

## Evaluación del efecto ambiental y agronómico de la aplicación de tusa o racimos vacíos (EFB) de la palma de aceite sobre acuíferos superficiales y perfil del suelo\*

**PALABRAS CLAVE:** evaluación, impacto, agua, suelo, aplicación tusa (EFB).

**ABREVIACIONES:** EFB, Empty Fruit Bunch; RSPO, Roundtable on Sustainable Palm Oil.

\* Primer lugar del módulo: Superar la problemática fitosanitaria.

**LEONARDO REY BOLÍVAR I.A. M.Sc.**  
(Gerencia I&D), Leonardo Millán I.  
Amb. Esp. (Gerencia de Productividad  
y Ambiente), Manoloín Ávila- María  
del Mar Maldonado y Cormacarena.  
Aceites Manuelita S.A.- Cormacarena  
Leonardo.rey@manuelita.com



### Resumen

Para mejorar la eficiencia en el uso de los nutrientes, una de las prácticas para su reincorporación es la aplicación de la tusa fresca (EFB) en cantidades hasta de 200 kg/palma, práctica que ha sido cuestionada por el aporte de aceite al suelo, que puede generar contaminación. El objetivo del presente estudio fue determinar los efectos de la aplicación de tusa fresca (EFB) sobre el perfil del suelo y los acuíferos superficiales, con y sin aplicación de tusa fresca mediante el desarrollo de un experimento que dispuso los tratamientos completamente al azar y con un arreglo factorial dado por el acuífero, el perfil del suelo y el tiempo.

Se evaluaron 42 variables en los acuíferos superficiales hasta 5 metros de profundidad y 23 variables en el perfil del suelo cada 20 centímetros hasta 60 cm, desde el día cero o línea base hasta los 90 días con frecuencias de evaluación cada 30 días. Los resultados de los análisis estadísticos evidenciaron que la aplicación de tusa fresca (EFB) en forma adecuada y hasta 200 kg/palma, equivalente a 26,2 toneladas de tusa por hectárea con una impregnación de aceite del 6 %, no eleva los contenidos de aceite en los acuíferos superficiales (las concentraciones variaron entre 0,5 y 5,5 mg/L) ni en el perfil del suelo. Igual ocurrió con la demanda bioquímica de oxígeno DBO5 en los acuíferos, la cual no superó los 50 mg/L.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la relación carbono/nitrógeno se incrementaron significativamente con la aplicación de tusa fresca en más de cinco veces con relación a la línea base en el perfil del suelo generando un mejoramiento importante. Los contenidos de potasio, calcio y nitrógeno aumentaron significativamente, en especial el potasio, el cual se incrementó en más de 15 veces.

Los resultados obtenidos presentan alta concordancia con estudios internacionales realizados y documentados (Schudardt *et al.*, Goh *et al.*, Chee *et al.*, Kamarudin *et al.*, Hardum y Tarmizi, N Ravi *et al.*), en los cuales se encontró que la aplicación de tusa fresca no contaminó los acuíferos superficiales ni el perfil del suelo con aceite proveniente de la tusa fresca, al contrario, esta se redujo a través del tiempo con la aplicación de la tusa.

---

## Introducción

En el proceso de producción de aceite de palma se genera una gran cantidad de residuos, especialmente las tusas o raquis o racimos de fruta vacíos (EFB, *Empty Fruit Bunch*). Para producir una tonelada de aceite de palma se genera 1,07 tonelada de EFB. Por lo tanto, la cantidad de EFB producida en el mundo puede llegar a 50 millones de toneladas de las cuales el 85 % corresponden a la producción de Malasia e Indonesia.

La aplicación de tusa fresca (EFB) a los cultivos de palma como restitución de los nutrientes se ha convertido en una cultura agronómica dentro de las buenas prácticas del cultivo y muchas plantaciones han desarrollado métodos de aplicación en campo, debido a que numerosos resultados de investigación agronómica han demostrado su efecto positivo sobre la productividad de la palma de aceite (Gurmit *et al.*, 1989; Lim y Chan, 1989; Loong *et al.*, 1987; Loh K.H. 1987, Mohd T.D. *et al.*, 1987; Mohd H.T., 1991).

La utilización de la tusa (EFB) es muy diversa dada su constitución (70 % celulosa y hemicelulosa, 17 % lignina y 1 % cenizas). Aproximadamente el 30 % de la tusa es utilizada en cogeneración de energía en las calderas y el restante se regresa al campo en forma fresca principalmente, y una baja proporción se usa para la elaboración de compost.

Aceites Manuelita S.A. procesa alrededor de 320 mil toneladas de racimos de fruta fresca (RFF), en la planta extractora de Yaguarito (San Carlos de Guaroa, Meta) y genera volúmenes importantes de subproductos orgánicos como tusa o raquis vacíos de los EFB que deben retornar al cultivo debido a que presentan contenidos de elementos químicos que pueden ser utilizados como fertilizante orgánico en los

planes de nutrición de la palma y como complemento a la fertilización mineral de la plantación.

La sostenibilidad del negocio del cultivo de la palma aceitera se basa en la viabilidad económica y ambiental a largo plazo y depende de la implementación de las Mejores Prácticas Agronómicas (MPA) y el manejo balanceado de los nutrientes es una de las prácticas que más han evolucionado para hacer más rentable y sostenible el cultivo. La restitución de las tusas o racimos sin fruto (EFB) al campo va acompañada por la conservación del suelo y el agua, generando una reducción en la escorrentía superficial y la lixiviación o pérdida de nutrientes por lavado, y responde cabalmente al cuarto y quinto criterio de la Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible (RSPO, por sus siglas en inglés).

Aceites Manuelita S.A., la Corporación Autónoma Regional Cormacarena, la Mesa Sectorial de Palma y la Unidad Ambiental de Fedepalma aunaron esfuerzos para llevar a cabo el presente trabajo con el objetivo de evaluar el efecto ambiental y agronómico de la disposición de tusa fresca sobre el suelo y los acuíferos superficiales en el cultivo de la palma de aceite.

### Objetivo general

- Evaluar el efecto ambiental y agronómico de la disposición de tusa fresca sobre el suelo y los acuíferos superficiales en el cultivo de la palma de aceite.

### Objetivos específicos

- Establecer la línea base en la tusa, en el suelo y en los acuíferos superficiales (caracterización parámetros ambientales y nutrientes con énfasis en aceite).

- Estimar mediante balance de masa a través del tiempo la transferencia de componentes de la tusa sobre los parámetros ambientales y agronómicos en el perfil del suelo (distribución vertical y horizontal) y en acuíferos superficiales.
- Proveer indicadores ambientales y agronómicos para la generación de una guía técnica para las autoridades ambientales.

## Materiales y métodos

Para el desarrollo del presente trabajo se diseñó un experimento que permitiera evidenciar el efecto de la aplicación de tusa fresca en el lote 142 sembrado en 1.998 con material IRHO, donde nunca se había aplicado tusa (Figura 1).

El experimento contó con el acompañamiento permanente del equipo técnico de Cormacarena y para la toma de las muestras de raquis, suelo y agua en las diferentes etapas del mismo, se contrató al Laboratorio del Grupo de Investigaciones Ambientales de la Pontificia Universidad Bolivariana de Medellín para asegurar la cadena de custodia (Decreto 1594 de 1984).

El área de trabajo fue de 10 líneas con 10 palmas para un total de 100 palmas y se instalaron cuatro piezómetros a 5 metros de profundidad.

Se aplicaron 800 kg de tusa fresca en forma rectangular (4,5 m x 2 m) en la calle de no tránsito, para beneficiar cada cuatro palmas (200 kg/palma), canti-

dad adecuada para el tipo de suelo y edad de la palma (29 toneladas/ha).

## Experimento

Los tratamientos se dispusieron aleatoriamente en la calle de no tránsito, previamente se instalaron los piezómetros.

**Tratamientos:** aplicación de tusa fresca 200 kg/palma y sin aplicación.

**Unidad experimental:** piezómetro en la calle de cosecha con el efecto de 800 kg de tusa fresca y sin tusa fresca. Diseño completamente al azar.

Arreglo factorial para permitir la separación y la evaluación de los efectos individuales y combinados de los factores.

## Factores y niveles

- Perfil del suelo a tres profundidades 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm (niveles).
- Acuíferos superficiales (freatímetros) en cuatro tiempos (niveles).
- Frecuencia de evaluación: línea base 30 días, 60 días y 90 días.

## Variables de respuesta

Para cada frecuencia de evaluación se determinaron las variables de respuesta o dependientes para los acuíferos superficiales, el suelo y el raquis (Tabla 1).

**Figura 1.** Disposición de la tusa en campo. Selección sitio UMA representativa plantación Yaguarito.

Disposición de la tusa (EFB)  
Lote 142: IRHO 1998  
(200 kg/palmas = 28,6 t raquis/ha)



**Tabla 1.** Variables de respuesta analizadas: acuíferos, perfil del suelo y tusa.

Variables acuífero superficial		Variables perfil del suelo	Variables tusa (EFB)
pH	Arsénico	pH	pH
Tagua	Bario	Conductividad	Conductividad
Tamb	Boro	Nitrógeno	Densidad
Conduct	Cadmio	Potasio	Humedad
Color	Calcio	CO	Nitrógeno
Colorver	Cianuro	CIC	Potasio
DBO5	Cloruros	Boro	CIC
Deterg	Cobre	Fósforo	Boro
DQO	Cromo	C/N	Fósforo
Dureza	Fósforo	Aluminio	CIC/CO
Grasas	Fósforo reactivo	Bario	Calcio
NMP Fecales	Magnesio	Cadmio	Zinc
NMP Totales	Manganeso	Calcio	Aceite
Sólidos disueltos	Mercurio	Cobre	
Sólidos suspendidos	Níquel	Cromo	
Sólidos totales	Plata	Mn	
Turbiedad	Plomo	Mercurio	
Sulfatos	Potasio	Níquel	
Nitratos	Selenio	Plata	
Nitritos	Nitrógeno total	Plomo	
Nitrógeno amoniacal	Zinc	Selenio	
		Zinc	
		Aceite	

Acuíferos superficiales (freatímetros): 42 variables de respuesta. Perfil del suelo (barreno): 23 variables de respuesta. Tusa: (EFB): 13 variables de respuesta.

## Resultados

Para cada una de las variables de respuesta a la aplicación de tusa y sin aplicación de tusa se realizaron los siguientes análisis estadísticos:

**Estadística descriptiva línea base y tratamiento:** principalmente la media y el coeficiente de variación para determinar la heterogeneidad a través del tiempo desde la línea base hasta los 90 días dentro de cada tratamiento.

### Acuífero superficial

#### Tratamiento con y sin tusa: línea base y 30, 60 y 90 días de evaluación

El coeficiente de variación es una medida de dispersión para cada variable y expresa la desviación estándar

como porcentaje de la media aritmética, mostrando el grado de variabilidad natural.

El contenido de aceite de palma presentó una variabilidad natural del 77 % sin la aplicación de tusa fresca, a través del tiempo, y es propia del lote con palma de aceite y de la naturaleza del acuífero superficial. La media registrada en el período fue de 2,8 mg/litro de agua. Al aplicar la tusa fresca, la variabilidad del aceite a través del tiempo fue menor a 60 % y con una media de 2,6 mg/L también menor, lo que indica que la dinámica del aceite de palma en el acuífero superficial es similar con la aplicación de tusa en la cantidad utilizada que sin la aplicación de la misma.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) dada por oxidación microbiana de la materia orgánica, fue una de las principales reacciones de demanda de oxígeno que se dieron en el acuífero superficial en forma natural. Presentó una variación natural del 57 % y una media de 10,2 mg/L, para los cuerpos de agua subterráneos la DBO5 generalmente no superó los 50

**Figura 2.** Toma de muestras (Cadena de custodia UPB)



mg/L. La aplicación de tusa fresca incrementó significativamente la variabilidad de la DBO5 hasta 200 % y aumentó la media al doble de la condición natural en el acuífero superficial.

Las variables de respuesta o elementos constitutivos del acuífero superficial en forma natural presentaron una variación entre cero muy estable para el boro y el selenio, y hasta 108 % para el caso del cadmio. Con la aplicación de tusa fresca la variabilidad fue cero, igualmente para el boro y el selenio,

y cuatro veces más variable a través del tiempo para la DBO5 (Tabla 2).

### Perfil del suelo

#### Tratamiento con y sin tusa: línea base y 30, 60 y 90 días de evaluación

El contenido de aceite de palma presentó una variabilidad natural del 29,4 % sin la aplicación de tusa fresca, en los tres horizontes del perfil del suelo a través del tiempo,

**Tabla 2.** Estadística descriptiva de las variables de respuesta línea base (sin tusa) y tratamiento (con tusa) en el acuífero superficial.

Variable	N	Media	C.V.
Grasas	4	2.8000	77.974
DBO5	4	10.297	57.163
DQO	4	219.70	49.315
SOLDIS	4	8207.2	59.681
SOLSUS	4	8863.3	53.220
SOLTOL	4	90.992	90.992
Tagua	4	28.100	4.4448
Tamb	4	26.100	0.8277
pH	4	5.7750	0.8304
Conduct	4	110.35	60.292
N	4	0.1615	38.148
F	4	4.4950	93.643
Potasio	4	9.4452	18.301

Estadística Descriptiva TRATAMIENTO			
Variable	N	Media	C.V.
Grasas	12	2.6750	60.344
DBO5	12	25.931	201.24
DQO	12	397.32	129.06
SOLDIS	12	16933	148.56
SOLSUS	12	23896	132.49
SOLTOL	12	3206.3	154.95
Tagua	12	27.942	6.0649
Tamb	12	26.883	4.3433
pH	12	5.6450	5.8512
Conduct	12	94.175	55.522
N	12	0.1363	68.176
F	12	5.5885	107.54

**Continuación Tabla 2.** Estadística descriptiva de las variables de respuesta línea base (sin tusa) y tratamiento (con tusa) en el acuífero superficial.

Variable	N	Media	C.V.	Variable	N	Media	C.V.
Calcio	4	10.202	81.000	Potasio	12	9.9795	56.738
Boro	4	0.1370	0.0000	Calcio	12	10.376	83.646
Mn	4	2.0867	33.044	Boro	12	0.1370	0.0000
Zinc	4	0.8618	40.871	Mn	12	2.6508	68.402
Cadmio	4	0.0128	105.88	Zinc	12	0.6962	79.137
Cobre	4	0.2522	51.434	Cadmio	12	0.0131	101.42
Cromo	4	0.1440	26.279	Cobre	12	0.2823	74.899
Plomo	4	0.1752	29.779	Cromo	12	0.1388	56.559
Plata	4	0.0180	79.295	Plomo	12	0.1566	54.076
Selenio	4	3.000E-03	0.0000	Plata	12	0.0297	168.37
Nitrógeno	1	3.0000	M	Selenio	12	3.000E-03	0.0000
NH4	4	3.9750	40.035	Nitrógeno	6	3.2367	31.858

característica propia del lote con palma de aceite y de la naturaleza del perfil del suelo. La media registrada en el período fue de 2,8 mg/kg de suelo. Al aplicar la tusa fresca la variabilidad del aceite a través del tiempo fue de 38,5 % y con una media de 2,5 mg/kg también menor, lo que indica que la dinámica del aceite en el perfil del suelo fue similar con la aplicación de tusa en la cantidad utilizada que sin la aplicación de tusa fresca.

**Análisis de correlación:** permite evidenciar posibles asociaciones entre las variables de respuesta.

### Acuífero superficial

El aceite en los acuíferos superficiales presentó una alta asociación positiva con la conductancia, el calcio y el amoníaco, y negativa con los sólidos totales.

**Tabla 3.** Dispersión de las variables en el perfil del suelo en la línea base y el tratamiento con tusa fresca.

Línea base				Tratamiento			
Variable	N	Media	C.V.	Variable	N	Media	C.V.
Aceite	12	2.833E-03	29.465	Aceite	12	2.583E-03	38.563
CIC	12	12.496	49.289	CIC	12	15.119	74.960
CN	12	14.324	74.638	CN	12	11.801	68.224
CO	12	2.7658	122.74	CO	12	2.6883	124.34
Conduc	12	35.150	43.037	Conduc	12	32.850	40.837
pH	12	5.5140	9.9216	pH	12	5.5972	10.662
N	12	15.098	13.687	N	12	15.228	13.397
Fosfóro	9	36.802	52.558	F	9	37.708	65.785
Potasio	12	1016.0	89.384	Potasio	12	1354.7	90.882
Calcio	11	366.66	38.586	Calcio	12	322.93	39.385
Mn	12	351.33	39.895	Mn	12	364.22	34.834
Aluminio	12	9856.3	16.329	Aluminio	12	9700.0	15.199
Bario	12	23.970	84.605	Bario	12	23.856	77.166
Boro	12	2.2773	76.673	Boro	12	3.0748	92.007
Cadmio	12	3.5645	93.821	Cadmio	12	3.5171	91.381
Cobre	12	9.6437	61.962	Cobre	12	10.726	48.710

**Continuación Tabla 3.** Dispersión de las variables en el perfil del suelo en la línea base y el tratamiento con tusa fresca.

Variable	N	Media	C.V.	Variable	N	Media	C.V.
Cromo	12	7.3433	99.197	Cromo	12	7.8801	80.006
Mercurio	12	0.0899	58.630	Mercurio	12	0.1069	119.38
Nitrógeno	12	0.1956	117.21	Nitrógeno	12	0.2002	114.04
Plata	12	1.4596	130.86	Plata	12	0.8993	102.08
Plomo	12	12.415	28.750	Plomo	12	12.734	23.353
Selenio	12	0.5000	0.0000	Selenio	12	4.7482	209.85
Zinc	12	77.366	40.021	Zinc	12	73.696	16.472

**Tabla 4.** Matriz de correlación de las variables de respuesta en el acuífero superficial.

	Grasas	DBO5	DQO	Conduct	SOLSUS	SOLDIS	SOLTOL
DBO5	0,4125						
DQO	0,3807	0,9926					
Conduct	0,7948	0,6730	0,6857				
SOLSUS	0,3958	0,9884	0,9977	0,6783			
SOLDIS	0,4853	0,9818	0,9907	0,7464	0,9931		
SOLTOL	-0,9263	-0,3499	-0,3562	-0,8069	-0,3794	-0,4699	
N	0,4853	0,9459	0,9567	0,8268	0,9475	0,9565	-0,4491
F	-0,5428	0,4719	0,5275	-0,0089	0,5105	0,4301	0,4697
Potasio	0,5468	0,9623	0,9717	0,8297	0,9681	0,9873	-0,5222
Calcio	0,7369	0,8484	0,8476	0,9598	0,8391	0,8873	-0,7059
Cadmio	-0,4085	-0,0042	-0,0911	-0,4956	-0,1154	-0,1899	0,6183
Cobre	0,1187	0,8278	0,7770	0,3312	0,7566	0,7090	0,0480
Cromo	0,3771	0,9491	0,9142	0,6178	0,8978	0,8823	-0,2466
Mn	0,4928	0,9800	0,9733	0,7822	0,9636	0,9683	-0,4274
NH4	0,9495	0,2865	0,2561	0,6461	0,2777	0,3756	-0,8856
Nitrógeno	-0,3247	-0,1463	-0,0873	-0,1992	-0,0675	-0,1114	0,3165
Plata	-0,5975	-0,2267	-0,1727	-0,2460	-0,2002	-0,2265	0,3481
Plomo	0,2535	0,8896	0,8679	0,6035	0,8427	0,8176	-0,1303
Zinc	0,4935	0,9456	0,9555	0,8368	0,9457	0,9556	-0,4672
pH	0,0269	0,6383	0,6390	0,4627	0,5927	0,5901	0,1044

**Tabla 5.** Matriz de correlación de las variables de respuesta en el acuífero superficial.

	Aceite	Aluminio	Bario	Boro	CIC	CN	CO
Aluminio	-0,4139						
Bario	-0,2411	0,4321					
Boro	0,2519	0,1781	0,1275				
W	-0,3139	0,4397	0,5814	0,0505			
CN	-0,0475	-0,3211	-0,6462	-0,4401	-0,2666		

**Continuación Tabla 5.** Matriz de correlación de las variables de respuesta en el acuífero superficial.

	Aceite	Aluminio	Bario	Boro	CIC	CN	CO
CO	0,3811	-0,0844	-0,7732	0,2920	-0,6031	0,2061	
Cadmio	-0,1828	0,4406	0,9841	0,2178	0,5570	-0,7107	-0,6813
Calcio	0,1421	-0,0651	0,1063	-0,0916	-0,3082	-0,1937	0,0386
Cobre	0,0742	-0,2373	-0,9204	-0,1516	-0,4148	0,6132	0,6700
Conduc	-0,0602	0,1027	0,1066	-0,1040	-0,0623	-0,2467	0,0183
Cromo	-0,1575	0,4423	0,9669	0,3091	0,4908	-0,7495	-0,6171
Mercurio	-0,2619	0,0843	0,2301	0,1869	0,5908	-0,2121	-0,3271
Mn	-0,2054	0,5142	0,6918	0,0562	0,2931	-0,5581	-0,3892
N	0,0730	-0,2895	0,0647	-0,1167	-0,4008	-0,1712	-0,0474
Nitrógeno	0,3921	-0,0284	-0,6586	0,3917	-0,5654	0,0362	0,9818
Plata	0,1432	-0,0852	0,4300	-0,1662	0,0822	-0,3757	-0,3427
Plomo	0,2443	0,3866	0,1223	0,4638	-0,1118	-0,5176	0,4323
Potasio	-0,0551	-0,2162	0,6786	-0,0717	0,0833	-0,5313	-0,6299
Selenio	-0,2538	-0,0278	-0,2294	-0,3318	0,0533	0,1830	-0,0807
Zinc	0,3789	0,1501	-0,1574	0,2683	-0,1973	-0,1340	0,4398
pH	0,0317	-0,1812	-0,2823	0,0100	-0,1511	0,2118	0,1357

## Perfil del suelo

El aceite de palma en el suelo no presentó asociaciones altas con las demás variables.

### Análisis de varianza con arreglo factorial y separación de medias de los tratamientos. (Con tusa fresca y sin tusa fresca o blanco)

Con el fin de evidenciar si existen diferencias estadísticas del efecto de la aplicación de tusa con relación a la no aplicación sobre las variables de respuesta en el perfil del suelo y en los acuíferos superficiales a través del tiempo, con énfasis en los contenidos de aceite de palma.

### Acuíferos superficiales

#### Comportamiento del aceite a través del tiempo con y sin tusa

Las grasas y/o aceites son sustancias insolubles en agua y menos densas que ella y en el experimento presentaron concentraciones entre 0,5 y 5,5 mg/L.

Los análisis de la varianza no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos con y sin tusa (blanco), en forma general, para los contenidos de aceite en los acuíferos superficiales. A través del tiempo, entre el día cero sin tusa y los días 60 y 90 después de aplicada la tusa se presentaron reducciones significativas en los contenidos de aceite de 70 y 75 %, respectivamente. A los treinta días, aunque no hubo diferencias significativas, la reducción de aceite con relación a la línea base fue del 35,7 %. Lo anterior demuestra que no hay lixiviación de aceite al aplicar tusa fresca (27 t/ha) de la superficie del suelo a los acuíferos superficiales (Tabla 6 y Figura 3).

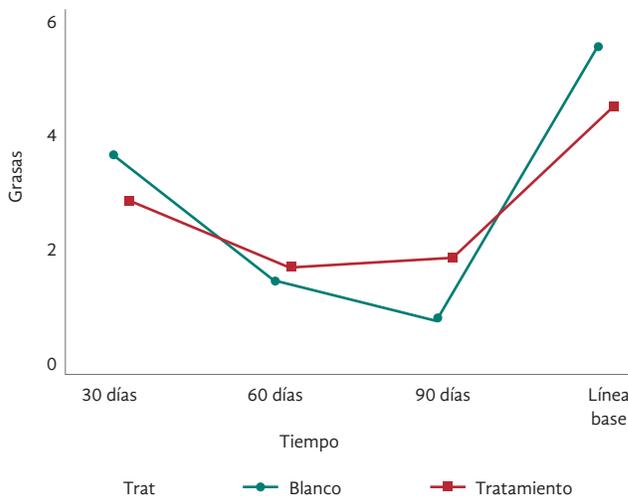
### Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La oxidación microbiana de la materia orgánica es una de las principales reacciones que se dan en los cuerpos de agua y constituye una demanda de oxígeno. Para aguas subterráneas, la DBO5 generalmente no superó los 50 mg/L. La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro analítico que mide el material

**Tabla 6.** Resultado de los análisis de varianza y separación de medias. Contenido de aceite de palma.

Tukey Test Aceite			
Tratamiento	Media	Grupos homogéneos	
Blanco	2.83E-03	A	
Tratamiento	2.58E-03	A	
Tiempo	Media	Grupos homogéneos	
Línea base	3.33E-03	A	
90 días	3.00E-03	A	
30 días	2.33E-03	A	
60 días	2.17E-03	A	
Tratamiento	Tiempo	Media	Grupos homogéneos
Blanco	90 días	3.33E-03	A
Blanco	Línea base	3.33E-03	A
Tratamiento	Línea base	3.33E-03	A
Blanco	30 días	2.67E-03	A
Tratamiento	90 días	2.67E-03	A
Tratamiento	60 días	2.33E-03	A
Blanco	60 días	2.00E-03	A
Tratamiento	30 días	2.00E-03	A
Tratamiento	HZTE	Media	Grupos homogéneos
Tratamiento	3	3.25E-03	A
Blanco	1	3.00E-03	A
Blanco	3	3.00E-03	A
Blanco	2	2.50E-03	A
Tratamiento	1	2.25E-03	A
Tratamiento	2	2.25E-03	A

**Figura 3.** Comportamiento similar en el contenido de aceite en los acuíferos superficiales con y sin tusa fresca a través del tiempo.



orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química (Tabla 7 y Figura 4)

El análisis de varianza para estas dos variables evidenció que no hay diferencias significativas entre los tratamientos, con aplicación y sin aplicación de tusa fresca a través del tiempo.

El comportamiento de las demás variables como metales pesados y otros en los acuíferos superficiales se presentan en las figuras.

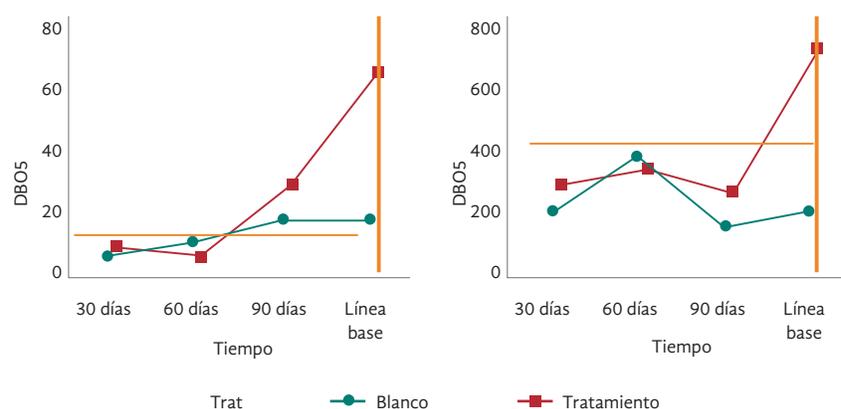
## Perfil del suelo

### Comportamiento del aceite entre los tratamientos a través del tiempo

Los análisis de varianza no mostraron diferencias estadísticas para los contenidos de aceite en el perfil del suelo entre los tratamientos con tusa y sin tusa (blanco) en forma general, ni a través del tiempo, ni en la interacción tratamiento por tiempo y tampoco

**Tabla 7.** Resultados análisis de varianza para DBO5 y DQO acuífero superficial.

Tukey Test DBO5				Tukey Test DQO			
Tratamiento	Media	Grupo homogéneo		Tratamiento	Media	Grupo homogéneo	
Tratamiento	25.931	A		Tratamiento	397.32	A	
Blanco	10.298	A		Blanco	219.70	A	
Tiempo	Media	Grupo homogéneo		Tiempo	Media	Grupo homogéneo	
Línea base	40.778	A		Línea base	462.13	A	
90 días	21.605	A		60 días	355.93	A	
60 días	5.417	A		30 días	226.05	A	
30 días	4.657	A		90 días	189.92	A	
Tratamiento	Tiempo	Media	Grupo homogéneo	Tratamiento	Tiempo	Media	Grupo homogéneo
Tratamiento	Línea base	66.797	A	Tratamiento	Línea base	737.57	A
Tratamiento	90 días	27.710	A	Blanco	60 días	378.30	A
Blanco	90 días	15.500	A	Tratamiento	60 días	333.57	A
Blanco	Línea base	14.760	A	Tratamiento	30 días	271.90	A
Blanco	60 días	7.730	A	Tratamiento	90 días	246.23	A
Tratamiento	30 días	6.113	A	Blanco	Línea base	186.70	A
Blanco	30 días	3.200	A	Blanco	30 días	180.20	A
Tratamiento	60 días	3.103	A	Blanco	90 días	133.60	A



**Figura 4.** Comportamiento de la DBO5 y DQO a través del tiempo entre los tratamientos, sin tusa (blanco) y con la aplicación de tusa (línea roja).

entre los horizontes en el perfil del suelo (Tabla 8 y Figuras 5 y 6).

### Comportamiento de la capacidad de intercambio catiónico y la relación C/N entre los tratamientos a través del tiempo

La capacidad de intercambio catiónico de las partes sólidas del suelo a la fase acuosa se genera por los grupos carboxílicos que aporta la aplicación de tusa fresca (EFB) en el perfil del suelo. Existieron diferencias significativas en la CIC en el perfil del suelo con una persistencia mayor a los 90 días.

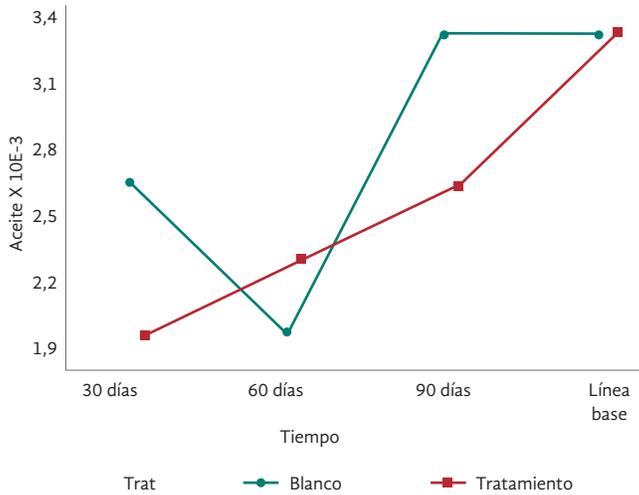
La aplicación de tusa fresca (27 t/ha) incrementó en más de cinco veces la CIC, demostrando ser un mejorador de las condiciones químicas en los horizontes del suelo de 0 a 60 cm. La CIC es muy baja en los suelos palmeros de los Llanos Orientales, y la aplicación de tusa fresca incrementa y facilita la toma de nutrientes (Figuras 7 y 8).

### Potasio

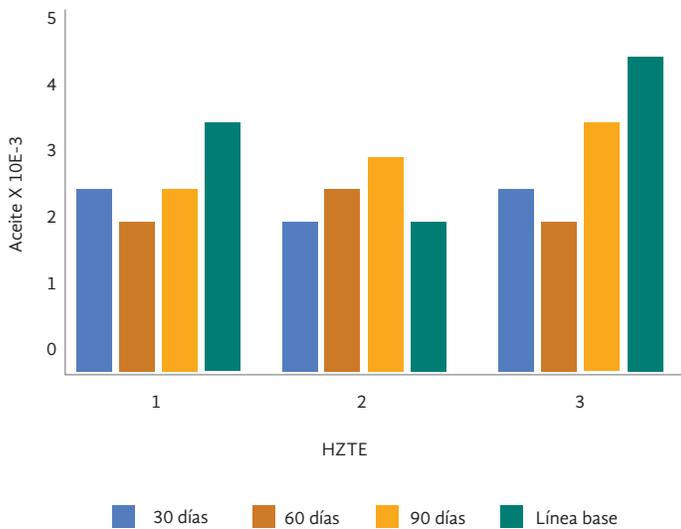
Los contenidos de potasio, por su parte, presentaron diferencias altamente significativas con la aplicación de tusa fresca con relación a la no aplicación de tusa

**Tabla 8.** Resultado Análisis de varianza para el contenido de aceite en el perfil del suelo.

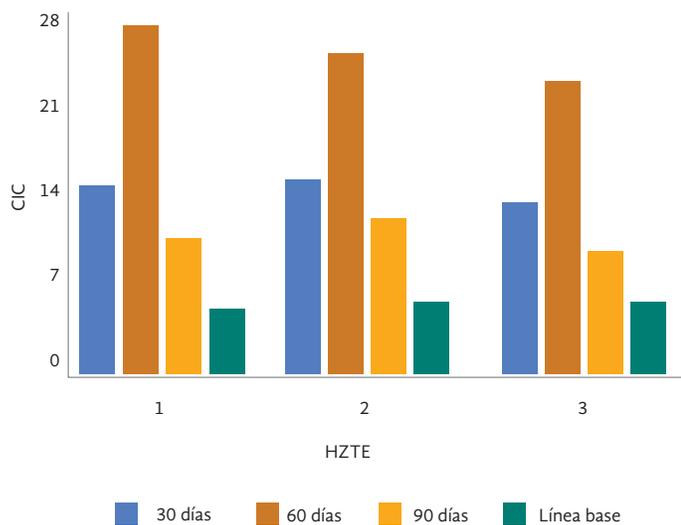
Tukey Test Aceite			
Tratamiento	Media	Grupos homogéneos	
Blanco	2.83E-03	A	
Tratamiento	2.58E-03	A	
Tiempo	Media	Grupos homogéneos	
Línea base	3.33E-03	A	
90 días	3.00E-03	A	
30 días	2.33E-03	A	
60 días	2.17E-03	A	
Tratamiento	Tiempo	Media	Grupos homogéneos
Blanco	90 días	3.33E-03	A
Blanco	Línea base	3.33E-03	A
Tratamiento	Línea base	3.33E-03	A
Blanco	30 días	2.67E-03	A
Tratamiento	90 días	2.67E-03	A
Tratamiento	60 días	2.33E-03	A
Blanco	60 días	2.00E-03	A
Tratamiento	30 días	2.00E-03	A
Tratamiento	HZTE	Media	Grupos homogéneos
Tratamiento	3	3.25E-03	A
Blanco	1	3.00E-03	A
Blanco	3	3.00E-03	A
Blanco	2	2.50E-03	A
Tratamiento	1	2.25E-03	A
Tratamiento	2	2.25E-03	A



**Figura 5.** Comportamiento del contenido de aceite en el perfil del suelo a través del tiempo con la aplicación de tusa fresca (línea roja) y sin tusa (blanco).

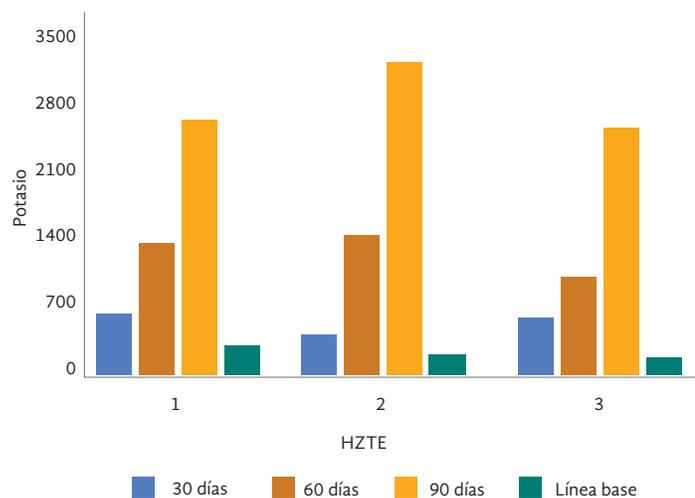


**Figura 6.** Comportamiento del contenido de aceite en los horizontes del perfil del suelo a través del tiempo.



**Figura 7.** Comportamiento de la CIC con la aplicación de tusa fresca a través del tiempo en el perfil del suelo. Horizonte 1 (0-20 cm), Horizonte 2 (20-40 cm) y Horizonte 3 (40-60 cm).

**Figura 8.** Comportamiento del potasio a través del tiempo.



fresca (línea base) en el perfil de suelo, a través del tiempo, en los diferentes horizontes.

El comportamiento en las concentraciones de potasio en el perfil del suelo con la aplicación de tusa fresca a través del tiempo incrementó significativamente en 15 veces a los 90 días y 6,3 veces a los 60 días, con relación a la línea base o situación inicial en el suelo. A los 30 días el incremento del potasio fue de 2,6 veces en promedio en el perfil del suelo, con relación a la línea base, pero no presentó diferencias significativas (Figura 8).

### Nitrógeno

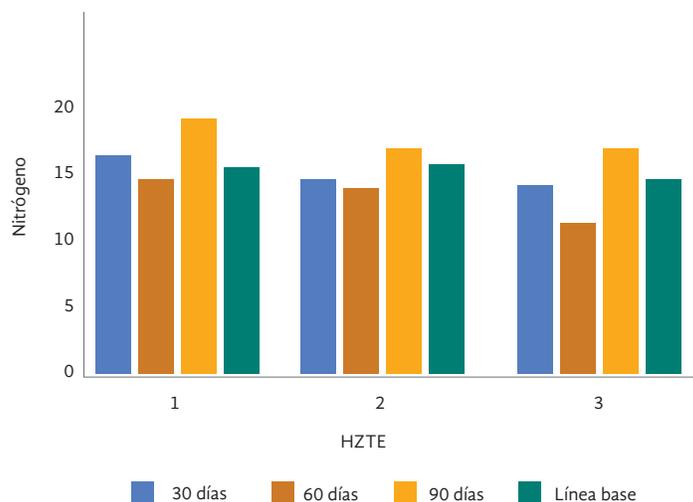
Los contenidos de nitrógeno se incrementaron a partir de los 90 días con relación a la línea base, resultado similar a los de estudios previos en los cuales se de-

muestra que la tusa fresca sigue liberando el nitrógeno hasta los 200 días.

### Conclusiones

- La aplicación de 200 kg/palma de tusa fresca (EFB) equivalente a 27 t/ha de tusa fresca (EFB), con una impregnación de aceite del 6 % no elevó los contenidos de aceite en los acuíferos superficiales (las concentraciones variaron entre 0,5 y 5,5 mg/L), ni en el perfil del suelo con relación a la no aplicación. Los contenidos de aceite a través del tiempo fueron disminuyendo con relación a la línea base, lo que indica la existencia de una alta degradación del mismo por microorganismos del suelo. Igual ocurrió con la DBO5 en los acuíferos superficiales, la cual no superó los 50 mg/L, indicando que no hay contaminación.

**Figura 9.** Comportamiento del nitrógeno a través del tiempo.



- La CIC y la relación C/N se incrementaron significativamente con la aplicación de tusa fresca en más de cinco veces con relación a la línea base en el perfil del suelo. Los contenidos de potasio, calcio y nitrógeno se incrementaron significativamente, en especial el potasio el cual lo hizo en más de 15 veces.
- Los resultados obtenidos presentan alta concordancia con estudios internacionales realizados y documentados (Schudardt *et al.*, Goh *et al.*, Chee *et al.*, Kamarudin *et al.*, Hardum y Tarmizi, N Ravi *et al.*).
- Este trabajo demuestra que la aplicación de tusa fresca hasta 27 t/ha no genera efectos contaminantes ni perjudiciales a nivel ambiental y, por el contrario, los beneficios a nivel de la fertilidad del suelo son significativos por lo que resulta ser una muy buena práctica agronómica en el cultivo de la palma de aceite y que se califica positivamente en la certificación de la RSPO.

## Referencias bibliográficas

- Chan, KW. (2005) Best-developed practices and sustainable development of the oil palm industry. *Journal of Oil Palm Research*, 17,124–135.
- Chee KH, Chiu SB (1999) Fruit waste recycling by mulching with empty fruit bunches. *The Planter*, 75(882), 435–442.
- DEO, (Department of Environment). (2002). *Industrial Processes & The Environment (handbook No. 3) Crude Palm Oil Industry*. Ministry of Science, Technology and the Environment, Malaysia.
- Goh, K.J., Chew, P.S., Kee, K.K. (1994). Nutrient for mature oil palm in Malaysia. *IPI Research Topics*, (17), 36 pp.
- Gurmit, S., Manoharan, S. & Toh, T.S. (1990). *United plantations approach to palm oil mill by-product management and utilisation*. In: Proceedings of the 1989 PORIM International Palm Oil.
- Hmdan, A.B., Tarmizi, A.M. & Mohd, D. (1998). *Empty fruit bunch mulching and nitrogen fertilizer amendment: The resultant effect on oil palm performance and soil properties*. *PORIM Bull. Palm Oil Res. Inst. Malaysia* 37.
- Kamarudin, H., H. Mohamad, D. Arifin and S. Johari. (1997). An estimated availability of oil palm biomass in Malaysia. *PORIM Occ. Paper Palm Oil Res. Inst. Malaysia*.
- Lim- Kim, Chiew & Zaharah- A. Rahman. (2002). The Effects Oil Palm Empty Fruit Bunches on Oil Palm Nutrition and Yield, and Soil Chemical Propierties. *Journal of Oil Palm Research*, 14(2), 1- 9.
- MA, A.N., Cheah S.A. & Chow, M.C. (1993). *Current status of palm oil processing waste management*. In: *Waste Managaement*. in Malaysia: Current Status and Prospects for Bioremediation, B.G. Yeoh et al. (Eds.), pp. 111-136.
- Menon, R., Rahman, Z. & Bakar, N. (2003). Empty Fruit Bunches Evaluation: Mulch in Plantation vs. Fuel for Electricity Generation. *Oil Palm Industry Economic Journal*, 3(2), 15- 19.
- Rabumi, W. (1998) *Chemical Composition of Oil Palm Empty Fruit Bunch and its Decomposition in the Field*. Master's degree thesis, University Putra Malaysia.
- Rey, L., Ávila, P. & Lemus, L. (2011). *La aplicación de tusa fresca y lodos una práctica sobresaliente en el marco de la producción sostenible de la palma de aceite en AMSA*. (Documento interno). Aceites Manuelita.

- Rodríguez, M. y Van- Hoof, B. (2003). El desempeño ambiental del sector palmicultor colombiano: una década de avances y un futuro promisorio. *Palmas*, 24(3), 69- 86.
- Schuchardt, F., Wulfert, K. & Darnoko, D. (2002a) *A new, integrated concept for combined waste (EFB) and waste water (POME) treatment in palm oil mills—technical, economical and ecological aspects. Enhancing oil palm industry development through environmentally friendly technology.* In: Proceedings of Chemistry and Technology Conference, Nusa Dua Bali, Indonesia, July 8–12, 2002, pp. 330–343
- Schuchardt, F., Wulfert, K., Darnoko, D. & Herawan, T. (2006). *Sustainable waste water (POME) and waste (EFB) management in palm oil mills by a new process.* In: Proceedings of the International Oil Palm Conference 2006, Chemistry Technology Economics, Nusa Dua, Bali, Indonesia, 19–23 June, 2006, pp. 201–211.
- Schuchardt, F., Wulfert, K., Darnoko, D. & Herawan, T. (2008). Effect of new palm oil mill processes on the EFB and POME utilisation. *Journal of Oil Palm Research* (Special Issue October 2008), 115–126.
- Sunitha, S. & Varghese, P.T. (1999) Composting of oil palm wastes for efficient recycling of nutrients in palm plantations. *The Planter*, 75(885), 677–681.
- Zakaria, Z.Z., Khalid, H. & Hamdan, A.B. (1994). *Guidelines on land application of palm oil mill effluent (POME).* PORIM Bull. Palm Oil Res. Inst. Malaysia.