

**Aprovechamiento de los subproductos de la planta de beneficio en los programas de fertilización de las plantaciones de palma de aceite. Algunas experiencias en Guatemala.**

PhD. Alvaro Acosta

Msc. Juan Carlos Sánchez

Msc. Carlos Jerónimo



# Agradecimientos

- Grepalma
- Jose Luis Valdez
- Grupo HAME
- Naturaceites

# Guatemala

## Producción nacional de fruto de palma 2021

	Ton	Unidades
Fruto	<b>3.900.000</b>	Ton
<b>Aceite</b>	<b>942.963</b>	<b>Ton</b>
Productividad agrícola	25,61	Ton/ ha
<b>TEA</b>	<b>24,1</b>	<b>%</b>
Tusa	700.000	Ton
Efluente	4.000.000	M3
Ceniza	39.000	Ton

Que hacemos con todo lo que no es aceite ?

# Centro de acopio de raquis





Disposición de tusa en pilas en el campo



Distribución de  
Raquis

Reproducción de  
mosca

# Disposición de tusa en pilas en el campo





# Inmovilización de nutrimentos en RFF

Material	Origen	kg/t RFF						g/t RFF				
		N	P	Ca	Mg	K	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
De x Gha	Coto	3.20	0.60	1.52	0.65	3.39	0.39	17.7	5.3	19.0	8.2	3.6
De x Ek	Coto	3.49	0.60	1.37	0.53	3.87	0.42	22.7	5.2	18.4	5.9	4.8
De x Ek	Quepos	3.12	0.52	1.20	0.79	3.22	0.39	21.4	6.6	13.0	9.0	5.7
De/Tan x Ek	Quepos	3.75	0.49	1.16	0.91	3.49	0.42	24.8	8.6	19.7	10.0	5.5
Promedio Palma Tica		3.39	0.55	1.31	0.72	3.49	0.40	21.7	6.4	17.5	8.3	4.9
<i>Teneras</i>	<a href="#">Literatura</a>	3.85	0.60	0.70	0.92	4.8						
Ng y Thamboo, 1967 (Duras)		2.90	0.46	0.77	0.82	3.7						



Cada tonelada de fruto que se cosecha extrae nutrientes del sistema

**TABLA DE CONSUMOS**  
**Kg del elemento/Ha para producir 25 Ton de**  
**racimos en suelos costeros de Malasia**

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Mg</b>	<b>Ca</b>
<b>1. Crec. Veg.</b>	40.9	3.1	55.7	11.5	13.8
<b>2. Hojas podadas</b>	67.2	8.9	86.2	22.4	61.6
<b>3. Inf. Masc.</b>	11.2	2.4	16.1	6.6	4.4
<b>4. Tons. racimos</b>	73.2	11.6	93.4	20.8	19.5
<b>TOTAL</b>	<b>192.5</b>	<b>26.0</b>	<b>251.4</b>	<b>61.3</b>	<b>99.3</b>

Reciclaje

Tomado de Fertilizing for high yield and quality.  
 The Oil Palm International Potash Institute 1991.  
 Fuente original Hartley 1983.

Dosis de fertilizante requerida para reponer los nutrientes extraídos con la cosecha

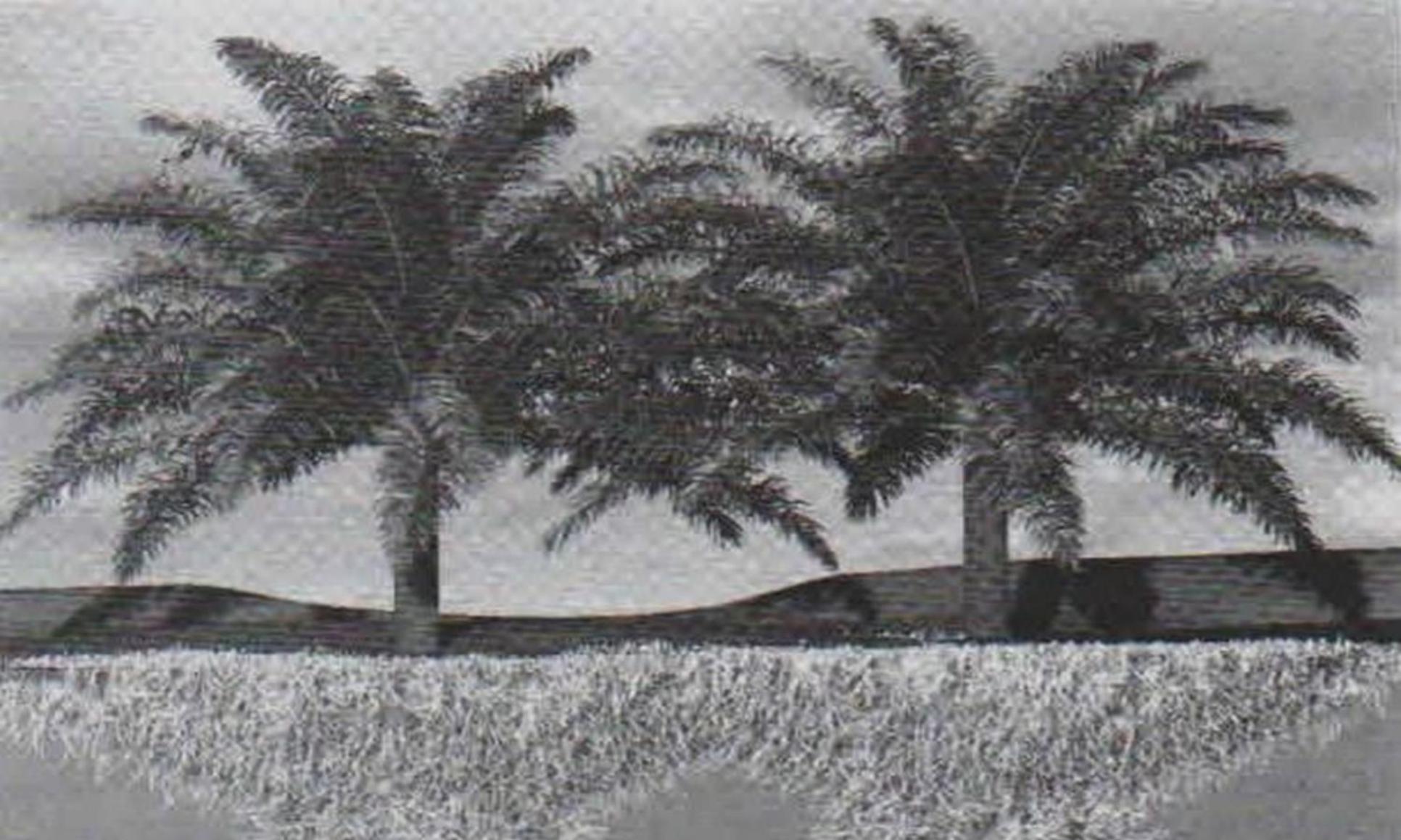
Kg de fertilizantes/ha/año (Exportado)					
			Toneladas/ha/año		
%			20	25	30
NAM	0,34	N	236,16	304,45	372,75
MAP	0,12	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	103,40	129,25	155,10
KCL	0,60	K <sub>2</sub> O	411,84	514,80	617,76
kieserita	0,25	MgO	339,77	424,71	509,65
Borax	0,15	B	0,76	0,95	1,14
Total (kg de fertilizante/ha)			1091,93	1374,17	1656,41
Total (kg de fertilizante/planta)			7,64	9,61	11,58

Cada tonelada de fruto que se produce extrae el equivalente a 380 gms de fertilizante/palma

Cuanto es capaz de entregar el suelo depende específicamente de cada sitio,  
El faltante debe ser aplicado como fertilizante

# Consideraciones

- Para producir 3'900.000 toneladas de fruto, en Guatemala se extrajeron del suelo nutrientes por un equivalente cercano a las 207.000 toneladas de fertilizante convencional.
- Es imperativo mejorar la eficiencia de los programas de fertilización a fin de reducir la factura de fertilizantes o el minado de suelos de cultivo.
- El aprovechamiento de todos los nutrientes presentes en los subproductos del proceso de producción agrícola y la planta extractora son una oportunidad para ello.



## La Palma

Materia seca foliar es proporcional a la materia seca de raíces  
Todo el sistema radical del sistema productivo esta conectado

# Contenido de nutrientes en hojas cortadas.

Tabla 1. Nutrientes disponibles en las hojas podadas (Kee y Chew, 1997).

Parte de la planta	N	P	K	Mg
	kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>			
Folículos	66	4	29	6
Raquis	10	2	49	3
Pecíolo	6	1	24	2
Total	82	7	102	11

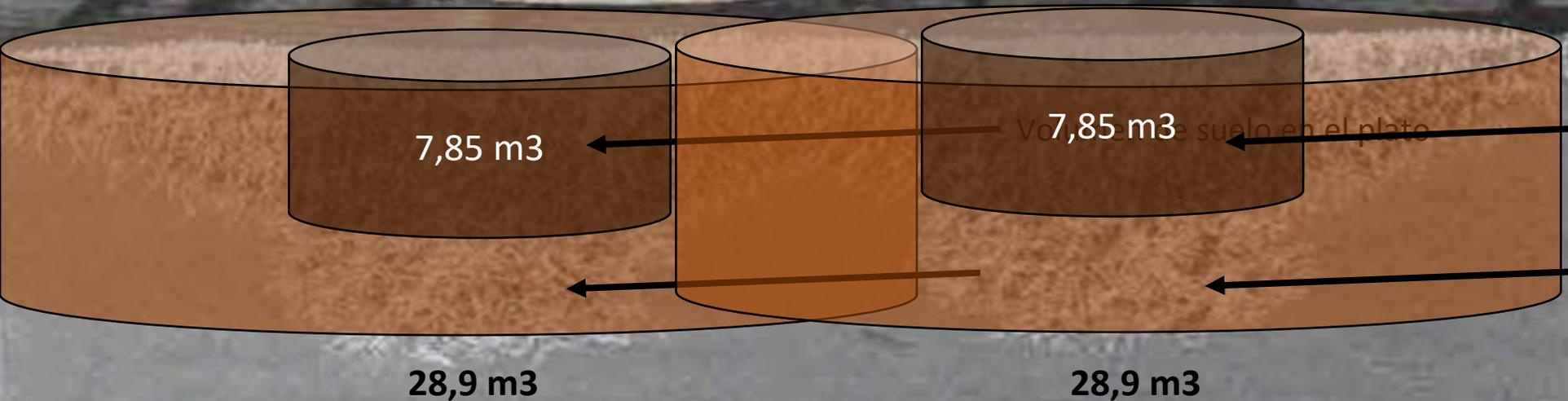
Editado por: Fairhurst y Hardter

Estos valores dependerán de la masa foliar por hoja y de la tasa de acumulación de materia seca foliar anual por ha.

## Distribución equivocada de las hojas en campo

Los programas de fertilización contabilizan los nutrientes contenidos en las hojas y asumen su correcto reciclaje y aprovechamiento por parte del cultivo por lo que la disposición de las hojas cortadas debe ser radial con el fin de beneficiar el mayor volumen de suelo posible

# Volumen de suelo/palma vs volumen de suelo/plato



## Volumen de suelo por palma vs volumen de suelo/plato

Volumen de suelo utilizable en plato  $2,5\text{m} \times 2,5\text{m} \times 3,14 \times 0,4\text{m} = 7,85 \text{ m}^3$

Volumen de suelo utilizable por palma  $10.000 \text{ m}^2 / 138 \times 0,4\text{m} = 28,9 \text{ m}^3$

Las dosis de fertilizante se calculan con base en el volumen de suelo usado por la planta **(29 m<sup>3</sup>)** y no por el volumen del suelo correspondiente al plato **(7,85 m<sup>3</sup>)**  
Cuando el fertilizante se aplica al plato la concentración de sales en el volumen de suelo del plato se estaría **multiplicando por 4**, generándose una condición inadecuada para las raíces tanto en el plato como en el área fuera del plato  
Con las hojas podadas que son fertilizante se acomoda en arrume o palera pasa exactamente lo mismo

# Consideraciones

Un cultivo de palma es mucho mas que una serie de individuos aislados que comparten un lote de terreno,  
Es una **comunidad de individuos** que interactúan entre ellos y con la vegetación acompañante, formando un sistema productivo, que se comunican a través del sistema radical, que comparten recursos y que compiten por energía, por agua, por oxígeno y por nutrientes

**No se fertilizan las palmas como individuos aislados, se mejora la nutrición del sistema productivo como un todo**

# Contenido de nutrientes en racimos vacíos

Tabla 3. Contenido de nutrientes (% MS) y equivalente en fertilizantes para los racimos desfrutados (RD).

Nutriente	Corley et al., 1971	Gurmit Singh et al., 1989	BLRS (1998)	Media	Equivalente de fertilizante		
					Fertilizante	kg t <sup>-1</sup> RD	kg palma <sup>-1</sup> *
N	0.35	0.80	0.70	0.62	Urea	2.7 - 6.1	0.98 - 2.24
P	0.012	0.096	0.038	0.049	Fosforita	0.3 - 2.6	0.12 - 0.94
K	1.90	2.41	1.46	1.92	KCl	10.3 - 16.9	3.77 - 6.22
Mg	0.11	0.18	0.09	0.13	Kieserita	1.9 - 3.9	0.71 - 1.43
Ca	0.11	0.18	0.22	0.17	Cal agricola	1.1 - 2.2	0.39 - 0.80

\* Se supone una densidad de plantación de 136 palmas ha<sup>-1</sup>, 50 t ha<sup>-1</sup> RD y humedad en el RD de 65%.

Editado por: Fairhurst y Hardter

Hoy muchas plantas extractoras presan el raquis para extraer aceite lo que cambia el contenido de nutrientes en la tusa

## Contenido de nutrientes en subproductos solidos de la industria análisis 2022

<b>%</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>
<b>Tusa fresca</b>	0,62	0,05	1,91	0,17	0,13
<b>Tusa prensada 1</b>	0,53	0,04	0,90	0,17	0,07
<b>Tusa prensada 2</b>	0,63	0,05	1,07	0,09	0,06
<b>Fibra de mesocarpio</b>	1,27	0,11	0,58	0,87	0,16

Fuente: Grupo Hame

# Contenido de nutrientes y fertilizante equivalente en una carreta de cinco toneladas de tusa fresca

Tusa 5000 Kg	N	P	K	Ca	Mg
Contenido de nutrientes en la tusa	0,62	0,049	1,91	0,17	0,13
		2,35	1,2		1,65
Equivalente en óxido	0,62	0,11515	2,292	0,17000	0,2145
Contenido de óxidos en 4 toneladas de tusa	31,00	5,76	114,60	8,50	10,73
	NAM	DAP	KCL		Kieserite
Kg equivalentes en fertilizante	92,54	12,52	229,2		42,9
Quintales Equivalentes	2,1	0,3	5,1	0,0	1,0

5 ton de tusa equivalen a 8,4 quintales de fertilizante

# Primeras aplicaciones de Tusa



# Aplicación de Raquis



Incorrecta. Toda la tusa se aplica sobre un 50% del área



Aplicadoras de tusa y/o compost

A photograph of a palm tree plantation. The ground is covered with a thick layer of mulch, likely palm fronds, which is being used to suppress weeds and retain moisture. The palm trees are arranged in rows, and the scene is brightly lit, suggesting a sunny day. The text overlay at the bottom of the image reads: 

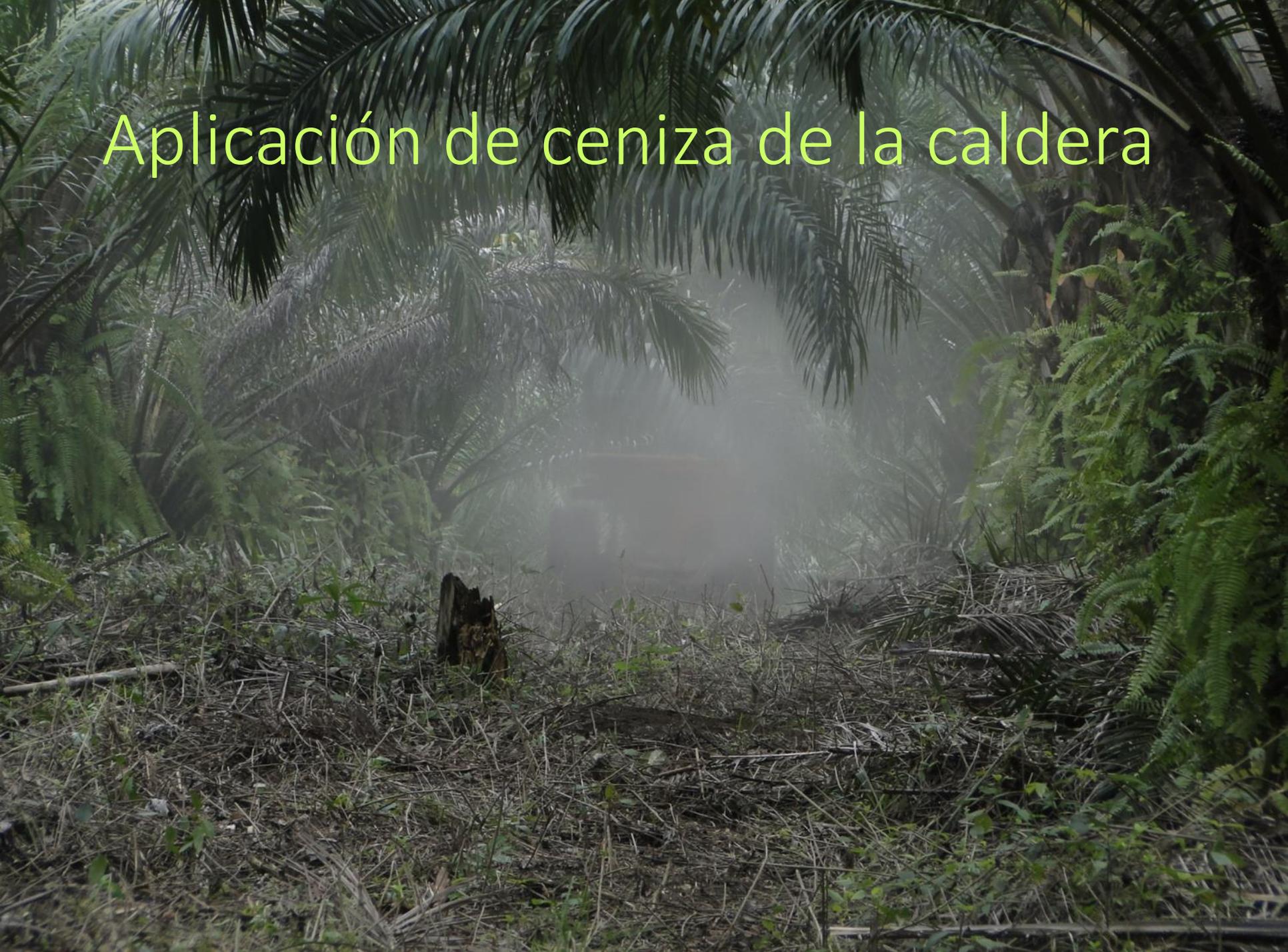
Correcta aplicación de tusa en campo cubriendo todo el suelo

# Contenido de nutrientes en la ceniza de la caldera por combustión de fibra de mesocarpio

*Tabla 6. Contenido de nutrientes de la ceniza de racimos (Toh et al., 1981).*

Nutriente	Ceniza seca %	Equivalente de fertilizante	
		Fertilizante	kg t <sup>-1</sup> CR
P	1.6	Roca fosfórica	103
K	34.3	KCl	690
Mg	3.5	Kieserita	223
Ca	3.5	Cal en polvo	98

# Aplicación de ceniza de la caldera



# Contenido de nutrientes en el efluente crudo y digerido

Tabla 8. Contenido de nutrientes del efluente de la planta extractora de aceite de palma (EPEAP).

Tipo	mg l <sup>-1</sup>					Referencia
	N	P	K	Mg	Ca	
Crudo	950	151	1956	343	394	Chan et al., 1981
	948	154	1958	345	-	Ma y Hassan, 1991
	750	180	2270	615	439	Ma at al., 1996
	1058	177	2280	667	448	Tam et al., 1982
Promedio	927	166	2116	493	427	
Digerido	322	67	1522	284	225	Chan et al., 1981
Sobrenadante en zanjas	320	42	1495	258	-	Ma y Hassan, 1991

Tabla 9. Contenido de nutrientes digerido en el efluente de la planta extractora de aceite de palma (EPEAP) y su equivalente de fertilizante respectivo.

Nutrientes	Unidad	N	P	K	Mg
Contenido de nutriente	mg l <sup>-1</sup>	300	50	1500	270
Fertilizante		Urea	Roca Fosforica	KCl	Kieserita
Equivalente de fertilizante	kg t <sup>-1</sup> EPEAP	0.65	0.40	3.00	1.70
Fertilizante aplicado*	kg palma <sup>-1</sup>	3.1	1.8	14.4	8

\* Se suponen 650 t ha<sup>-1</sup> de EPEAP y 135 palmas ha<sup>-1</sup>.



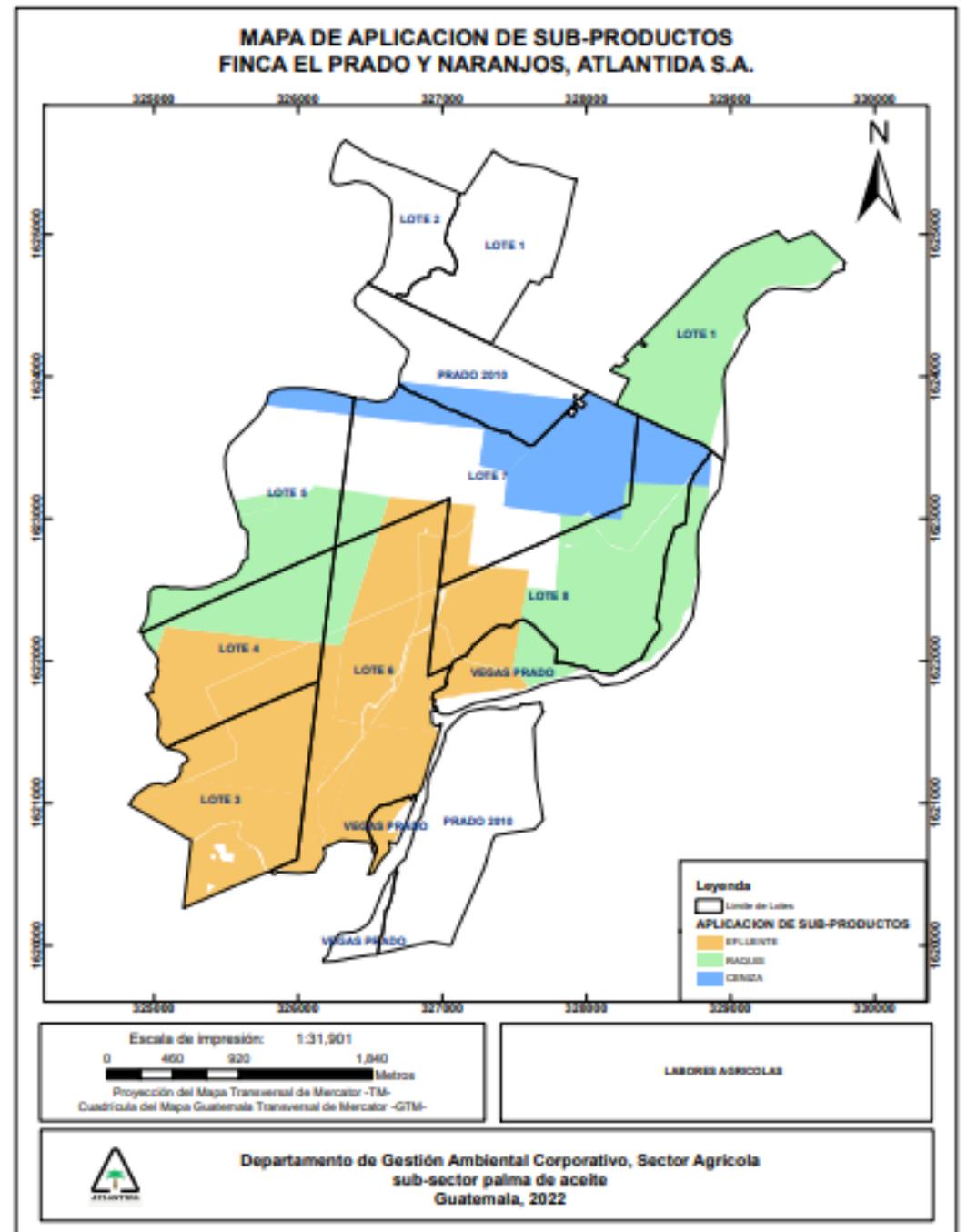


Inyección de efluente a succión principal de riego

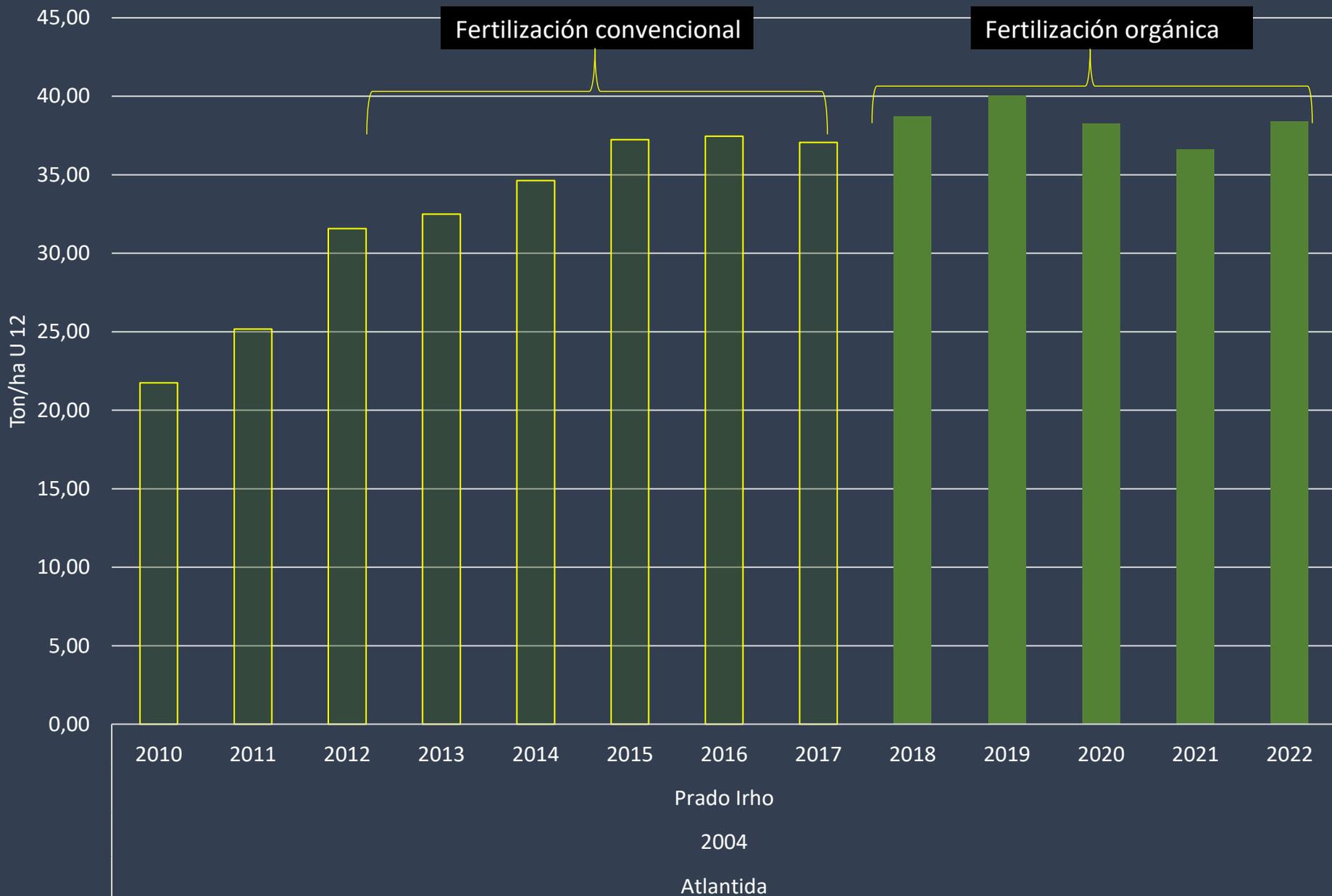
Primeras pruebas comerciales de sustitución de fertilizantes convencionales por subproductos de la planta extractora

Área fertilizada con subproductos

Efluente :	388,95 has
Tusa	261,45 has
Ceniza	97,69 has



# Finca El Prado Evolución de la productividad Ton/ha U 12 fertilizada con subproductos de la Planta de beneficio.



# Finca El Prado.

Zona	Atlántida										
Finca	Prado										
<b>Promedio de TM/Ha U12</b>	<b>Etiquetas de columna</b>										
<b>Lote</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>Total general</b>
Efluente	35,4	35,7	37,5	38,8	39,4	41,9	40,7	35,6	30,5	34,3	37,5
Efluente	36,7	38,0	39,5	41,9	42,8	42,8	39,4	37,5	42,3	44,2	40,5
Efluente	34,4	35,1	37,9	34,1	29,6	32,1	31,8	35,9	36,9	39,1	34,2
Tusa	33,8	31,2	36,4	32,5	36,7	38,9	38,3	34,8	35,5	36,2	35,5
Tusa	26,1	29,9	31,6	29,9	32,1	34,7	35,0	31,2	33,0	35,5	32,1
Ceniza	32,9	35,1	36,4	37,1	39,3	40,0	37,0	37,1	37,5	37,0	37,4
<b>Total general</b>	<b>33,2</b>	<b>34,2</b>	<b>36,5</b>	<b>35,7</b>	<b>36,7</b>	<b>38,4</b>	<b>37,0</b>	<b>35,3</b>	<b>35,9</b>	<b>37,7</b>	<b>36,2</b>
<b>Tratamiento</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>Media</b>
Efluente	35,5	36,3	38,3	38,2	37,3	38,9	37,3	36,3	36,6	39,2	37,3
Tusa	29,9	30,5	34,0	31,2	34,4	36,8	36,7	33,0	34,2	35,8	34,9
Ceniza	32,9	35,1	36,4	37,1	39,3	40,0	37,0	37,1	37,5	37,0	37,2

	Ton/ha Antes	Ton/ Ha Después	Beneficio
Efluente	37,4	37,3	Fertilizante
Tusa	32,8	34,9	Fert + 2,1 ton FFB
Ceniza	36,8	37,2	Fert + 0,4 ton FFB



Compost.

La oportunidad de usar todo junto y con menor volumen



		Unida	Cantidad
<b>INGRESOS</b>	<b>Sub productos</b>	<b>d</b>	
	Fibra (Raquis)	TM	53,904
	Lodos	M3	29,423
	Torta de		
	Tricanter	TM	10,044
	Efluente	M3	196,372
	Sub Total		289,743
<b>EGRESOS</b>			
	Lixiviados	M3	43,316
	Compost	TM	51,316
	Sub Total		94,632
	Evaporación de		
	agua	M3	195,111

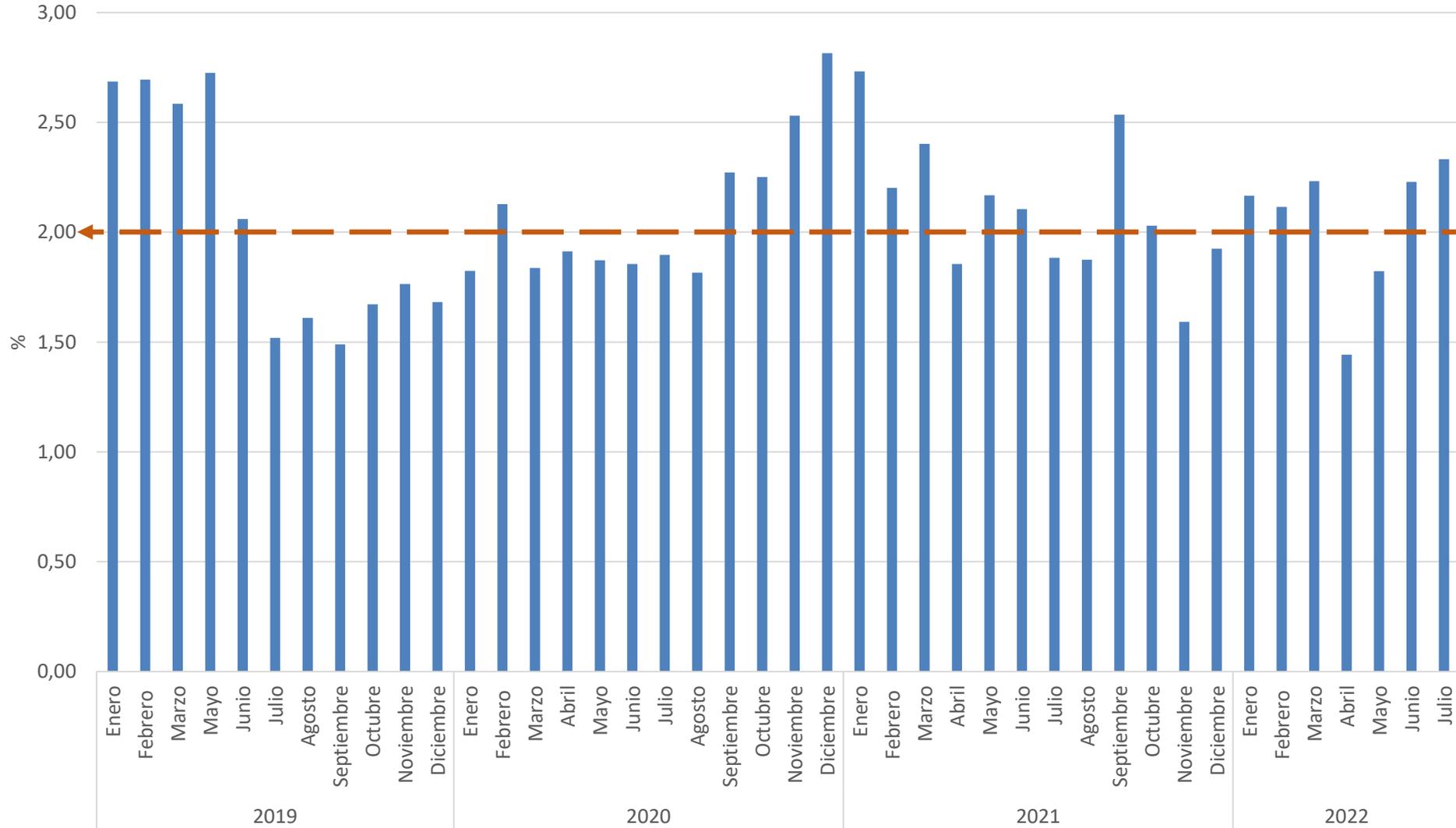
# Contenido de nutrientes en compost de subproductos de la industria de Palma de aceite

*Tabla 7. Contenido de nutrientes del compost (% MS).*

Nutriente (%)				Referencia
N	P	K	Mg	
1.5	0.4	1.0	0.2	Lord et al., 2002
1.9	1.1	1.1	0.5	Asia Green Environmental Sdn Bhd
2.7	0.4	2.0	1.1	Siregar et al., 2002
2.3	0.3	5.5	1.0	Schuchardt et al., 2002a

# Evolucion de la concentración de Nitrógeno en el compost producido en REPSA 1

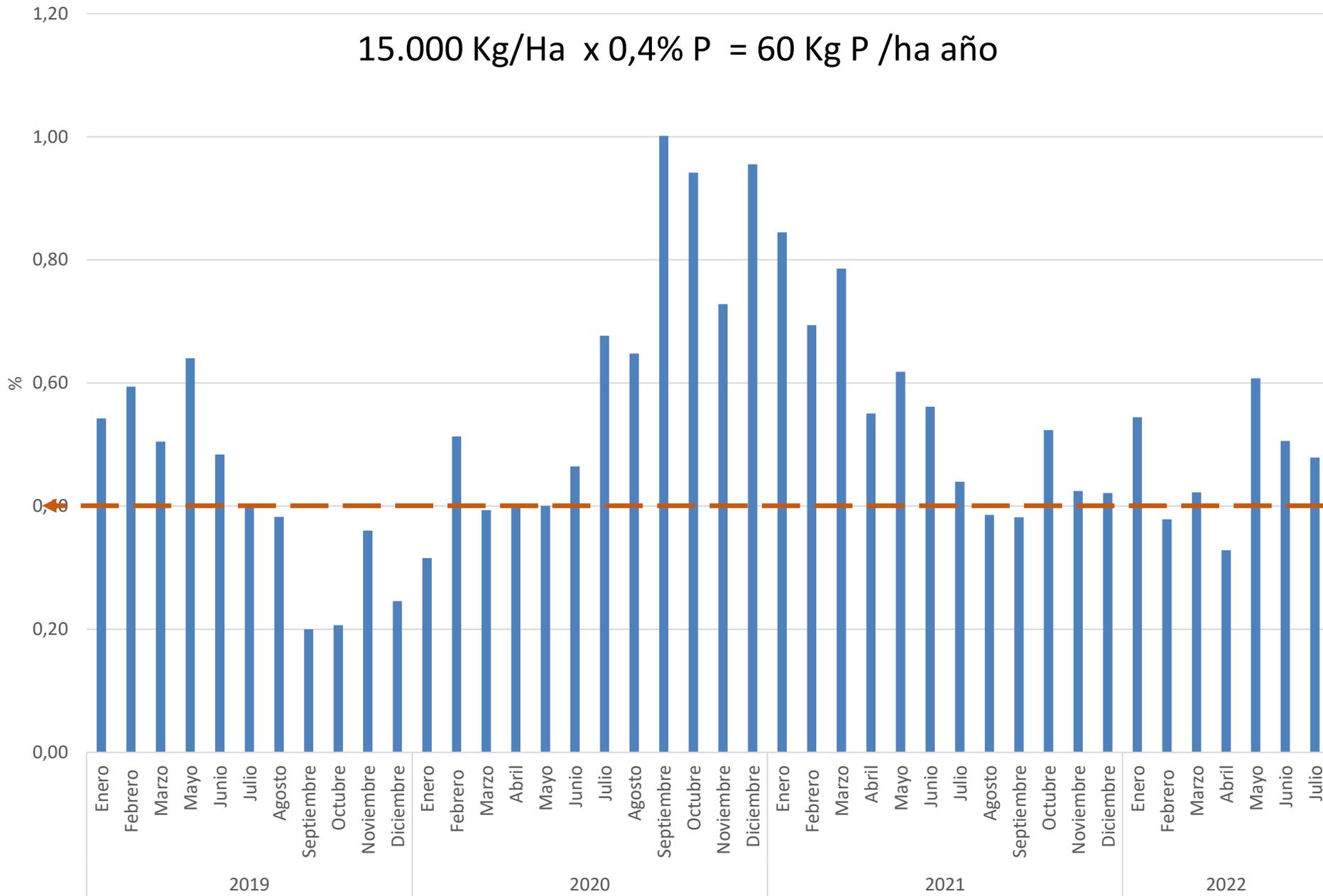
15.000 Kg/Ha x 2% N = 300 Kg



# Evolucion de la concentración de Fósforo en el compost producido en REPSA

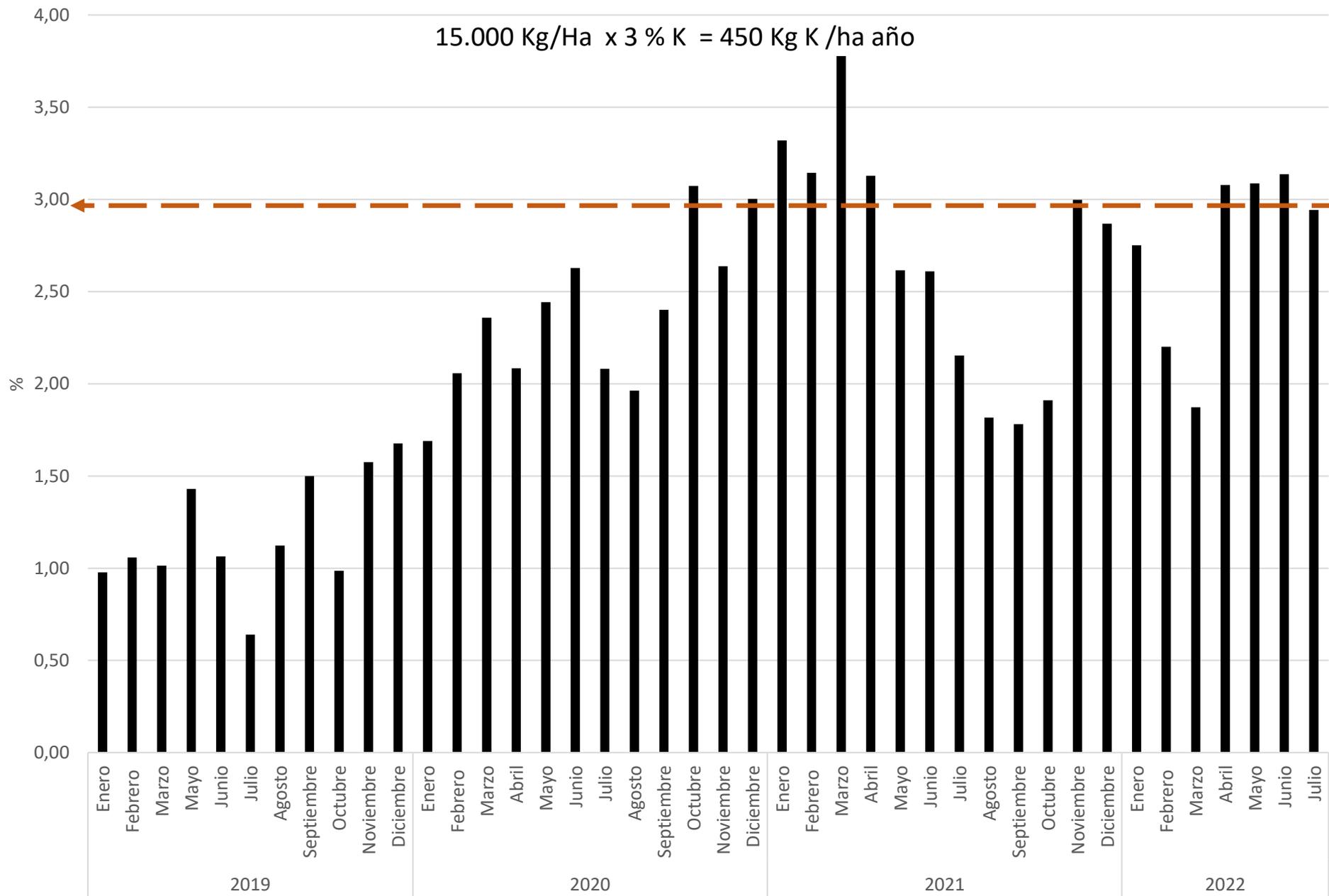
1

$$15.000 \text{ Kg/Ha} \times 0,4\% \text{ P} = 60 \text{ Kg P /ha año}$$



# Evolucion de la concentración de Potasio en el compost producido en REPSA

1



# Equipo de aplicación de compost



# Grupo HAME

Aprovechamiento de subproductos en el programa en el programa de fertilización 2022

Subproducto	Aprovechamiento de subproductos Ton o m3	Has beneficiadas en 2022
Ceniza		254
Efluente	979.232	1.224
raquis	121.782	1.740
Compost	80.965	4.574
<b>Total general</b>	<b>1.181.979</b>	<b>7.792</b>

## Grupo HAME

### Has según fuente de fertilizante entre 2017 y 2022

	Fuente de nutrientes	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total
Peten	Compost			2.528	5.790	3.903	3.198	15.419
	Raquis				556	622	622	1.800
Tecun Umán	Efluente			423	423	423	423	1.692
	Raquis	172	420	503	503	503	503	2.604
Coatepeque	Efluente			343	343	343	343	1.372
	Raquis		455	455	455	455	455	2.275
Tiquisate	Efluente					243	243	486
	Raquis	375	851	851	851	1.651	1.651	6.230
Total		547	1.726	5.103	8.921	8.143	7.438	31.878

Durante los seis años que lleva el programa de sustitución de fertilizante convencional por subproductos de la industria, han sido aplicadas 31.878 has con una sustitución equivalente a **41.436 toneladas** de fertilizante

# Grupo HAME

Evolución de la demanda de fertilizante convencional kg de fertilizante / ton de fruto fresco

ZONA	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Tecun Umán	76.4	50.7	52.5	49.6	48.7	47.2	53.4	44.7	35.7	36.7	35.9	31.5
Coatepeque	78.6	51.8	49.0	51.7	54.2	58.4	46.3	57.4	36.4	33.6	35.1	32.5
Tiquisate	86.4	58.9	46.4	48.2	47.1	37.6	47.6	45.7	32.5	28.8	36.1	29.2
Petén	154.1	116.3	81.9	96.4	82.1	65.2	81.0	64.3	59.3	50.8	42.8	48.3
TOTAL TM RFF	102.7	72.5	60.6	66.0	61.3	52.7	61.5	55.1	44.7	39.7	38.7	37.3

# Proyección de aprovechamiento potencial de subproductos de la extracción de aceite en Guatemala

			Has beneficiables con subproducto	
	Ton	Unidades	Directo	Compost
Fruto	3.900.000	Ton		31.200
Aceite	942.963	Ton		
Tusa	700.000	Ton	14.000	
Efluente	4.000.000	M3	6.154	
<b>Has Total</b>			20.154	31.200

# Consideraciones

- Hoy Guatemala cuenta con la capacidad de beneficiar alrededor de 10.000 has de cultivo de palma con compost, siendo líder en América Latina en aprovechamiento de subproductos de la extracción de aceite, lo que genera una reducción en el requerimiento de fertilizante convencional cercana a las 13.000 toneladas. 6% del requerimiento anual.
- El área potencial beneficiable con subproductos de la industria estaría alrededor de 31,200 has
- La sustitución potencial compostando todos los subproductos de la industria sería cercana a las 41.400 ton de fertilizante convencional. 20% del requerimiento anual.

Gracias