcentaje de remoción, sin embargo cabe destacar que los valores obtenidos no cumplen con las normas de calidad de agua.

8 Recomendaciones

Estudiar las propiedades químicas de ingreso de la materia prima, pudiera constatar el incremento o variación de las cantidades de nutrientes en los residuos.

Es necesario realizar análisis en diferentes épocas del año para analizar la influencia de las condiciones ambientales.

La realización de un análisis en los lodos sedimentados de las lagunas de estabilización podrá permitir un mayor panorama del impacto ambiental y así mismo conocer si debido a la gran carga orgánica pudiesen ser utilizados con o sin tratamiento en algún otro rubro.

Se debería tener a consideración algún prototipo para las lagunas, que conlleve a la obtención de gas metano pudiendo así mitigar y dar valor agregado a los efluentes.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Abdullah, N., and H. Gerhauser. 2008. Bio-oil derived from empty fruit bunches. *Fuel* 87:2606–2613.
- Ahmad A., L., M. Chong F., and S. Bhatia. 2008. Population balance model (PBM) for flocculation process: simulation and experimental studies of palm oil mill effluent (POME) pretreatment. *Journal Chemical Engineering* 140: 86-100.
- Ahmad L., A., Ismail S. and Bhatia. 2003. Water recycling from palm oil effluent (POME) using membrane technology. *Desalination* 157: 87-95.
- Alfaro C., M., y A. Ortiz. E. 2006. Proceso de producción del aceite de palma, ministerio de agricultura gerencia de Palma. Consejo Nacional de producción servicio información de mercados, 5pp.
- Altomare V., C., Fernández y M. Ros. 2008. Utilización de un desecho agroindustrial proveniente de una empresa refinadora de aceite comestible para la producción de jabones. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*. 31: 114-121.
- Asadullah M., N., S. Ab R., S. A. Syed A., and A. Azdarpour. 2013. Production and detailed characterization of bio-oil from fast pyrolysis of palm kernel shell. *Biomass and Bioenergy* 59: 316-324.
- Azin M., Moravej R., y D. Zareh. 2007. Production of xylanase by *Trichoderma longibrachiatum* on a mixture of wheat bran and wheat straw: Optimization of culture condition by Taguchi method. *Enzyme and Microbial Technology* 40: 801-805.

- Bakar A., A., Hassan A., y F. Yusof M. 2006. The effect of oil extraction of the oil palm empty fruit bunch on the processability, impact, and flexural properties of PVC-U composites. *International Journal of Polymeric Materials* 55: 627–641.
- Baldrian P., and V., Válskowá. 2008. Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi. *FEMS Microbiol* 32: 501-521.
- Borja R., Banks J., C., Wang Z. And A. Mancha. 1998. Anaerobic digestion of slaughterhouse wastewater using a combination sludge blanket and filter arrangement in a single reactor. *Bioresource Technology* 65: 125-133.
- Cail R., G., And J. Barford P. 1985. Thermophilic semi-continuous anaerobic digestion of palm-oil mill effluent. *Agricultural Wastes* 13: 295-304.
- Chavalparit O., Rulkens W. H., Mol A. P. J and S. Khaodhair. 2006. Options for environmental sustainability of the crude palm oil industry in Thailand through enhancement of industrial ecosystems. *Environment, Development and Sustainability* 8:271-287.
- Choi W., Shin C., Son S., Ghorpade A., Kim K., and J., Park. 2013. Anaerobic treatment of palm oil mill effluent using combined high rate anaerobic reactors. *Bioresour Technology* 141: 138–144.
- Chun Y., Y., Abdul K., S., Pei L., Y., Nawirah S., S. and Z. Zamzuri. 2008. An investigation into physicochemical characteristics of ash produced from combustion of oil palm biomass waste in a boiler. *Fuel Processing Technology*: 89 693-696.

- Cuesta P., A., Conde P., A., Y M., L., Moreno S. 2000. Tratamiento y calidad nutritiva de subproductos fibrosos de palma de aceite (*Elaeis guineensis*, Jacq.). *Revistas Palmas* 21: 264-274.
- Cujia G., y A., Bula. 2010. Potencial obtención de gas de síntesis para la producción de metanol a partir de la gasificación de residuos de palma africana. *Asociación Interciencia Venezuela* 35: 106-112.
- Damayanti A., Ujang Z., Salim M., R., Olsson G., And A., Sulaiman Z. 2010. Respirometric analysis of activated sludge models from palm oil mill effluent. *Bioresource Technology* 101: 144-149.
- Faisal M., and M., Taleb. 2013. Biomass residue from palm oil mills in Aceh Province: A potential usage for sustainable energy. *Advanced Science Engineering Information Technology* 3: 32-38.
- Finell M., and C., Nilsson. 2005. Variations in ash content, pulp yield, and fibre properties of reed canary-grass. *Swedish University of Agricultural Sciences (SLU)* 22: 157-167.
- Galindo J., y Y., Marrero. 2005. Manipulación de la Fermentación microbiana ruminal. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 39: 439-450.
- García P., M., y J., N., García. 2013. Nuevos conceptos para biorrefinerías de aceite de palma africana. *Revistas palmas* 34: 66-84.
- Geng A. 2013. Conversion of oil palm empty fruit bunch to biofuels. In: Zhen F, editor. *Liquid, gaseous and solid biofuels – conversion techniques*; p. 479–90.

- Gobi K., And V. Vadivelu M. 2013. By-products of palm oil mill effluent treatment plant – A step towards sustainability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28: 788-803.
- Gómez C., E.1999. Evaluación del tratamiento de desechos líquidos de una planta extractora de aceite de palma africana. Tesis de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala.
- Gómez-Vázquez, A., Mendoza-Martínez G. D., Maldonado-García, N. M., Brito-Manzano N. P., De la Cruz-Lázaro E., Velázquez-Martínez, J. R., Mendoza-Palacios J. D., López- Noverola, U. y C. Luna-Palomera. 2010. Fibra de Palma de aceite como alternativa en la alimentación de cerdos In: Velásquez R. J y A Gómez (eds), *Palma africana en Tabasco*, 1^{ra} edición. Fondo Editorial Universitario 187-207. Villahermosa, Tabasco.
- Gutiérrez M. 1995. Escalamiento de procesos con fermentación sólida Curso avanzado sobre procesos biotecnológicos del Instituto de Biotecnología de la UNAM, México.
- Hernández C. J., Olivera S. A., Palacios P. A., Sandoval E. A., Grajales S. M., Estrada V. J., Domínguez C. E., Alonso B. M., Ortiz C. E., Ávila A. L., Alejo J., A. Coutiño F. M. y V. González L. 2006. Tecnología para la producción de la Palma de Aceite *Elaeis guineensis* Jacp. en México. 2^a ed. INIFAP. Libro Técnico Núm. 14. México. 149 p.
- Jalani B., S. y M., Ahmad, J. 1997. El Aceite de Palma y sus Productos: Empleos y Perspectiva de Futuro. Ponencia presentada en el seminario para el incremento de la cooperación Malasio-Hondureña en la industria de la palma de aceite. San Pedro Sula, Honduras, 10 de Septiembre de 1997. pp. 1-9.

- Jing C., Y., Fong C. M. And C. L. Lim. 2012. Start-up, steady performance and kinetic evaluation of a thermophilic integrated anaerobic-aerobic bioreactor (IAAB). *Bioresource Technology* 125: 145-157.
- Leal M. J. 1989. La Palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) estudio de caso en la costa de Chiapas. Tesis Chapingo, México.
- Ig W., T., A. Wahab M., J. M. Jahim and N. Anuar. 2008. A holistic approach to managing palm oil mill effluent (POME): Biotechnological advances in the sustainable reuse of POME. *Biotechnology Advances* 27: 40-52.
- Lin C., Y., Iwata T. And S. Shimada. 2011. System analysis for effective use of palm oil waste as energy resources. *Biomass and Bioenergy* 35: 2925-2935.
- Mahlia I., T M., Abdulmuin M Z., Alamsyah I., T M. And D. Mukhlisien. 2001. An alternative energy source from palm wastes industry for Malaysia and Indonesia. *Energy Conversion and Management* 42: 2109 -2118.
- Masera C. O., Rodríguez M. N., Lazcano M. I., Horta N. L.A., Macedo C. I, Trindade S. C., Thrän D., Probst O., Weber M. And F. Müller-Langer. 2006. Secretaria de Energía, Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México.
- McKendry P. 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83: 37- 46.
- Mekhilef S., Saidur R., Safari A. and W. E. S. B. Mustaffa. 2011. Biomass energy in Malaysia: Current state and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 3360-3370.

- Menon N. R., Rahman Z. A. and A. Bakar N. 2003. Empty fruit bunches evaluation: mulch in plantation vs. fuel for electricity generation. *Oil Palm Industry Economic Journal* 3: 15 -20.
- Mingorance, F., Flaminia M., y L. Helene. 2004. El cultivo de la palma africana en el Choco. *Legalidad ambiental, Territorial y derechos Humanos*. Bogotá, Human Rights Everywhere and Diócesis de Quibdo.
- Mohammad N., Salmiaton A., Wan W., A., Mohammad A., Fakhūl-Razi A., and Y., H. Taufiq-Yap. 2011. Hydrogen rich gas from oil palm biomass as a potencial source of renewable energy in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 1258-1270.
- Mohammad N., Zahangir A., M., Kabbashi N. A. and A Ahsan. 2012. Effective composting of oil palm industrial waste by filamentous fungi: a review. *Resources Conservation and Recycling* 58: 69-78.
- Mohammed S., Ali Y., Mohd R., S., Salmiati, Shamila A., and N. Abullah. 2014. Biological pre-treated oil palm mesocarp fibre with cattle manure for biogas production by anaerobic digestion during acclimatization phase. *International biodeterioration and biodegradation* 95: 189-194.
- Mohd T. A. N., Ahmad Z. F., Mohd F. W. N., Ali N. y O. Hassan. 2008. The usage of empty fruit bunch (EFB) and palm pressed fibre (PPF) as substrates for the cultivation of *pleurotus ostreatus*. *Journal Teknologi* 49: 189–196.
- NACE International. 1990. Review of current practices for monitoring bacterial growth in oilfield systems. Item: 54281 Houston, TX.

- Nasution M., A., Yaakob Z., Alí E., Tasirin S., M., and S. R. Abdullah. 2011. Electrocoagulation of palm oil mill effluent as wastewater treatment and hydrogen production using electrode aluminum. *Journal of environmental quality* 40:1332-1339.
- Ng J., W., Chin K., K. and K. K. Wong. 1987. Energy yields from anaerobic digestion of palm oil mill effluent. *Biological Biological Wastes* 19: 257-266.
- Nur S., S. and S. Siddiquee. 2013. Composting of oil palm fibres and *Trichoderma* ssp. as the biological control agent: A review. *International Biodeterioration and Biodegradation* 85: 243-253.
- O.A.C. Official Methods of Analysis (18th ed). Washington D.C.: O.A.C International; 2005.
- Pantzaris T., P. 1997. Pocketbook of Palm Oil Uses. 4th ed. Malaysian Palm Oil Board, Bangi. pp. 29.
- Piñeros-Castro and M., Velásquez-Lozano. 2014. Biodegradation kinetics of oil palm empty fruiy buches by white rot fungi. *International Biodeterioration and Biodegradation* 91: 24-28.
- Prasertsan S. y P. Prasertsan. 1996. Biomass residues from palm oil mills in thailand: an overview on quantity and potential usage. *Biomass and Bioenergy* 1: 387-395.
- Rao V. 2004. Mejores Prácticas en producción sostenible de aceite de palma: la experiencia de Malasia. *Palmas* 25: 49-65.

Riansa-ngawong W., and P. Prasertan. 2011. Optimization of furfural production from hemicellulose extracted from delignified palm pressed fiber using a two-stage process. Carbohydrate Research 346: 103-110.

Riansa-ngawong W., and P., Prasertsan. 2011. Optimization of furfural production from hemicellulose extracted from delignified palm pressed fiber using a two-stage process. Carbohydrate Research 346: 103-110.

Santacruz de L., E., Morales G., S., Y V., Palacio M. 2012. Políticas gubernamentales y reconversión productiva: el caso de la palma de aceite en México. En Observatorio de la Economía Latinoamericana, N° 170. Texto completo en <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/2012/>.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 2000. Norma Mexicana NMX-AA-005 SCFI-2000 de análisis de agua -Determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-. Diario oficial de la Federación, 11 de noviembre de 2000.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 2000. Norma Mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001. - Determinación de la conductividad electrolítica..- Método de prueba. Diario oficial de la federation, 18 de diciembre de 2000.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 2001. Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2001. De análisis de agua -Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-. Diario oficial de la federation, 1 de agosto de 2001.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 2001. Norma Mexicana NMX-AA-038-SCFI-2001. Análisis de agua-Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-. Diario oficial de la federation, 1 de agosto de 2001.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 2001. Norma Mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001. -Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.- Método de prueba. Diario oficial de la federación, 13 de agosto de 2001.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 2001. Norma Mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001. -Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.- Método de prueba. Diario oficial de la federación, 13 de agosto de 2001.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 2001. Norma Mexicana NMX-AA-028-SCFI-2001 de análisis de agua –Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-. Diario oficial de la Federación, 17 de abril de 2001.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 2001. Norma Mexicana NMX-AA-030-SCFI-2001 de análisis de agua –Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-. Diario oficial de la Federación, 14 de marzo de 2011.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 2010. Norma Mexicana NMX-AA-026-SCFI-2000 de análisis de agua -Medición de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-. Diario oficial de la Federación, 3 de marzo de 2011.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 2013. Norma Mexicana NMX-AA-004-SCFI-2013 de análisis de agua -Medición de Sólidos Sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-. Diario oficial de la Federación, 13 de noviembre de 2013.

- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. 2013. Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013 de análisis de agua -Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-. Diario oficial de la Federación, 23 de enero de 2014.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación, 31 de diciembre de 2002. México.
- SENER/ BID/ GTZ (Edit.). 2006. Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México, D.F., México.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), disponible en http://www.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp.
- Shinoj, S., Visvanathan, R., Panigrahi S. and M. Kochubabu. 2011. Oil palm fiber (OPF) and its composites: A review. *Industrial Crops and Products* 33: 7-22.
- Singh R., P., Embrandiri A., Ibrahim M.H. and N. Esa. 2011. Management of biomass residues generated from palm oil mill: Vermicomposting a sustainable option. *Resources Conservation and Recycling* 55: 423-434.
- Singh R., P., Ibrahim M., H., Esa N. and M. Ilivana S. 2010. Composting of wastes from palm oil mill: a sustainable wastes management practice. *Journal Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 9: 331-344.
- Sreekala S., M., Kumaran G., M., and S. Thomas. 1997. Oil palm fibers: Morphology, Chemical composition, surface modification, and mechanical properties. *Journal of Applied Polymer Science* 66: 821-835.

- Sridhar M.,K., and O., O. AdeOluwa. 2009. Palm oil industry residue. In P.Singh nee´ Nigam, A. Pandey (eds). *Biotechnology for agro-industrial residues utilisation*. Springer Netherlands 18: 341–355.
- Stichnothe H., and F., Schuchardt. 2011. Life cycle assessment of two palm oil production systems. *Biomass and Bioenergy* 35: 3976-3984.
- Suhaimi M., and H. K. Ong. 2001. Composting empty fruit bunches of oil palm. *Extension Bulletin-Food & Fertilizer Technology Center* 505: 1-8.
- Sulaiman F., Abdullah N., Gerhauser H., and Shariff. 2011. An outlook of Malaysian energy, oil palm industry and its utilization of wastes as useful resources. *Biomass and bioenergy* 35: 3775-3786.
- Sumathi s., Chai S. P. and mohamed R. 2008. Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malasya. *Renewable and sustainable energy Reviews* 12:2404-2421.
- Torres R., Acosta A. y C. Chinchilla. 2004. Proyecto comercial de compostaje de los desechos agroindustriales de palma aceitera. *Palmas* 25: 377-387.
- Van Soest J., P., Robertson J., B., and B., A., Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74: 3583-3597.
- Velásquez R., J., y A., Gómez. 2010. *Palma africana en Tabasco*. 1^{ra} edición, Fondo Editorial Universitario. Villahermosa, Tabasco.
- Won K., S., Seon K., B., Wook R., J., Sik L., J., Joong K., C., Hyun L., D., Rok K., G., And S. Choi. 2013. Bio-oil from the pyrolysis of palm and jatropha wastes in a fluidized bed. *Fuel Processing Technology* 108: 118-124.

Wood J., B., y T., E., Beattle. 1982. Procesamiento y mercadeo de aceite de palma africana. *Revistas Palmas* 3: 16-26.

Yejian Z., Li Y., Xiangli q., Lina C., Xiangjun N., Zhijian M. And Z. Zhenjia. Integration of biological method and membrane technology in treating palm oil mill effluent. *Journal of Environmental Scienses* 20: 558-564.

Yeong W., T., Wahab M., A., Md., J., J., and N. Anuar. 2010. Pollution control technologies for treatment of palm oil mill effluent (POME) through end-of-pipe processes. *Journal of environmental management* 91: 1467-1490.

Yusoff, S. 2006. Renewable energy from palm oil: Innovation on effective utilization of waste. *Journal of Cleaner Production* 14: 87–93.

8 ANEXOS

Anexo1. Análisis químicos para las muestras sólidas (raquis, fibra de fruto y cascarilla).

Mesurando	Método
Cenizas y C	Método definitivo (LASPA)
Fosforo (P)	Método definitivo (LASPA)
Nt y Pc	Método de Kjeldahl
Grasas	AOAC (2000).
Determinación de K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn y Mn.	Método definitivo (LASPA)
Fibra Detergente Neutra (FDN), Fibra Detergente Ácido (FDA) y Hemicelulosa.	Van Soest et al. 1991
Celulosa y Lignina	Método definitivo Laboratorio de ciencia animal.

Anexo 2. Análisis químicos para muestras líquidas.

Mesurando	Norma
Grasas	NMX-AA-005-SCFI-2000
Fósforo Total	Método definitivo (LASPA)
N _t	Método definitivo (LASPA)
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	NMX-AA-030-SCFI-2001
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	NMX-AA-028-SCFI-2001
Nitrógeno amoniacal	NMX-AA026-SCFI-2010
Nitrógeno de nitratos más nitritos	NMX-AA-079-SCFI-2001

Anexo 3. Características químicas (%) de los residuos sólidos.

	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	N	Zn	Mn
Raquis	0.05±0.06	0.49±0.22	0.13±0.04	0.10±0.02	0.07±0.00	0.001±0.00	0.47±0.04	0.001±0.000	0.001±0.00
Fibra de fruto	0.082±0.013	0.26±0.07	0.25±0.08	0.13±0.01	0.01±0.00	0.002±0.00	0.74±0.08	0.002±0.00	0.002 ±0.00
Cascarilla	0.049±0.08	0.13±0.02	0.05±0.03	0.04±0.01	0.01±0.00	0.001±0.00	0.43±0.04	0.001±0.00	0.001±0.00

Anexo 4. Análisis proximales (%) de los residuos sólidos.

	ceniza	Proteína	Grasa	FDN	FDA	Hemicelulosa	Lignina	Celulosa
Raquis	3.8±0.35	2.95±0.04	3.7±0.70	82.7±1.7	78.6±3.6	24.1.6 ±3.7	14.9±4.5	50.3±9.2
Fibra de fruto	5.1±0.58	4.63±0.08	5.8±0.85	80.3±2.66	54.8±1.8	25.4 ± 2.6	20.4±3.2	34.4±5.9
Cascarilla	2.2±0.35	2.68±0.04	5.6±0.44	85.5 ±2.6	73.1±1.6	12.4±2.7	21.1±0.4	38.1± 4.0

Anexo 5. Características químicas de las muestras líquidas.

	mg L ⁻¹					
	NT	NH ₃	NO ₃ + NO ₂	grasas	DQO	P
Flujo de Entrada	1.5±0.3	54.32	344±135	1008±328	453208±353192	3.34±0.02
Laguna 1	1.1±0.3	141.7	27±17	314±324	3654±1976	1.5±0.4
Laguna 2	0.09±0.03	75.5	15±1.8	31.5±25.6	2222±990	0.48±0.15
Laguna 3	1.2±0.3	8.7	12±2	55.2±25.9	2032±749	0.96±0.4

Anexo 6. Características físicas para las muestras líquidas (aguas)

	mg L ⁻¹				
	pH	C E	SST	SSE	DBO ₅
Flujo de Entrada*	4.3±0.2	9.5	38500±26500	1000	16620±220
Laguna 1	7.7±0.4	7.8	1787±2077	253	711±148
Laguna 2	8.3±0.2	5.9	443±294	1.07	645±75
Laguna 3	8.6±0.3	4.6	350±150	0.77	554±179

Anexo 7. Análisis físicos para las muestras líquidas (aguas)

Mesurando	Norma
Temperatura (°C)	NMX-AA-007-SCFI-2013
pH	NMX-AA-008-SCFI-2013
Conductividad electrolítica	NMX-AA-093-SCFI-2000
Sólidos Sedimentables	NMX AA-004 SCFI-2013

Anexo 8. Características físicas de los residuos sólidos.

Tipo de residuo sólido	Humedad
Raquis	54.97±5.1
Fibra de fruto	36.34±3.2
Cascarilla	26.16±7.8

Anexo 9. Características físicas de los residuos líquidos.

Lugar de toma	Temperatura del agua
Flujo de entrada	70 °C
Laguna 1	32 °C
Laguna 2	34 °C
Laguna 3	33 °C

Anexo 10. Eficiencia de Remoción de grasas y aceites.

Unidades	C(mg L ⁻¹)	ER (%)
CE	1008.00	
L1 CS	314.35	68.8
L2 Cs	31.58	90.0
L3Cs	55.20	-74.8
ETR (%)		94.5

*CE = concentración de entrada, Cs =concentración de salida , L1 = laguna 1 L2 = laguna 2, L3= laguna 3, ER = eficiencia de remoción, ERT = eficiencia total de remoción.

Anexo 11. Eficiencia de Remoción de amoníaco (NH₃)

Unidades	C (mg/l)	ER (%)
CE	54.32	
L1 CS	141.74	-160.9
L2 Cs	75.5325	46.7
L3Cs	8.77	88.4
ETR (%)		83.9

*CE = Concentración de entrada, Cs =Concentración de salida , L1 = Laguna 1 L2 = Laguna 2, L3= Laguna 3, ER = Eficiencia de Remoción, ERT = Eficiencia Total de Remoción.

Anexo 12. Eficiencia de Remoción de DBO

Unidades	C (mg/l)	ER (%)
CE	16620.00	
L1 CS	2520.00	84.8
L2 Cs	645	74.4
L3Cs	554.00	14.1
ETR (%)		96.7

*CE = Concentración de Entrada, Cs =Concentración de Salida , L1 = Laguna 1 L2 = Laguna 2, L3= Laguna 3, ER = Eficiencia de Remoción, ERT = Eficiencia Total de Remoción.

Anexo 13. Eficiencia de remoción de DQO

Unidades	C (mg/l)	ER (%)
CE	45320.50	
L1 CS	4384.80	90.3
L2 Cs	2229.4	49.2
L3Cs	2032.20	8.8
ETR (%)		95.5

*CE = Concentración de Entrada, Cs =Concentración de Salida , L1 = Laguna 1 L2 = Laguna 2, L3= Laguna 3, ER = Eficiencia de Remoción, ERT = Eficiencia Total de Remoción.

Anexo 14. Eficiencia de remoción de SSE

Unidades	C (mg/l)	ER (%)
CE	1000.00	
L1 CS	253.35	74.7
L2 Cs	1.075	99.6
L3Cs	0.78	27.9
ETR (%)		99.9

*CE = Concentración de Entrada, Cs =Concentración de Salida , L1 = Laguna 1 L2 = Laguna 2, L3= Laguna 3, ER = Eficiencia de Remoción, ETR = Eficiencia Total de Remoción.

Anexo 15. Eficiencia de remoción de SST

Unidades	C (mg/l)	ER (%)
CE	38500.00	
L1 CS	1787.50	95.4
L2 Cs	442.5	75.2
L3Cs	350.00	20.9
ETR (%)		99.1

*CE = Concentración de Entrada, Cs =Concentración de Salida , L1 = Laguna 1 L2 = Laguna 2, L3= Laguna 3, ER = Eficiencia de Remoción, ETR = Eficiencia Total de Remoción.

Anexo 16. Eficiencia de remoción de CE.

Unidades	C (mg/l)	ER (%)
CE	9.54	
L1 CS	7.84	17.8
L2 Cs	5.96	24.0
L3Cs	4.67	21.6
ETR (%)		51.0

*CE = Concentración de Entrada, Cs =Concentración de Salida , L1 = Laguna 1 L2 = Laguna 2, L3= Laguna 3, ER = Eficiencia de Remoción, ETR = Eficiencia Total de Remoción.

Anexo 17. Eficiencia de remoción de Fósforo.

Unidades	C (mg/l)	ER (%)
CE	252.90	
L1 CS	62.08	75.5
L2 Cs	23.77	61.7
L3Cs	17.52	26.3
ETR (%)		93.1

*CE = Concentración de Entrada, Cs =Concentración de Salida , L1 = Laguna 1 L2 = Laguna 2, L3= Laguna 3, ER = Eficiencia de Remoción, ETR = Eficiencia Total de Remoción.