Boletín Técnico No. 44

Fertilización en el cultivo de palma de aceite: consideraciones para su planeación y ejecución

Jhon Fredy Jiménez Vera, Jhonatan Eduardo Camperos Reyes,
Nolver Atanacio Arias Arias
Editores

cenipalma

Boletín Técnico No. 44

Fertilización en el cultivo de palma de aceite: consideraciones para su planeación y ejecución

Centro de Investigación en Palma de Aceite - Cenipalma
Bogotá, diciembre de 2023

Boletín Técnico No. 44

Fertilización en el cultivo de palma de aceite: consideraciones para su planeación y ejecución

Publicación del Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, cofinanciada por el Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma.

Alexandre Patrick Cooman
Director General

Editores
Jhon Fredy Jiménez Vera
Jhonatan Eduardo Camperos Reyes
Nolver Atanacio Arias Arias

Coordinación editorial
Yolanda Moreno M.

Diagramación
Fredy Johan Espitia B.

Impresión
Estudio 45-8 S.A.S.

Cenipalma
Calle 98 # 70-91. Piso 14
PBX: (57-601) 313 8600
www.cenipalma.org
Bogotá, D. C., Colombia

Octubre de 2023
ISBN: 978-958-8360-99-7
Doi: https://doi.org/10.56866/9789588360997

Presentación

La nutrición adecuada de la palma de aceite impacta positivamente en los rendimientos y en la sanidad del cultivo. Además, en la estructura de los costos de producción es el rubro de mayor participación, principalmente por los fertilizantes, sumado a la baja fertilidad de los suelos y a las demandas nutricionales de la palma. Por lo tanto, para que el cultivo aproveche la mayor cantidad de nutrientes, es fundamental efectuar una buena planeación teniendo en cuenta diferentes aspectos: el plan de fertilización adecuado; la calidad de los fertilizantes; las condiciones óptimas para aplicar las fuentes fertilizantes del lote o de las Unidades de Manejo Agronómico (UMA) asociadas al suelo y a la palma; la administración de los recursos disponibles (talento humano, equipos y maquinaria); y la capacitación del personal operativo que ejecuta la labor y la supervisión de esta.

Por lo anterior, en este boletín se presentan los factores clave para realizar un proceso de fertilización que permita aumentar la eficiencia en el uso de los fertilizantes y que incida positivamente en la rentabilidad del negocio.

Contenido

Pág.

Primera Parte. Planeación y preparación del proceso de fertilización 11

Criterios asociados a un plan de nutrición en el cultivo de palma de aceite..... 13

Interpretación de resultados del plan nutricional..... 19

Criterios para la selección de fuentes fertilizantes 19

Consideraciones previas a la aplicación de las fuentes fertilizantes..... 20

Duración de las ventanas de aplicación 34

Bibliografía..... 36

Segunda Parte. Métodos de aplicación de fertilizantes 39

Aspectos generales de los métodos de aplicación 41

Criterios para la selección de los métodos de aplicación de fertilizante 51

Personal requerido para la labor 53

Bibliografía..... 55

Tercera parte. Calidad fisicoquímica de las fuentes de nutrientes 57

Herramientas e insumos necesarios para el muestreo..... 59

Métodos de muestreo por tipo de presentación (empaque) 60

Aleatorización de las muestras 64

Preparación de la muestra para el laboratorio..... 64

Normatividad vigente 65

Interpretación de resultados del análisis de fuentes fertilizantes 69

Toma de decisiones..... 71

Bibliografía..... 72

Cuarta parte. Evaluación de la calidad de la aplicación en campo 73
Evaluación de las condiciones del lote 75
Logística previa a la evaluación de la labor de fertilización 79
Evaluación de la calidad de aplicación de fertilizantes 83
Descripción y diligenciamiento del formato para la calificación del proceso de aplicación de fertilizantes en palma de aceite 86
Bibliografía 88

Quinta parte. Costos asociados a la aplicación de fertilizantes 89
Estructura de costos de la fertilización 93
El mercado de los fertilizantes 93
Estimación de costos de fertilización 97
Bibliografía 102

Listado de figuras

Pág.

Figura 1. Muestreo de suelos para análisis químico: (a) Toma de submuestra; (b) Conformación de muestra de suelos compuesta; (c) Muestra compuesta de suelos 14

Figura 2. Toma de muestras foliares 16

Figura 3. Medición de parámetros vegetativos en hoja 17 para la estimación de materia seca foliar (MSF): (a) longitud de raquis; (b) y (c) ancho y profundidad de raquis; (d) y (e) ancho y longitud de foliolos 17

Figura 4. Conteo de racimos y estructuras reproductivas en un muestreo de producción 18

Figura 5. Porte y altura del dosel de palmas de 7 años de establecidas en campo. (a) Cultivar *E. guineensis*; (b) cultivar híbrido interespecífico OxG 21

Figura 6. Condición de poda en palma. (a) Adecuada; (b) no adecuada 22

Figura 7. Condición del plato de la palma. (a) Con mantenimiento; (b) sin mantenimiento 22

Figura 8. Aplicación de biomasa alrededor del plato. (a) Disposición de racimos vacíos (tusas); (b) disposición de hojas en contorno del plato de la palma 23

Figura 9. Condición de exceso de humedad en el cultivo de palma de aceite 24

Figura 10. Inspección de la humedad del suelo al tacto 25

Figura 11. Nivel freático cercano a la superficie del terreno 25

Figura 12. Pozo de observación para seguimiento del nivel freático 26

Figura 13. Evaluación de la infiltración del agua en el suelo mediante anillos concéntricos 27

Figura 14. Precipitación media mensual de los años 2017–2021 para una plantación en Zona Oriental (izquierda) y en Zona Norte (derecha) 31

Figura 15. Distribución decadal multianual de precipitaciones en una plantación de la Zona Oriental 33

Figura 16. Distribución decadal multianual de precipitaciones en una plantación de la Zona Norte 33

Figura 17. Identificación de posibles momentos para la ejecución de labores de fertilización 33

Figura 18. Precipitación diaria (semestre I – 2022) y posibles oportunidades de aplicación que conforman la primera ventana de tiempo para ejecutar labores asociadas a la fertilización del cultivo. (a) Condición de la Zona Oriental; (b) condición de la Zona Norte 36

Figura 19. Método de transporte de fertilizantes al lote. Tractor con carretas o remolques articulados 42

Figura 20. Tipos de distribución de fertilizante en el lote en punto de distribución principal o puntos de distribución intermedios 43

Figura 21. Ejemplo de distribución del fertilizante al interior del lote 43

Figura 22. Método de aplicación manual de fertilizante en forma de abanico en dos puntos de la palma 44

Figura 23. Tarado de fertilizante granular con balanza (gramera) previo a la aplicación de fertilizantes 45

Figura 24. Operario con timbo o recipiente para cargar el fertilizante 46

Figura 25. Aplicación semimecanizada de fertilizante. Aplicación desde la carreta con tractor. 47

Figura 26. Carromato para cargar el fertilizante en campo 48

Figura 27. Carreta para el transporte y carga de fertilizante en campo 48

Figura 28. Semoviente (mulo) con carreta para la fertilización 49

Figura 29. Tractor empleado para el transporte de fertilizante en campo 50

Figura 30. Equipo para aplicación mecanizada de fertilizantes 51

Figura 31. Dispositivo muestreador de fertilizantes 59

Figura 32. Almacenamiento de fertilizantes en bodega 60

Figura 33. Ilustración para la toma de submuestra de fertilizantes en presentación de bultos o sacos 61

Figura 34. Fertilizante en *big bags* o bultos grandes. Especialmente recomendado para aplicaciones mecanizadas 62

Figura 35. Ilustración para la toma de submuestra en fertilizantes en presentación de bolsas grandes o *big bags* 62

Figura 36. Fertilizantes dispuestos a granel 63

Figura 37. Ilustración de puntos de muestreo para fertilizantes dispuestos a granel 64

Figura 38. Aspecto de la urea granulada 66

Figura 39. Aspecto del superfosfato triple (46 % de P_2O_5) 67

Figura 40. Aspecto del cloruro de potasio (KCl) granular (60 % de K_2O) 68

Figura 41. Representación de los resultados de análisis de la fuente fertilizante con respecto al contenido de nitrógeno total garantizado según el fabricante 70

Figura 42. Representación de los resultados de análisis de la fuente fertilizante con respecto al contenido de fósforo (P_2O_5) garantizado según el fabricante 70

Figura 43. Representación de los resultados de análisis de la fuente fertilizante con respecto al contenido de potasio (K_2O) garantizado según el fabricante 71

Figura 44. Condiciones de cobertura en calles de tráfico: (a) adecuada para tránsito; (b) condición extrema de mantenimiento o limpieza 76

Figura 45. Condiciones de cobertura vegetal del suelo en calles de no tráfico o de palera: (a) adecuada; (b) coberturas no adecuadas 76

Figura 46. Condiciones de cobertura en el plato de la palma: (a) alta cobertura de arvenses; (b) área intervenida con guadaña y en mejor condición para la aplicación de las fuentes fertilizantes 77

Figura 47. Condiciones de poda en palmas: (a) adecuada; (b) palma con hojas enruanadas y dificultad para la aplicación de fertilizantes 78

Figura 48. Condiciones de humedad del área del plato: (a) adecuada; (b) condición de falta de humedad y biomasa para la aplicación de fertilizantes 79

Figura 49. (a) Calle de tráfico en condición inadecuada de humedad y (b) calle de tráfico en condiciones apropiadas para tránsito y aplicación de fertilizantes 79

Figura 50. Delimitación del área a aplicar con las fuentes fertilizantes 80

Figura 51. Condiciones de humedad de fertilizantes: (a) y (b) adecuada condición del fertilizante; (c) fertilizante humedecido 81

Figura 52. Proceso de preparación y transporte del fertilizante hacia los lotes o UMA 82

Figura 53. Distribución de bultos de fertilizantes en el borde de lote o UMA 82

Figura 54. Representación de la selección de tres áreas para efectuar la supervisión de la fertilización en una UMA 83

Figura 55. Área alrededor de la palma en la que se observan gránulos de fertilizante, evidenciando su aplicación 84

Figura 56. (a) Disposición adecuada de fertilizantes aplicados; (b) disposición no adecuada 85

Figura 57. (a) Acondicionamiento de empaque de fertilizantes en la carreta que apoya la aplicación; (b) empaque plástico olvidado en campo 86

Figura 58. Estructura de costos del cultivo de *E. guineensis* en 2021 91

Figura 59. Estructura de costos del cultivo del híbrido OxG en 2021 91

Figura 60. Costos estimados de la fertilización por zonas palmeras y por etapas del cultivo en *E. guineensis* (a) e híbrido OxG (b) durante 2021 92

Figura 61. Estructura de costos directos de la fertilización 93

Figura 62. Precios internacionales corrientes de fuentes simples de fertilizantes 95

Listado de tablas

Pág.

Tabla 1. Niveles críticos o de referencia en suelos empleados en el cultivo de palma de aceite 14

Tabla 2. Niveles críticos o de referencia en tejido foliar de la hoja 17 en el cultivo de palma de aceite 15

Tabla 3. Clasificación de la velocidad de infiltración 27

Tabla 4. Rangos de interpretación de la estabilidad estructural con relación al diámetro ponderado medio – DPM 29

Tabla 5. Participación del método de aplicación de fertilizante por zona palmera 41

Tabla 6. Criterios para la selección del método de aplicación 53

Tabla 7. Rendimientos observados de la labor de fertilización (ha/jornal) 54

Tabla 8. Número de submuestras en función de la cantidad de bolsas o sacos de fertilizantes a evaluar 61

Tabla 9. Tolerancias permitidas de nutrientes de los fertilizantes líquidos y sólidos complejos a base de nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O) 65

Tabla 10. Tolerancias permitidas de los nutrientes secundarios y menores en los fertilizantes de presentación sólida 68

Tabla 11. Tolerancias permitidas de los nutrientes secundarios y menores en los fertilizantes de presentación líquida 69

Tabla 12. Formato guía para la supervisión de la labor de fertilización en el cultivo de palma de aceite 87

Tabla 13. Productores y consumidores de fertilizantes en el mundo en 2021-2022 94

Tabla 14. Variación de precios nacionales para algunas fuentes simples y compuestas 95

Tabla 15. Clasificación de los rubros de costos de la fertilización 97

Primera parte

Foto: Jhon Jiménez.

Planeación y preparación del proceso de fertilización

https://doi.org/10.56866/9789588360997.01

Jhon Fredy Jiménez-Vera, Jhonatan Eduardo Camperos-Reyes
y Nolver Atanacio Arias

El profesional encargado de la nutrición del cultivo de palma de aceite debe contar con elementos básicos para poder suplir de manera eficiente las necesidades nutricionales requeridas por las plantas. Para esto, debe tener en cuenta los criterios técnicos y económicos establecidos, además de los diferentes métodos de aplicación de las fuentes fertilizantes en campo.

En esta primera parte se presentarán los criterios básicos para realizar la planeación de la labor de fertilización. Estas pautas permitirán adaptar la labor a las condiciones propias de cada plantación. Inicialmente se enseñarán los aspectos asociados al plan de nutrición (estado nutricional, tanto del suelo como de la planta, además de su estado productivo), en donde se determinarán los productos o fuentes y las cantidades adecuadas de fertilizante para aplicar al cultivo. Luego, se detallarán los criterios relacionados con el sitio apropiado de aplicación del fertilizante en campo, lo que implica tener en cuenta las condiciones del cultivo (altura de la palma, estado de la poda, limpieza del plato, entre otras). Finalmente, se señalarán los momentos oportunos para la aplicación del fertilizante y la duración de cada uno de ellos, denominada ventana de aplicación, que está condicionada por las particularidades del clima (precipitación) y del suelo (contenidos de humedad, tasas de infiltración, etc.).

Criterios asociados a un plan de nutrición en el cultivo de palma de aceite

Estructurar un plan de nutrición para el cultivo de palma implica un diagnóstico nutricional cuya finalidad es establecer posibles deficiencias o excesos en la concentración de nutrientes, tanto en la planta como en el suelo. Por esto, para establecer un plan nutricional se deben tener en cuenta los siguientes criterios (Arias y Beltrán, 2010).

Nivelación edáfica de nutrientes

El suelo en su condición natural es un reservorio de nutrientes y agua que, dependiendo de su composición, puede diferir en su capacidad para proveer los diferentes nutrientes, además de presentar desbalances o deficiencias de algún elemento particular (FAO, 2002). Por lo tanto, se busca establecer las cantidades de nutrientes precisas para mantener el suelo en condiciones nutricionales óptimas en función de las necesidades del cultivo (Tabla 1).

Para definir este criterio se realiza un muestreo de suelo que consiste en tomar pequeñas porciones de este en áreas de interés definidas, ya sean lotes o Unidades de Manejo Agronómico (UMA). La toma de muestras de suelos se hace con personal capacitado (Figura 1), siguiendo procedimientos estandarizados (Munévar *et al.*, 2016).

Tabla 1. Niveles críticos o de referencia en suelos empleados en el cultivo de palma de aceite.

Parámetro	Abreviatura	Unidad	Bajo	Medio	Alto
Potencial de hidrogeniones	pH	-	< 4,5	4,5 - 5,0	> 5,0
Materia orgánica	M. O.	%	< 2,0	2,0 - 4,0	> 4,0
Conductividad eléctrica	C. E.	$dS\ m^{-1}$	< 2,0	2,0 - 4,0	> 4,0
Capacidad de intercambio catiónico	C. I. C.	$cmol_c\ kg^{-1}$	< 10,0	10,0 - 20,0	> 20,0
Potasio	K	$cmol_c\ kg^{-1}$	< 0,2	0,2 - 0,4	> 0,4
Boro	B	$mg\ kg^{-1}$	< 0,25	0,25 - 0,50	> 0,50
Fósforo (Método Bray II)	P (B II)	$mg\ kg^{-1}$	< 15,0	15,0 - 20,0	> 20,0
Hierro	Fe	$mg\ kg^{-1}$	< 15,0	15,0 - 30,0	> 30,0
Cobre	Cu	$mg\ kg^{-1}$	< 0,5	0,5 - 1,5	> 1,5
Manganeso	Mn	$mg\ kg^{-1}$	< 5,0	5,0 - 10,0	> 10,0
Zinc	Zn	$mg\ kg^{-1}$	< 1,0	1,0 - 2,0	> 2,0
Azufre	S	$mg\ kg^{-1}$	< 10,0	10,0 - 15,0	> 15,0
Saturación de aluminio intercambiable	Sat. Al. Int.	%	< 25,0	25,0 - 50,0	> 50,0
Saturación de potasio	Sat. K	%	< 3,0	3,0 - 6,0	> 6,0
Saturación de magnesio	Sat. Mg	%	< 10,0	10,0 - 20,0	> 20,0
Saturación de calcio	Sat. Ca	%	< 20,0	20,0 - 40,0	> 40,0
Saturación de sodio	Sat. Na	%	< 10,0	10,0 - 15,0	> 15,0
Relación calcio : magnesio : potasio	Ca : Mg : K	2 : 1 : 0,3 → Adecuado			

Fuente: Arias y Beltran, (2010).

Figura 1. Muestreo de suelos para análisis químico: (a) Toma de submuestra; (b) Conformación de muestra de suelos compuesta; (c) Muestra compuesta de suelos.

Nivelación nutricional de la palma

Corresponde a la demanda de nutrientes necesaria para llegar a una concentración foliar óptima en la planta (Tabla 2). Como consecuencia, la palma no tendrá limitaciones nutricionales para expresar su máxima producción.

Tabla 2. Niveles críticos o de referencia en tejido foliar de la hoja 17 en el cultivo de palma de aceite.

Elemento	Símbolo	Unidad	Bajo	Medio	Alto
Nitrógeno	N	%	2,33	2,34 - 2,59	2,6
Fósforo	P	%	0,15	0,16 - 0,17	0,18
Potasio	K	%	1,07	1,08 - 1,19	1,2
Calcio	Ca	%	0,58	0,59 - 0,64	0,65
Magnesio	Mg	%	0,24	0,25 - 0,27	0,28
Azufre	S	%	0,22	0,23 - 0,25	0,26
Boro	B	ppm	15	16,00 - 17	18
Hierro	Fe	ppm	71	72,00 - 79	80
Zinc	Zn	ppm	13,4	13,50 - 14,9	15
Manganeso	Mn	ppm	134	135,00 - 149,00	150
Cobre	Cu	ppm	4,3	4,4 - 4,9	5

Fuente: (Arias y Beltrán, 2010).

La nivelación foliar se define a través de dos tipos de muestreos realizados a la palma de aceite: un muestreo foliar para la determinación de los contenidos de nutrientes y otro para la estimación de la materia seca foliar a partir de la medición de variables de crecimiento vegetativo.

- **Muestreo foliar:** La finalidad de este consiste en establecer la concentración de los elementos esenciales o nutrientes que están presentes en las hojas de la palma, siendo un indicador de su estado nutricional. Generalmente se solicitan al laboratorio los siguientes elementos: N, P, K, S, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn y Cl (Munévar *et al.*, 2016).

  En este tipo de muestreo se toma un determinado número de foliolos en las hojas de interés (Figura 2) ya que, dependiendo de la edad del cultivar, los foliolos pueden ser tomados en diferentes niveles, es decir, de las hojas 3, 9 o 17. La cantidad de foliolos por palma depende del tamaño de la unidad de muestreo[1].

1 Para profundizar sobre la definición de unidades de muestreo y cómo realizar un muestreo foliar y de suelos, consultar la *Guía general para el muestreo foliar y de suelos en palma de aceite* (Munévar *et al.*, 2016).

Figura 2. Toma de muestras foliares.

- **Materia seca foliar:** El cálculo de los requerimientos de nutrientes para la nivelación foliar tiene en cuenta la materia seca foliar de las palmas, que son determinadas mediante la medición de variables de crecimiento vegetativo realizadas en la hoja 17 (Figura 3) (Cayón, 1999).

  Como resultado del proceso de estimación de materia seca foliar se obtendrá una magnitud expresada en kilogramos por palma (kg/palma), y esta será la base para estimar las necesidades de nutrientes para la nivelación foliar. Para ampliar el tema de mediciones de variables de crecimiento vegetativo, consultar el boletín técnico N°. 20 *Selección de palmas de aceite élite en plantaciones comerciales* (Rey *et al.*, 2006).

Figura 3. Medición de parámetros vegetativos en hoja 17 para la estimación de materia seca foliar (MSF): (a) longitud de raquis; (b) y (c) ancho y profundidad de raquis; (d) y (e) ancho y longitud de foliolos.

Nivelación por extracción de nutrientes a través de los racimos cosechados

Esta nivelación hace referencia a la cantidad de nutrientes que se le deben compensar a la palma debido a la extracción ocasionada por la cosecha de los racimos en el ciclo de producción. Para estimar el rendimiento del cultivo se realiza un estimativo de producción, el cual consiste en proyectar su producción anual. Normalmente el muestreo se hace cada 4 o 6 meses dependiendo de la altura de las palmas y consiste en contar el número de estructuras reproductivas de la planta, tales como racimos e inflorescencias, tanto femeninas como masculinas, que se puedan identificar con claridad (Figura 4) (Ruiz *et al.*, 2013).

Figura 4. Conteo de racimos y estructuras reproductivas en un muestreo de producción.

Nivelación por eficiencia agronómica (EA)

El suministro de mayores o menores cantidades a las necesarias se traduce en una pobre eficiencia en el uso de nutrientes o pérdidas en el rendimiento y calidad del cultivo. La *eficiencia agronómica (EA)* se define como el incremento de la cantidad del rendimiento en el cultivo con respecto a la cantidad de un nutriente aplicado y está condicionada por el tipo de cultivar, las condiciones climáticas, las prácticas de manejo, entre otros factores. Hablar de EA implica tanto a la *eficiencia de recuperación (ER)* como a la *eficiencia fisiológica (EF)* (Arias-Arias, 2019; Prabowo *et al.*, 2013; Stewart, 2007).

La ER, también conocida como *eficiencia de absorción*, corresponde a la relación de la absorción de nutrientes de la palma por unidad de nutriente aplicado, y está sujeta a variaciones en las características particulares del lugar. Por otra parte, la *eficiencia fisiológica* corresponde a la relación del incremento en el rendimiento con respecto a la cantidad de nutrientes absorbidos. De esta manera, el producto entre la ER y la EF determina la EA[2].

El ajuste por EA de los fertilizantes, que son específicas de cada nutriente, puede estar entre 10 y 40 % (Munévar, 2001).

2 Para conocer más detalles sobre cómo calcular la EA, consultar Stewart (2007).

Interpretación de resultados del plan nutricional

La importancia de los criterios expuestos radica en que el profesional encargado de la nutrición del cultivo realice una correcta interpretación de los resultados obtenidos y, de esta manera, pueda tomar las mejores decisiones en cuanto a la selección, tanto de las fuentes fertilizantes como de las cantidades o dosis adecuadas a aplicar. Lo anterior permite corregir posibles desbalances o limitantes en el suelo, hacer las nivelaciones foliares de tal manera que la planta no tenga limitaciones fisiológicas a causa de posibles excesos o déficits de nutrientes, y reponer en el cultivo las cantidades extraídas por las cosechas (Arias y Beltran, 2010).

Criterios para la selección de fuentes fertilizantes

Orientado por el primer criterio de las 4 R, fuente adecuada (*Right source,* por sus siglas en inglés), al momento de seleccionar las fuentes fertilizantes se debe considerar:

Características físicas del fertilizante

Las propiedades físicas de los fertilizantes son importantes no solo por su efectividad agronómica y su contenido nutricional específico, sino también por la facilidad de aplicación, transporte y conservación durante el almacenamiento, en donde se pueden segregar, humedecer y compactar. La granulación de los fertilizantes disminuye la compactación y la tendencia a la segregación de las partículas. Estos fenómenos son comunes cuando la presentación o mezclas de los fertilizantes son en polvo o en cristales finos. No obstante, cabe destacar que no todos los fertilizantes o enmiendas granuladas se comportan bien agronómicamente.

Algunas fuentes que son de muy baja solubilidad en agua, desde el punto de vista físico, funcionan mejor cuando están en forma de polvo fino, como las rocas fosfóricas, las escorias Thomas, el fosfato bicálcico, los fosfatos térmicos, el yeso, las cales agrícolas, las dolomitas y el azufre. Por el contrario, fertilizantes de alta solubilidad se comportan agronómicamente mejor cuando han sido granulados y el tamaño del gránulo es inversamente proporcional a la tasa de disolución de este. Esta propiedad es clave, especialmente cuando se usan fosfatos solubles en suelos que son altamente fijadores de fósforo (FAO, 2002; León, 2004).

Características químicas del fertilizante

Se refieren a la composición del fertilizante, es decir, la forma química del elemento o del (de los) nutriente(s), el tipo de fuente (simple o compuesta) y su compatibilidad química. Las propiedades químicas de las fuentes fertilizantes son: la solubilidad, el

índice de salinidad, la acidez o basicidad residual y el pH de la solución concentrada. Estas características son fundamentales dado que tienen una estrecha relación con la efectividad agronómica del fertilizante.

La solubilidad de los fertilizantes indica su capacidad de disolución en una sustancia, o medio, que generalmente es agua. Esta propiedad se relaciona estrechamente con su efectividad agronómica y con las reacciones a corto plazo que estos presentan con los componentes del suelo, produciendo efectos inmediatos, de persistencia y residuales (León, 2004).

La compatibilidad química es un aspecto relevante, ya que no todos los fertilizantes pueden ser mezclados conjuntamente. Al mezclarse fertilizantes incompatibles se pueden presentar reacciones químicas y problemas como la compactación, que es un fenómeno dado por el desarrollo de enlaces cristalinos entre las partículas durante el periodo de almacenamiento. Este fenómeno es uno de los problemas más frecuentes en la industria de los fertilizantes químicos. Por ejemplo, las mezclas entre la urea y el superfosfato o entre el fosfato amónico y el superfosfato deberían ser evitadas (FAO, 2002; León, 2004). Por otro lado, algunos fertilizantes son antagónicos a la absorción de otros fertilizantes. Como es el caso entre el potasio y el magnesio, los cuales no se deben aplicar sucesivamente (Fairhurst, 2010).

Costo o precio de las fuentes fertilizantes

Los altos costos en las fuentes fertilizantes pueden condicionar la selección de un producto comercial determinado con diferentes criterios técnicos. La principal razón radica en que, para el año 2022, la participación de la fertilización en el total de los costos de producción de una tonelada de racimos de fruta fue del 38,8 % en cultivares híbridos y del 45,7 % en *E. guineensis* (Mosquera-Montoya, Ruiz-Álvarez, *et al.*, 2023).

Consideraciones previas a la aplicación de las fuentes fertilizantes

Cuando se aplica una o más fuentes de fertilizantes edáficos es necesario considerar que las condiciones del cultivo, del suelo y de clima sean favorables para la mayor asimilación de los nutrientes aplicados y, de esta manera, impactar positivamente su productividad con una menor huella de carbono y pérdidas de nutrientes por volatilización, escorrentía o lixiviación.

Condiciones del cultivo (lugar adecuado de aplicación)

a. Altura del dosel de la palma

Los cultivares híbridos interespecíficos OxG son más robustos y de menor crecimiento comparados con los cultivares *E. guineensis*. Por tanto, dos cultivares pueden tener la misma edad de siembra desde su establecimiento, pero la altura en cada uno de estos es un factor que toma relevancia para convertirse en un criterio de selección del método de aplicación de fertilizantes, debido a que la baja altura del dosel de la palma puede restringir, en cierta medida, la implementación de algunos de los métodos de aplicación como los mecanizados y los semimecanizados (Figura 5).

Los métodos de aplicación mecanizados como, por ejemplo, voleadoras accionadas por tractor, no son recomendados para palmas con doseles a alturas inferiores a 3 metros. Esto se debe a que el fertilizante puede caer sobre las hojas o estípite y no en el suelo. Lo anterior puede ocasionar lesiones o quemaduras sobre la palma y pérdida de la eficiencia de la fertilización. Por otra parte, las hojas pueden dañar los equipos de aplicación o viceversa.

En cuanto a métodos de aplicación semimecanizados (combinación de aplicación manual de fertilizantes implementando semovientes o tractores para el transporte de las fuentes), el criterio técnico del responsable de la fertilización del cultivo juega un papel fundamental, ya que debe considerar diferentes escenarios posibles como, por ejemplo, si los operarios van sobre las carretas de aplicación, las hojas bajeras podrían lesionarlos. Como alternativa se recomienda que los operarios se desplacen caminando y aplicando el producto junto a la carreta que transporta el fertilizante.

Figura 5. Porte y altura del dosel de palmas de 7 años de establecidas en campo. (a) Cultivar *E. guineensis*; (b) cultivar híbrido interespecífico OxG.

b. Poda y plateo de la palma

Es recomendable contar con una óptima condición de mantenimiento general del lote, tanto en su accesibilidad como en actividades rutinarias en el cultivo, como la poda (Figura 6) y el plateo (Figura 7). Lo anterior puede condicionar el éxito de las actividades planeadas en relación con la fertilización, especialmente cuando son manuales o semimecanizadas. Por una parte, un lote sin mantenimiento puede afectar considerablemente los rendimientos del personal que realiza la labor y, por otra, puede darse una mayor exposición al riesgo de afectar la integridad física de los operarios que ejecutan las labores.

Figura 6. Condición de poda en palma. (a) Adecuada; (b) no adecuada.

Figura 7. Condición del plato de la palma. (a) Con mantenimiento; (b) sin mantenimiento.

c. Disposición de residuos orgánicos en la palma

Otros escenarios posibles son aquellos en los que se aplica biomasa (hojas, tusa, etc.) al plato de la palma para contribuir a la eficiencia de la nutrición y a la estimulación del crecimiento de raíces, y es en donde se realiza la ubicación del fertilizante. Con el método de aplicación seleccionado, el propósito es disponer el fertilizante sobre la biomasa dispuesta alrededor de la palma, con la finalidad de favorecer la absorción de los nutrientes (Figura 8). En el caso de los fertilizantes que contienen nitrógeno es importante asegurarse de que el producto quede en contacto con el suelo, ya que será más susceptible de volatilización al quedar ubicado sobre residuos vegetales.

Figura 8. Aplicación de biomasa alrededor del plato. (a) Disposición de racimos vacíos (tusas); (b) disposición de hojas en contorno del plato de la palma.

Condiciones del suelo (momento adecuado de aplicación)

a. Humedad del suelo

La humedad del suelo depende principalmente de la precipitación o de aportes de agua mediante sistemas de riego en las épocas secas.

Según la textura del suelo, condiciones excesivas de humedad pueden ser contraproducentes y la aplicación de fertilizantes asistida con maquinaria agrícola o semovientes puede afectar negativamente la condición física del suelo.

La humedad del suelo es uno de los factores que más afectan los rendimientos de la palma de aceite, por condiciones deficitarias o excesivas que pueden inducir a un pobre crecimiento y bajos rendimientos de fruta fresca (Zakaria, 1998). De esta manera, puede afectar la eficiencia de la fertilización. Un suelo con

exceso de humedad puede presentar anegamientos (Figura 9) o escorrentías que implican pérdida de fertilizantes, e inhiben los procesos fisiológicos de las plantas. Mientras que las raíces en un suelo con humedad deficiente pueden tener baja absorción de agua y, por tanto, se reduce la toma de nutrientes, ya que para que estos sean absorbidos la presencia de agua es imprescindible.

Figura 9. Condición de exceso de humedad en el cultivo de palma de aceite.

b. Verificación de la humedad del suelo para la aplicación

Una condición adecuada de humedad para la fertilización del cultivo es aquella en la que el suelo está en capacidad de campo, es decir, los macroporos del suelo han drenado completamente excesos de agua. Generalmente se llega a esta condición de humedad luego de dejar drenar un suelo saturado entre 48 y 72 horas (Jaramillo, 2002), por efecto de precipitaciones o aplicaciones de agua mediante sistemas de riego. Se pueden tener aproximaciones de manera práctica utilizando la metodología del tacto, la cual consiste en tomar muestras de suelos en áreas no encharcadas o influenciadas por cuerpos de agua. Para la toma de muestra se utiliza un machete, palín o barreno. Con la herramienta seleccionada se toma una porción de suelo, a la profundidad de interés (ejemplo, entre 0 y 15 cm). Luego, la muestra se ubica en la palma de la mano dominante y se comprime con firmeza para formar una "bola" de forma irregular. Si después de realizada la compresión se genera un humedecimiento claramente visible en la palma de la mano, sin escurrimientos o goteos (Figura 10), se dice que el suelo se encuentra en capacidad de campo o cercano a este umbral. Para mayor detalle de esta técnica consultar la propuesta por la USDA (2000).

Figura 10. Inspección de la humedad del suelo al tacto.

c. Nivel freático

La eficiencia en la toma de nutrientes por parte de la planta se ve afectada en áreas con niveles freáticos superficiales (Figura 11), debido a que la saturación permanente de agua limita el crecimiento de las raíces. Por lo tanto, se requieren de drenajes que abatan o impacten en la profundidad del nivel freático y mejoren las condiciones de humedad del suelo (Jiménez y Arias, 2021). Se puede conocer su comportamiento a través de la implementación de pozos de observación (Figura 12) que permitirán observar su fluctuación en el tiempo.

Figura 11. Nivel freático cercano a la superficie del terreno.

Figura 12. Pozo de observación para seguimiento del nivel freático.

d. Infiltración del agua en el suelo

Es el fenómeno en el que el agua penetra a través de la superficie, se distribuye y almacena dentro del perfil en un determinado tiempo (Molina y Stember, 2015). La infiltración interviene en la mayoría de los modelos de transporte de agua-solutos, por ejemplo, fertilizantes. Además, este parámetro es ampliamente utilizado en la evaluación de la calidad física del suelo (Eiza y Carfagno, 2018).

La velocidad de infiltración del agua en la superficie del suelo se clasifica desde muy lenta hasta muy rápida (Tabla 3). Su utilidad radica principalmente en brindar elementos que complementen los criterios de decisión en relación con la aplicación de fertilizantes en cierta condición. Por ejemplo, fraccionar aplicaciones de fertilizantes en suelos con alta infiltración para evitar pérdidas por lixiviación. Mientras que suelos de lenta infiltración pueden presentar escorrentías y pérdidas de fertilizantes por este fenómeno (Molina y Stember, 2015). Esta condición de

baja velocidad de infiltración se corrige a través del subsolado, el cual mejora la condición física del suelo reduciendo los encharcamientos y excesos de humedad en la superficie (Zakaria, 1998).

Para determinar este parámetro físico del suelo existen diversas metodologías. La más empleada es la del doble anillo o cilindros concéntricos (Figura 13). Para conocer más acerca de cómo realizar esta prueba consultar Molina y Stember (2015).

Figura 13. Evaluación de la infiltración del agua en el suelo mediante anillos concéntricos.

Tabla 3. Clasificación de la velocidad de infiltración. Fuente: Montenegro y Malagón (1990).

Velocidad de infiltración (cm h^{-1})	Clasificación
< 0,1	Muy lenta
0,1 – 0,5	Lenta
0,5 – 2,0	Moderadamente lenta
2,0 – 6,3	Moderada
6,3 – 12,7	Moderadamente rápida
12,7 – 25,4	Rápida
> 25,4	Muy rápida

e. Topografía (pendiente)

La topografía o la pendiente de un terreno puede ser un factor que incida en la erosión del suelo y la posible pérdida de fertilizantes por escorrentía. Lo anterior depende del tipo de pendiente y su longitud, existiendo una relación de proporcionalidad. Es decir, a mayor pendiente, mayor velocidad del agua y la susceptibilidad a la erosión y arrastre de materiales o partículas, entre estas, los fertilizantes o nutrientes disueltos en el agua luego de su solubilización.

La topografía es un factor que puede limitar la ejecución de las actividades de fertilización (método de fertilización). Por ejemplo, cuando hay pendientes pronunciadas o relieves disectados, la mecanización de la labor es limitada. En el caso del método de aplicación manual de fertilizantes, la pendiente no representa mayores restricciones. Por otro lado, el uso de los métodos mecanizados o semimecanizados en suelos con pendientes, entre 9 y 25 grados (°) de inclinación, dependerá del criterio del profesional encargado. En suelos con pendientes mayores a 25° no es recomendable la siembra de palma de aceite (RSPO, 2013).

f. Estructura del suelo

La estructura del suelo está conformada por partículas sólidas que se unen entre sí de diversas formas, generando unidades de mayor tamaño llamadas agregados, unidades estructurales o peds. La estructura controla las interrelaciones entre las diferentes fases físicas del suelo, así como la dinámica de líquidos y de gases en él. Lo anterior es debido a que tiene una influencia directa en propiedades como porosidad, densidad aparente, régimen hídrico y térmico, permeabilidad, aireación, distribución de la materia orgánica, la infiltración, entre otras (Jaramillo, 2002). La degradación de un suelo se evalúa de acuerdo con el grado de deterioro de su estructura, que se relaciona con la erosión, con el cultivo y con las prácticas de manejo. Las mejores condiciones estructurales son definidas por gránulos y grumos (formas redondeadas), íntimamente relacionadas con la materia orgánica del suelo (Jaramillo, 2002; Montenegro y Malagón, 1990). La estructura del suelo se clasifica de acuerdo con el índice de agregación o diámetro ponderado medio (DPM) de sus agregados (Tabla 4). El DPM puede ser determinado mediante el método de tamizado en húmedo o de Tiulin (modificado por Yoder) (Montenegro y Malagón, 1990).

Tabla 4. Rangos de interpretación de la estabilidad estructural con relación al diámetro ponderado medio – DPM.

DPM (mm)	Clasificación
< 0,5	Inestable
0,5 – 1,5	Ligeramente estable
1,5 – 3,0	Moderadamente estable
3,0 – 5,0	Estable
> 5,0	Muy estable

Fuente: Montenegro y Malagón, (1990).

g. Consistencia del suelo

La consistencia es la propiedad que define la resistencia del suelo a ser deformado por las fuerzas que se aplican sobre este y depende directamente de los contenidos de humedad y materia orgánica, así como también de los tipos de arcilla que lo constituyen (Jaramillo, 2002). Los suelos suelen ser sometidos a cargas o esfuerzos que pueden alterar su condición estructural y de consistencia. Estos esfuerzos producen deformaciones que pueden manifestarse como rupturas, fragmentaciones o flujos de los materiales del suelo (Hillel, 1998).

La consistencia del suelo puede presentar cuatro estados: coherente, friable o de fragilidad, plástico y de fluidez (Jaramillo, 2002).

El estado coherente es cuando el suelo está seco, característico por la extrema dureza de sus terrones cuando no es arenoso. Es decir, suelos cohesivos, o por partículas sueltas, en suelos arenosos denominados en estos casos como suelos no cohesivos. El impacto del tránsito de maquinaria y/o de semovientes sobre el suelo en este estado de consistencia es nulo, dado que el suelo presenta la mayor resistencia a ser deformado y mayor capacidad portante.

Cuando se incrementa el contenido de humedad del suelo, hasta sobrepasar los límites del estado coherente, este cambia su condición de consistencia al estado friable o de fragilidad, en el que es blando, con una capacidad portante disminuida en relación con el estado coherente. Sin embargo, no imposibilita el tráfico de maquinaria ni de semovientes. Dentro del estado de friabilidad se manifiestan dos índices de consistencia importantes para su manejo en relación con la labranza del suelo: límite de soltura y límite inferior de plasticidad o límite plástico. El primero representa el contenido máximo de humedad que puede haber en un suelo, sin que se adhiera a cuerpos extraños, siendo así el punto

óptimo de labranza. Mientras que el segundo hace referencia al límite máximo de humedad que debe tener el suelo para ser sometido a laboreo con bajo riesgo de deterioro físico.

El estado plástico corresponde al rango de humedad del suelo en el cual se deja moldear y conserva las deformaciones que le ocasionan fuerzas externas. Este rango está comprendido entre el límite inferior de plasticidad y el superior o límite líquido, y es el mismo en el cual se dan las mayores fuerzas de adhesión. Es decir, el suelo se adhiere fácilmente al entrar en contacto con superficies o elementos externos. El límite líquido se define como el contenido mínimo de humedad del suelo, en el cual este empieza a comportarse como un fluido, esto es a deformarse bajo su propio peso. En esta condición aumentan los riesgos de compactación y del deterioro físico del suelo asociados a labores mecanizadas en los cultivos.

El estado de fluidez es cuando el suelo sobrepasa el contenido de humedad del límite líquido y empieza a fluir por su propio peso debido a condiciones de saturación de humedad. En general, este estado implica las mayores dificultades para realizar actividades u operaciones agrícolas mecanizadas.

La consistencia del suelo es una propiedad que se relaciona ampliamente con su laboreo. Desde el punto de vista agrícola, el estado de consistencia más importante es el friable (Jaramillo, 2002).

Condición del clima (momento adecuado de aplicación)

a. Precipitación

La lluvia muy frecuente, intensa y duradera puede condicionar la ejecución de la labor en campo, dado que se pueden provocar excesos de humedad en el suelo y anegamientos.

Por otra parte, en los casos en los que no se cuenten con sistemas de riego que suministren agua al cultivo, al no presentarse precipitaciones en las épocas secas, la humedad del suelo será baja y no permitirá la correcta disolución en el agua del suelo y posterior asimilación de las fuentes fertilizantes aplicadas.

Para planear correctamente la aplicación del fertilizante durante el año es necesario conocer la distribución promedio mensual de la precipitación. Con esta información la plantación puede identificar franjas o ventanas de tiempo en las cuales se puede desarrollar efectivamente la labor de fertilización, minimizando contratiempos. Las aplicaciones de fertilizantes deben proyectarse para aquellos

meses en los que históricamente se muestra que existe la máxima posibilidad de que caerán, por lo menos, 10 mm de lluvia dentro de los cuatro días después de la aplicación. Asimismo, una vez iniciadas las campañas de fertilización, estas se deben posponer en caso de presentarse un clima inusualmente seco o lluvioso (Fairhurst, 2010).

Como ejemplo, se cuenta con la precipitación promedio mensual y acumulada anual de dos plantaciones, ubicadas en dos zonas palmeras de Colombia para el periodo 2017–2021. La plantación ubicada en la Zona Oriental reportó 2.844 mm $año^{-1}$ en promedio. Mientras que la plantación de la Zona Norte reportó en promedio 1.406 mm $año^{-1}$.

De acuerdo con los registros de precipitaciones de la Zona Oriental, en promedio siete meses del año (abril a octubre) presentan lluvias con magnitudes superiores a 250 mm mes^{-1}. Sin embargo, en cuatro de estos siete meses (abril a julio) hubo precipitaciones mensuales entre 350 y 410 mm mes^{-1} (Figura 14). En cuanto a la plantación de la Zona Norte, los meses de mayor pluviosidad se encuentran entre mayo y noviembre, estando alrededor de los 150 mm mes^{-1}. Octubre es el único mes en el que las precipitaciones superaron los 250 mm, en promedio.

Estas condiciones contrastantes de precipitación dejan ver que cada plantación es un caso particular. Posiblemente en la Zona Oriental se presenten mayores restricciones al momento de ejecutar actividades de fertilización, condicionada principalmente por la alta pluviosidad comparada con las condiciones de la Zona Norte.

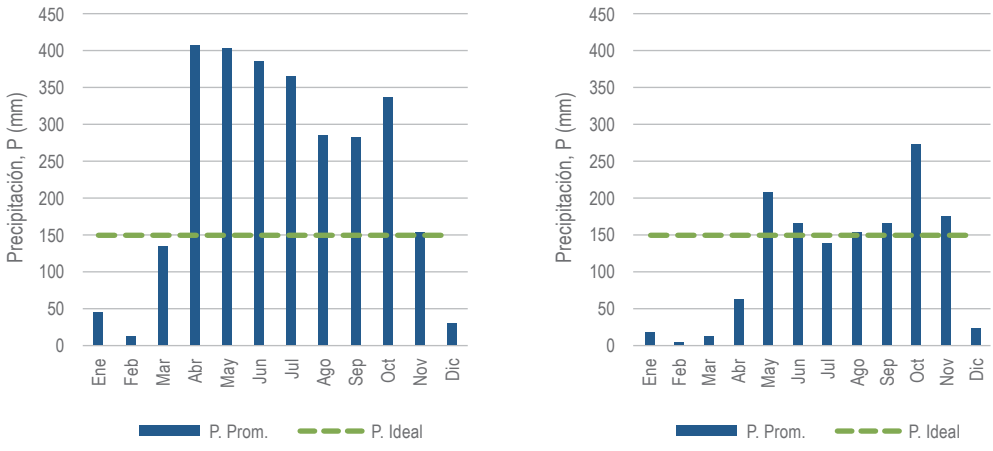


Figura 14. Precipitación media mensual de los años 2017–2021 para una plantación en Zona Oriental (izquierda) y en Zona Norte (derecha).

b. Ventana de aplicación

Esta hace referencia al intervalo de tiempo disponible para ejecutar las labores asociadas a la aplicación de fertilizantes, principalmente en los escenarios en los que no se dispone de riego para humedecer el suelo.

Para identificar las ventanas de aplicación durante el año es necesario observar el comportamiento de la precipitación agrupada por periodos de diez días, denominados décadas. Es decir, la primera década de cada mes está conformada por la acumulación de las precipitaciones de los primeros diez días del mes; la segunda década corresponde a la precipitación de los siguientes diez días, del día 11 al día 20; en cuanto a la tercera década, son los últimos días del mes.

De acuerdo con el ejemplo anterior, en las figuras 15 y 16 se expone el comportamiento mensual multianual de la precipitación, identificando las diferentes décadas de cada mes para las dos plantaciones. En el caso de la plantación ubicada en la Zona Oriental, se aprecian con mayor claridad las transiciones de las épocas secas a húmedas y viceversa (Figura 15). Estas transiciones se dan en los meses de marzo y noviembre. Mientras que agosto, a pesar de registrar precipitaciones entre 250 y 300 mm, corresponde a una disminución de las lluvias de los meses predecesores y tienden a presentarse días contiguos sin precipitaciones que permitirían ejecutar las labores. No obstante, la cantidad de lluvia en este mes tiende a ser el doble de lo registrado en los meses de transición y podría estar sujeto al criterio del profesional si ejecuta o no la aplicación del fertilizante (Figura 17).

En la plantación ubicada en la Zona Norte (Figura 16), estas transiciones no se aprecian de manera acentuada por su condición de baja pluviosidad, que es predominante la mayor parte del tiempo. Las medias mensuales de precipitación obtenidas sugieren mayores posibilidades para llevar a cabo labores de fertilización durante seis meses contiguos, entre mayo y septiembre. Mientras que en octubre tienden a presentarse las mayores precipitaciones. Posteriormente, en noviembre la cantidad de lluvias disminuye considerablemente, siendo este el mes de transición de la época de lluvia a la época seca (Figura 17).

En general, cuando se dispone de sistemas de riego, las ventanas de aplicación son mayores y dan una mayor flexibilidad en términos logísticos, debido a que se aprovechan las épocas secas en las que se le suministra agua para regar el cultivo y que, a su vez, puede generar la condición necesaria de humedad en el suelo para realizar una adecuada aplicación.

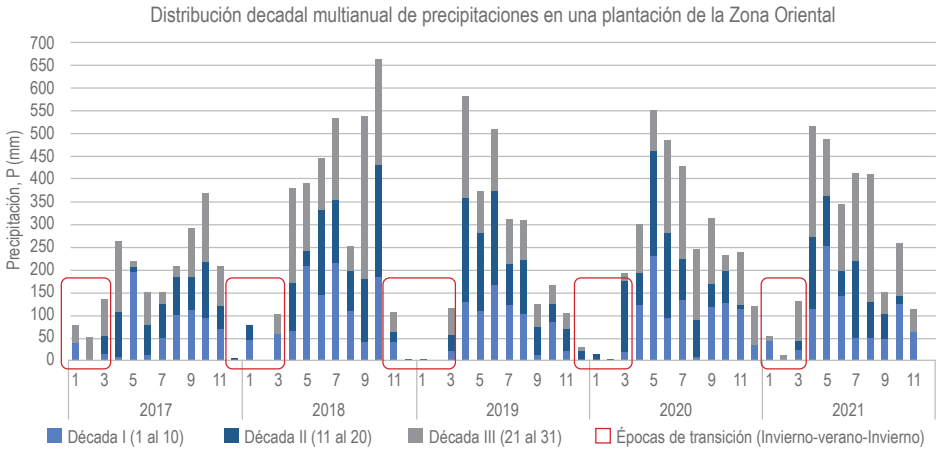


Figura 15. Distribución decadal multianual de precipitaciones en una plantación de la Zona Oriental.
Nota: Las décadas corresponden a periodos de 10 días consecutivos de precipitación acumulada.

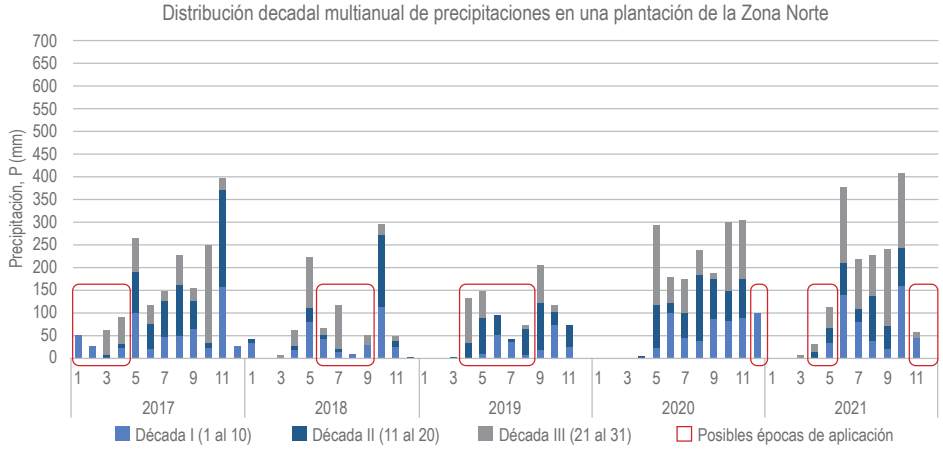


Figura 16. Distribución decadal multianual de precipitaciones en una plantación de la Zona Norte.
Nota: Las décadas corresponden a periodos de 10 días consecutivos de precipitación acumulada.

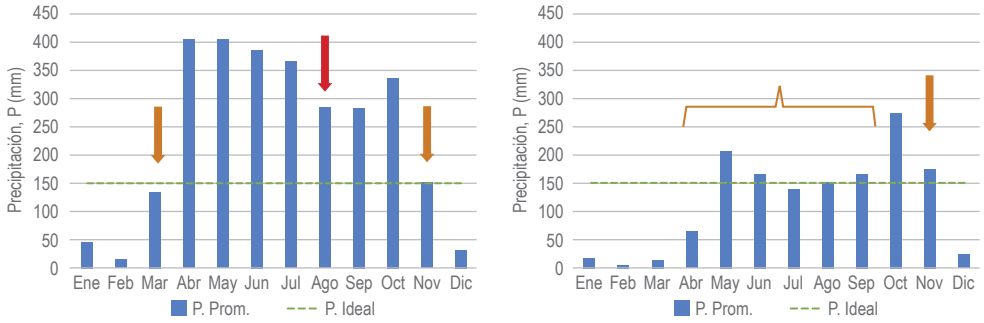


Figura 17. Identificación de posibles momentos para la ejecución de labores de fertilización.

Para programar las aplicaciones de fertilizantes es importante contar con históricos de datos confiables de precipitación (mm día^{-1}), preferiblemente de los últimos diez años. Los datos pueden ser obtenidos de estaciones meteorológicas o pluviómetros bien mantenidos y, con estos, se busca determinar la probabilidad de ocurrencia de eventos de lluvia (Goh y Härdter, 2003).

Duración de las ventanas de aplicación

Si bien con los históricos de precipitación se pueden identificar, de manera general, las ventanas de aplicación en un año, es necesario definir un criterio o indicador práctico que permita determinar la duración de cada ventana, teniendo en cuenta la incertidumbre que pueda existir en variables climáticas como la precipitación.

De acuerdo con las particularidades que puedan presentarse, suelos con una buena condición de drenaje requieren entre 48 y 72 h para evacuar excesos de humedad. En los escenarios de tiempos o ventanas de aplicación reducidas es recomendable realizar fraccionamientos para evitar la lixiviación de nutrientes de fuentes nitrogenadas y potásicas. Una condición ideal para la aplicación de este tipo de fuentes, como lo son el nitrógeno (N) y el potasio (K), son días nublados, con poco viento y con precipitaciones entre 10 y 20 mm para evitar su lixiviación (Owen, 1992; Fairhurst, 2010). En el caso de fuentes nitrogenadas como la urea, no es recomendable aplicarla al suelo seco, ni tampoco cuando las lluvias sean menores a 5 mm día^{-1} posterior a su aplicación (Goh y Härdter, 2003). De acuerdo con los autores mencionados, por una parte, los fertilizantes nitrogenados deben ser aplicados entre 3 y 4 meses antes del inicio de las épocas secas y, por otra, cantidades mayores a 500 g/palma deberían fraccionarse con la finalidad de minimizar las pérdidas por lixiviación, especialmente cuando se realizan aplicaciones previas o durante periodos intensos de precipitación. La aplicación de fertilizantes debe evitarse durante los meses con altas probabilidades que excedan 250 mm mes^{-1} y con más de 15 días de lluvias. Las pérdidas de fertilizantes de fósforo (P), potasio (K) y magnesio (Mg) solubles, asociadas a la escorrentía, son menores si se aplican en meses con menos de 100 mm mes^{-1} (Goh *et al.*, 2003).

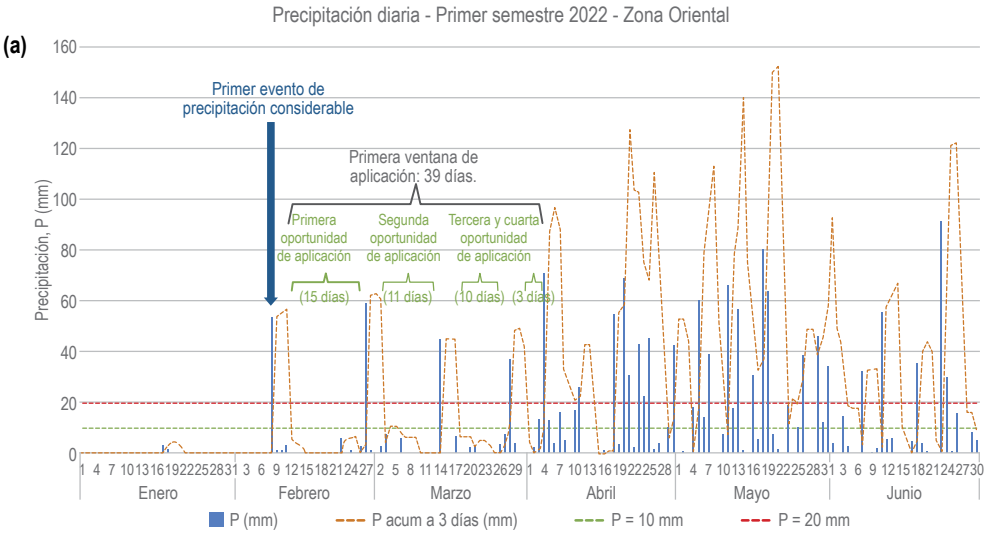
Dado lo anterior, se sugiere hacerle seguimiento a la precipitación diaria y adoptar como criterio precipitaciones acumuladas entre 10 y 20 mm (o cercanos) para un periodo de 3 días (Figura 18). Lo anterior, complementado con la consulta de pronósticos del clima emitidos por fuentes oficiales como el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)[3] que permitan tener mayor certeza

3 Ver IDEAM (s.f.): http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/aplicaciones-meteorologicas

de las probabilidades de ocurrencia de eventos lluviosos que puedan interferir con el desarrollo de la labor. La consulta de estos pronósticos contribuye a la toma de decisiones en relación con la pertinencia de realizar una campaña de fertilización para un momento determinado.

A manera de ejemplo, al revisar en detalle la precipitación diaria del primer semestre de 2022 en la plantación ubicada en la Zona Oriental (Figura 18 (a)), el primer evento considerable de lluvias ocurrió el 8 de febrero (53,8 mm). Las precipitaciones de los 3 días posteriores correspondieron a ligeras lloviznas inferiores a 3 mm. De esta manera, la precipitación acumulada para el 12 de febrero fue de 5,40 mm, condición propicia para iniciar la ejecución de labores asociadas a la fertilización del cultivo y, a su vez, el inicio de la primera ventana de aplicación del año.

Tanto en la Zona Oriental como en la Norte se identificaron cuatro periodos de tiempo u oportunidades de aplicación durante el primer semestre de 2022. En la Zona Oriental (Figura 18 (a)) la ventana de aplicación comprendida entre febrero y marzo fue de 39 días, dividida en cuatro oportunidades de aplicación, tiempo que sería el disponible para ejecutar la aplicación de un fraccionamiento del plan de nutrición. En cuanto a la ventana de aplicación en condiciones de la Zona Norte, durante el primer semestre de 2022, esta se estableció en 35 días, entre los meses de abril y mayo principalmente, igualmente segmentada en cuatro oportunidades de aplicación (Figura 18 (b)).



Continúa

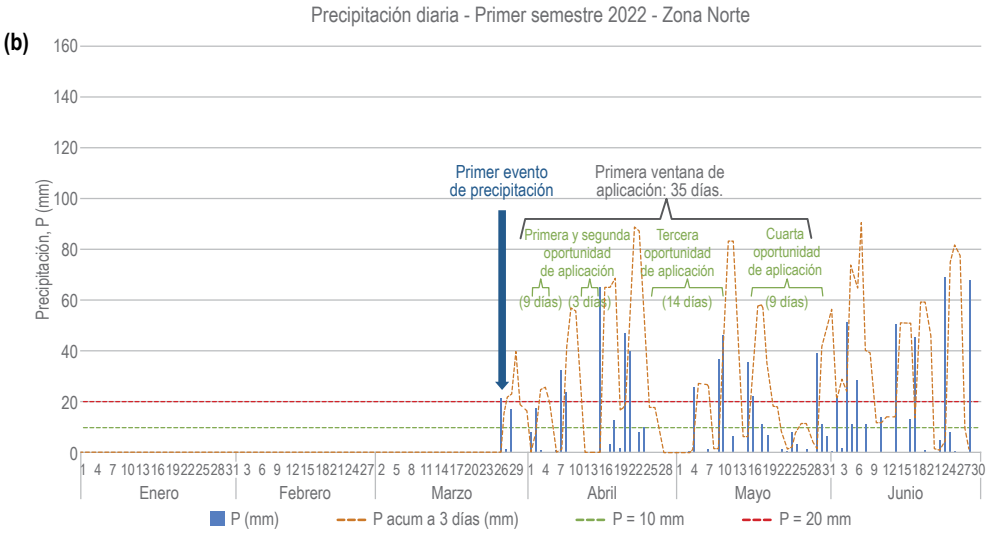


Figura 18. Precipitación diaria (semestre I – 2022) y posibles oportunidades de aplicación que conforman la primera ventana de tiempo para ejecutar labores asociadas a la fertilización del cultivo. (a) Condición de la Zona Oriental; (b) condición de la Zona Norte.

Bibliografía

Arias, N. (2019). Indicadores y eficiencia de la nutrición para la toma de decisiones. *Palmas*. 40(4), 128-139. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/12963/12813

Arias, N. y Beltrán G. (2010). *Diseño y evaluación del programa de manejo nutricional en palma de aceite: tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite. Guía para facilitadores.* http://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107625

Cayón, D. (1999) Apuntes sobre fisiología del crecimiento y desarrollo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Palmas,* 20(3), 43-54. http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/710/710

Eiza, M. y Carfagno, P. (2018). Medición de la infiltración en el suelo. Infiltrómetro de anillo simple y simulador de lluvias. *Análisis y evaluación de propiedades físico hídrica de los suelos* (pp. 25-37) Ediciones INTA. https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/handle/20.500.12123/3834

Fairhurst, T. (2010). Algunas prácticas de manejo para máximo rendimiento en cultivos maduros de palma de aceite. *Palmas*, (31)Especial, 44- 72. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1515

FAO. (2002). *Los fertilizantes y su uso*. https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf

Goh, K.-J., Härdter, R. y Fairhurst, T. (2003). Fertilización para un beneficio máximo. En T. Fairhurst y R. Härdter (Ed.), *Palma de Aceite: Manejo para Rendimientos Altos y Sostenibles* (pp. 307-336). International Plant Nutrition (IPNI).http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/A2B341EACE9244F9852579DD0071F80E/$FILE/Libro%20de%20palma%20+%20contendido%201.pdf

Goh, K-J. y Härdter, R. (2003). Nutrición General de la Palma de Aceite. En T. Fairhurst y R. Härdter (Ed.), *Palma de aceite: Manejo para Rendimientos Altos y Sostenibles* (pp. 213-256). International Plant Nutrition (IPNI). http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/A2B341EACE9244F9852579DD0071F80E/$FILE/Libro%20de%20palma%20+%20contendido%201.pdf

Hillel, D. (1998). *Environmental Soil Physics*. Academic Press. https://dewagumay.files.wordpress.com/2011/12/environmental-soil-physics.pdf

Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo.* Universidad Nacional de Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/70085/70060838.2002.pdf

Jiménez, J. y Arias, N. (2021). *Aspectos básicos para el conocimiento de sistemas de drenajes y su mantenimiento en el cultivo de la palma de aceite*. Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma. https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/141164

León, S., L. A. (2004). Características, uso y manejo de fertilizantes para palma de aceite. *Palmas,* (25)Especial, 105-114. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1072

Molina, D. y Stember, J. (2015). *Caracterización y adecuación de suelos para el establecimiento del cultivo de la palma de aceite*. Cenipalma y Fedepalma. https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107596

Montenegro, H. y Malagón, D. (1990). *Propiedades Físicas de los Suelos*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Mosquera-Montoya, M., Ruiz-Álvarez, E., Munévar-Martínez, D.E., Guerrero, Á., Cala, S., Silva, A. y Arteaga, J.S. (2023). Estudio de costos de producción 2022 para plantaciones de palma de aceite referentes por su productividad. *Palmas*. (En proceso de publicación).

Munévar, F., 2001. Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos. *Revista Palmas* [en línea], vol. 22, no. 4, pp. 9-17. ISSN 0121-2923. Disponible en: https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/888.

Munévar, F., Franco, P.N. y Arias, N.A., 2016. *Guía general para el muestreo foliar y de suelos en palma de aceite* [en línea]. 3a edición. Bogotá: Boletín Técnico 37. Fedepalma. ISBN 978-958-8360-58-4. Disponible en: https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/view/11857/11853.

Owen, E.J. (1992). Fertilización de palma africana "*Elaeis guineensis* Jacq." en Colombia. *Palmas*, (13)2, pp. 39-64. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/344

Prabowo, N., Foster, H., Nelson, S. y Sitepu, B. (2013). Uso práctico de la eficiencia fisiológica de la palma de aceite con respecto a la recuperación de nutrientes y la eficiencia agronómica en diferentes sitios de Sumatra. *Palmas*, (34)Especial, pp. 221-242. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10684/10669

Rey, L., Ayala, I., Ruiz, R. y Gómez, P. (2006). Boletín Técnico No. 20. Selección de palmas de aceite élite en plantaciones comerciales de Colombia. Primera. Bogotá, Colombia: Cenipalma.

RSPO. (2013). *Principios y criterios para la producción de aceite de palma sostenible.* RSPO. https://www.rspo.org/file/021013P&C2013SPANISHFINAL.pdf

Ruiz, R., Motta, D. y Romero, H. (2013). *Estimativos de producción para determinar el potencial productivo de racimos de fruta fresca*. Cenipalma. https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/81090

Stewart, W. (2007). Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes. *Informaciones Agronómicas*, (67). International Plant Nutrition Institute - IPNI. http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/EC5D7D4A78BB6D6D852579A3006CB4D4/$FILE/Consideraciones%20en%20el%20Uso%20Eficiente%20de%20Nutrientes.pdf

USDA. (2000). *Cálculo de la humedad del suelo por tacto y apariencia.* USDA. https://nrcspad.sc.egov.usda.gov/distributioncenter/pdf.aspx?productID=258

Zakaria, Z.Z. (1998). Manejo de suelos y fertilizantes en plantaciones de palma de aceite en Malasia. *Palmas*, (19) Especial, pp. 207-217. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/666/666

Segunda parte

Foto: Hugo Arias.

Métodos de aplicación de fertilizantes

https://doi.org/10.56866/9789588360997.02

Jhonatan Eduardo Camperos-Reyes, Sonia Sánchez, Néstor Pulido,
María Celina Estupiñán y Mauricio Mosquera-Montoya

La labor de fertilización de cultivos de palma de aceite está asociada al uso de equipos y métodos de aplicación que buscan distribuir uniformemente los fertilizantes en el campo. Por lo tanto, el método de aplicación elegido repercute tanto en la eficiencia de la aplicación, como en la toma de nutrientes por parte de la planta.

En el cultivo de la palma de aceite se han reportado diferentes métodos de aplicación de fertilizantes adaptados a las condiciones edafoclimáticas presentes en las cuatro zonas palmeras del país. El método de aplicación más utilizado es el manual, representando entre el 66 y 96 % de los métodos implementados (Tabla 5). Para el caso de la Zona Oriental, los métodos semimecanizados ocupan el segundo lugar con una participación del 24,78 %. Por otro lado, el sistema mecanizado es el segundo más utilizado en la Zona Norte con 33,76 % (Mosquera-Montoya, *et al.*, 2023a; Mosquera-Montoya, *et al.*, 2023b).

Tabla 5. Participación del método de aplicación de fertilizante por zona palmera.

Sistema	Zona Central	Zona Norte	Zona Oriental
Manual	96,00 %	66,24 %	75,22 %
Semimecanizado	0,00 %	0,00 %	24,78 %
Mecanizado	4,00 %	33,76 %	0,00 %

Aspectos generales de los métodos de aplicación

A continuación, se presentan los aspectos generales de los métodos de aplicación de fertilizantes en Colombia, utilizados por empresas que, por su alta productividad, son referentes en el sector y son catalogadas como *benchmark*. Además, se dan a conocer los equipos con los que se lleva a cabo la fertilización, al igual que la manera de estimar el personal requerido. El método más adecuado para cada plantación dependerá del área en la cual se aplicará el fertilizante, las condiciones físicas del suelo, la altura del cultivo, la ventana de aplicación, la disponibilidad de maquinaria y de personal, entre otros.

Abastecimiento del fertilizante a campo

En todos los métodos de aplicación del fertilizante es necesario transportar los insumos desde el almacén o bodega hasta los lotes. El método de transporte depende principalmente de la cantidad de fertilizante y las condiciones de las vías. Para este fin, generalmente, se utilizan camiones o carretas haladas por tractores que se encargan de dejar los fertilizantes en diferentes puntos de distribución cercanos a los lotes. Pueden ser puntos principales o intermedios (Figura 19).

Figura 19. Método de transporte de fertilizantes al lote. Tractor con carretas o remolques articulados. Foto: Hugo Arias.

La cantidad de fertilizantes que se debe llevar a campo en una jornada se determina con la Ecuación 1. Esta cantidad puede ser transportada en carretas o en un camión, dependiendo de la logística establecida por la plantación.

$$\textit{Número de bultos a transportar a campo} = \frac{\textit{\# Palmas a aplicar} * \textit{Dosis por palma}\left(\frac{kg}{palma}\right)}{\textit{Peso del bulto}\left(\frac{kg}{bulto}\right)} \quad \textbf{(Ecuación 1)}$$

En donde:

# Palmas a aplicar	→	Cantidad de palmas que se fertilizarán en la jornada, ya sean de uno o varios lotes.
Dosis por palma	→	Cantidad de fertilizante a aplicar por palma en un fraccionamiento (kg).
Peso del bulto	→	Peso del fertilizante en su presentación comercial (kg/bulto).

Distribución del fertilizante en el lote

La distribución del fertilizante en el lote depende principalmente del método de aplicación, la dosis por palma y el número de palmas por calle. Generalmente, en los métodos de aplicación semimecanizados y mecanizados, el fertilizante se ubica en un punto de distribución principal o intermedios, ubicados a lo largo del lote al borde de la vía (Figura 20).

Para el caso del método de aplicación manual, la disposición en puntos de distribución intermedios funciona cuando se aplican dosis bajas de fertilizante por palma, ya que el operario de aplicación carga el fertilizante suficiente para entrar en una calle de tráfico y salir por la siguiente calle de tráfico sin realizar recargas intermedias.

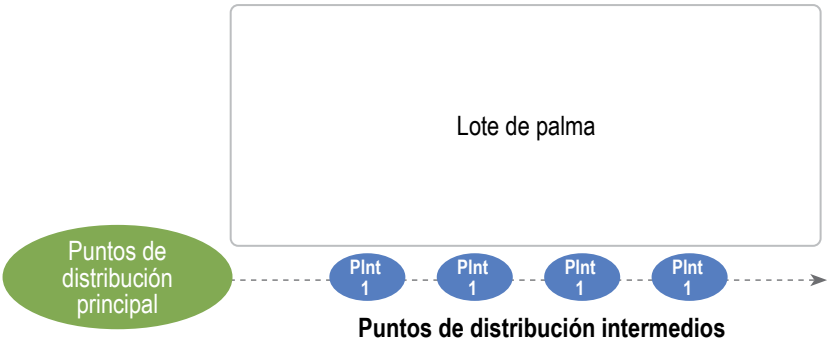


Figura 20. Tipos de distribución de fertilizante en el lote en punto de distribución principal o puntos de distribución intermedios.

Distribución del fertilizante al interior del lote

Para el caso de la aplicación manual de dosis altas se requiere que el fertilizante se ubique al interior del lote cada cierto número de palmas. En este caso, un operario se desplaza junto con una carreta (zorrillo o carromato) que es halada por un semoviente o por un tractor, descargando un bulto cada número determinado de palmas (Figura 21). Para definir ese número de palmas (Ecuación 2) se considera tanto el contenido de fertilizante por bulto (peso del bulto) como la dosis por palma. La planeación de la distribución del fertilizante en campo y al interior del lote es responsabilidad del supervisor de fertilización.

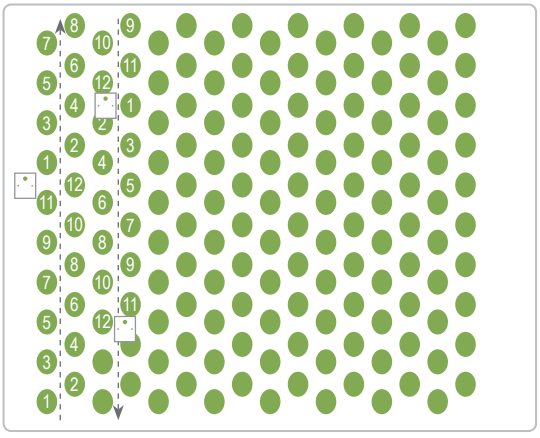


Figura 21. Ejemplo de distribución del fertilizante al interior del lote.

$$\textit{Distancia entre bultos (palmas)} = \frac{\textit{peso del bulto}\left(\frac{\text{kg}}{\textit{bulto}}\right)}{\textit{dosis por palma}\left(\frac{\text{kg}}{\textit{palma}}\right)} \quad \textbf{(Ecuación 2)}$$

Métodos y equipos para la aplicación de los fertilizantes

Método de aplicación manual

Este se caracteriza porque la aplicación del fertilizante es realizada por operarios de campo quienes, a su vez, cargan el fertilizante en un recipiente de plástico que se adapta al torso, comúnmente denominado “timbo”. En otros casos los operarios cargan los bultos de fertilizantes en el hombro.

Los operarios que realizan la aplicación de fertilizantes se desplazan al interior del lote, generalmente en zigzag por la calle de cosecha, aplicando el fertilizante en forma de abanico en dos o más puntos de la palma con la ayuda de una “tara” o dosificador (Figura 22). Al terminar el fertilizante que llevan en el timbo (o bulto), los operarios se desplazan al punto de acopio más cercano para recargar más fertilizante y continuar con la labor.

Figura 22. Método de aplicación manual de fertilizante en forma de abanico en dos puntos de la palma. Foto: Hugo Arias.

Equipos, maquinaria y herramientas utilizadas

Para el método de aplicación manual, principalmente se emplea una "tara" y un timbo.

- **Tara (dosificador):** recipientes generalmente de plástico y de fabricación artesanal. Para su elaboración es necesario una balanza o gramera adecuada, recipientes plásticos y muestras de los productos que se aplicarán en campo (Figura 23). Es importante que se encuentren en buen estado y sean resistentes para las condiciones de trabajo en campo. En caso de reutilizar envases de agroquímicos es necesario verificar las condiciones de lavado adecuado y que las certificaciones sobre producción de aceite sostenible permitan su uso.

  Es importante que la calibración de la tara no exceda 600 gramos para que se pueda lograr una mejor distribución del producto en el área seleccionada para la palma. Mayores cantidades en las taras pueden implicar inexactitudes en la dosis deseada porque dificulta su maniobrabilidad.

Figura 23. Tarado de fertilizante granular con balanza (gramera) previo a la aplicación de fertilizantes.

- **Timbo:** recipiente plástico con capacidad de 20 litros, modificado con unas correas que se ajustan al torso del operario que ejecuta la aplicación. La máxima capacidad de carga de fertilizantes en estos recipientes es de 25 kg aproximadamente (Figura 24). Para su fabricación se emplean bidones que normalmente son usados para contener agua, gasolina u otros insumos.

Figura 24. Operario con timbo o recipiente para cargar el fertilizante. Foto: Hugo Arias.

Método de aplicación semimecanizado

El fertilizante es transportado al interior de los lotes en carretas (zorrillos o carromatos) que son haladas por tractores o semovientes y los operarios de aplicación se desplazan junto, o sobre estas, realizando la aplicación del fertilizante con taras (Figura 25). Este método permite abarcar mayor área en una jornada laboral y disminuye el tiempo dedicado a la recarga de fertilizante. No obstante, se requieren de equipos adicionales (tractor, semovientes, carromatos y/o carretas), además de calles de cosecha en buenas condiciones con suelos sin problemas de compactación.

Figura 25. Aplicación semimecanizada de fertilizante. Aplicación desde la carreta con tractor.
Foto: Jhon Jiménez.

Equipos, maquinaria y herramientas utilizadas

Al igual que con el método manual, en la aplicación semimecanizada se emplean taras, sin embargo, no se utiliza el timbo. En este caso, el transporte del fertilizante al interior de los lotes para ser aplicado se hace con una carreta, zorrillo o carromato que, a su vez, es halado por un semoviente o tractor.

- **Carromato:** es una especie de carreta de menor tamaño que se acopla a un semoviente. Esta es cargada con el fertilizante, evitando que el operario de aplicación cargue el fertilizante (Figura 26).

Figura 26. Carromato para cargar el fertilizante en campo. Foto: Hugo Arias.

- **Carreta:** es un tráiler generalmente con uno o dos ejes, en el cual se ubican canecas o recipientes llenos de fertilizantes (Figura 27).

Figura 27. Carreta para el transporte y carga de fertilizante en campo. Foto: Hugo Arias.

- **Semoviente:** El uso de animales (Figura 28) es importante en el cultivo de palma de aceite, especialmente para aquellas zonas en donde hay restricciones para la mecanización de labores. Los búfalos son los semovientes más frecuentes en la agroindustria de la palma de aceite. Son más costosos que los bueyes y las mulas por sus ventajas comparativas (López y Mosquera-Montoya, 2017).

Figura 28. Semoviente (mulo) con carreta para la fertilización. Foto: Hugo Arias.

- **Tractor:** son vehículos potentes que permiten el arrastre de equipos como carretas, maquinaria, equipos de aplicación, entre otros. Para la labor de fertilización no se requieren tractores de gran potencia dado que solo son utilizados para el arrastre de carretas que llevan el fertilizante. Dependiendo de las condiciones del lote, el tractor puede ser de tracción simple o de doble tracción (Figura 29).

Figura 29. Tractor empleado para el transporte de fertilizante en campo. Foto: Hugo Arias.

Método de aplicación mecanizado

Consiste en la aplicación de fertilizantes al suelo a través de máquinas conocidas como voleadoras o abonadoras que son haladas y accionadas por la toma de fuerza del tractor (Alfonso *et al.*, 2009) (Figura 30). Para tener un mejor rendimiento, un operario de campo va abasteciendo la voleadora al mismo tiempo que esta va realizando la aplicación. A mayor dosis por palma se deben hacer más recargas de la máquina. Estos equipos permiten cubrir grandes áreas y en algunos casos incorporar los fertilizantes al suelo para evitar las pérdidas por escorrentía y volatilización (Alfonso *et al.*, 2011; Mosquera-Montoya y Sánchez, 2006). El rendimiento con las esparcidoras mecánicas supera entre 5 y 10 veces al sistema de aplicación con búfalos que solo alcanza entre 8 y 10 ha/día (Alfonso *et al*., 2009).

La aplicación de fertilizantes a través de métodos mecánicos debe ser efectuada en ausencia de charcos o lluvias. Existe un alto riesgo de que el tractor y/o maquinaria quede atascada en los caminos, se dañen los carreteables o se pierda el fertilizante por arrastre del agua de escorrentía.

Figura 30. Equipo para aplicación mecanizada de fertilizantes. Foto: Archivo Fedepalma.

Criterios para la selección de los métodos de aplicación de fertilizante

A continuación, se darán a conocer pautas o criterios para seleccionar el método de aplicación que se ajusta a las condiciones particulares de una plantación. Se consideran las características del suelo, del cultivo, el tipo de fertilizante, entre otros. Algunos de los criterios ya fueron descritos en la primera parte de este boletín; no obstante, ahora se presentan resumidos:

Características del suelo

Anteriormente se mencionaron las condiciones de humedad del suelo adecuadas para la aplicación del fertilizante. Sin embargo, para la selección del método se deben considerar las siguientes características:

- **Estabilidad estructural del suelo:** los suelos con baja estabilidad estructural son propensos a presentar problemas de compactación, por lo tanto, no permiten el uso de maquinaria, carretas o equipos pesados al interior del lote. Los métodos semimecanizados, por su parte, se admiten bajo el criterio técnico del responsable de la fertilización. El método manual es el más adecuado bajo esta condición.

- **Pendiente del suelo:** para el caso de suelos con pendientes entre 9 y 25 grados la aplicación mecanizada y semimecanizada se deja bajo el criterio del técnico responsable. En suelos con pendientes mayores a 25 grados no es recomendable la siembra de palma de aceite según el manual de la RSPO (2013). El método de aplicación manual no presenta restricciones con respecto a la pendiente de suelo.

Características del cultivo

Las características del cultivo se dividen en dos categorías: la altura de la palma y la disposición de biomasa.

- **Altura de la palma:** es importante contemplar la altura de la palma, debido a que el roce de las hojas puede ocasionar daños en los equipos o lesiones al personal. En cultivos donde el dosel de la palma es bajo, los métodos de aplicación mecanizada y semimecanizada se restringen. El método semimecanizado puede ser implementado en cultivos bajos, siempre y cuando el operario de aplicación no se suba sobre la carreta. Por otro lado, el método manual no tiene limitación con respecto a la altura de la palma.
- **Disposición de biomasa:** si en el cultivo se ha incorporado biomasa en el plato de la palma, la recomendación es emplear el método manual o el semimecanizado. Estos dos métodos permiten disponer la totalidad del fertilizante en el plato de la palma sobre la biomasa.

Tipo de fuente

Algunas fuentes fertilizantes como cales, escorias y polvos son corrosivas. Por lo tanto, se recomienda usar métodos mecanizados de aplicación para fuentes de esta naturaleza. En caso de no poder mecanizarlo es necesario que el personal utilice los elementos de protección personal adecuados para evitar lesiones o abrasiones.

Resumen de criterios para la selección del método de aplicación

Como herramienta práctica para la toma de decisiones en relación con la selección del método de aplicación más adecuado para su plantación (Tabla 6), se presenta a continuación el resumen de los criterios relacionados con las características del suelo, del cultivo y del tipo de fuente fertilizante.

Tabla 6. Criterios para la selección del método de aplicación.

			Método de aplicación		
			Manual	Semimecanizado	Mecanizado
Características del suelo	Estabilidad estructural	Mala	X	X*	
		Buena	X	X	X
	Pendiente	< 9°	X	X	X
		Entre 9 - 25°	X	X*	X*
Características del cultivo de palma de aceite	Edad	Joven	X	X*	
		En desarrollo	X	X*	
		Adulta	X	X	X
	Altura	Baja	X	X*	
		Alta	X	X	X
Fertilizante	Tipo de fuente	Corrosiva	X*	X*	X
		No corrosiva	X	X	X

Nota: *La aplicación de la metodología depende del criterio técnico del profesional.

Personal requerido para la labor

El recurso humano en el sector rural en Colombia es escaso. Por esta razón es fundamental optimizar el uso de la mano de obra en las labores que más impactan el costo de producción del cultivo de palma de aceite (fertilización, cosecha y polinización artificial) (Ruiz-Álvarez *et al*., 2022). Para determinar el total de personal necesario para el desarrollo de la labor, se debe conocer el rendimiento de los trabajadores aplicando diferentes dosis de fertilizante por palma, el área total a fertilizar y la ventana de aplicación. En la Tabla 7 se presentan los rendimientos observados para los tres métodos de aplicación en diferentes plantaciones de palma de aceite en Colombia.

Tabla 7. Rendimientos observados de la labor de fertilización (ha/jornal).

Método	Dosis (kg/palma)				
	0,1	0,5	0,6	1,75	2,0
Manual*	11,78	10,44	8,52	6,71	6,78
Mecanizado	-	40	-	30	-

Nota: *Rendimientos registrados en Palmas Monterrey S.A.S. (Zona Central).

Estimación del personal requerido para la labor de fertilización

La estimación del personal requerido, considerando únicamente a los aplicadores (no tractoristas o cargadores de fertilizantes), para los métodos de aplicación manual y semimecanizado, se ilustra a continuación:

- **Requerimiento de personal:** para estimar la cantidad de personal para la aplicación primero se debe calcular el total de jornales que se requieren para aplicar el área deseada (Ecuación 3). Luego, teniendo en cuenta la ventana de aplicación, se estima el total de personal necesario por día (Ecuación 4):

$$Jornales\ totales = \left(\frac{Área\ total}{Rendimiento\ de\ la\ labor} \right) \quad \textbf{(Ecuación 3)}$$

En donde:

Área total → Área total de aplicación del fertilizante, (ha).
Rendimiento de la labor → Rendimiento observado de la labor, (ha/jornal).

$$Total\ de\ personal = \left(\frac{Total\ de\ jornales}{Ventana\ de\ aplicación} \right) \quad \textbf{(Ecuación 4)}$$

Donde, la *ventana de aplicación* es igual al tiempo en días disponible para aplicar una fracción del fertilizante.

Bibliografía

Alfonso, O., Botero, R. y Romero, H. (2009). Diagnóstico de la mecanización del cultivo de la palma de aceite en Colombia. *Palmas,* (30)4, pp. 9-19. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1461/1461

Alfonso, O.A., Castiblanco, J.S. y Romero, H.M. (2011). Incorporación de fertilizantes con abonadoras para siembra directa. *Palmas* (32)1, pp. 71-79. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1591/1591

López, D. y Mosquera-Montoya, M. (2017) El búfalo en la agroindustria de la palma de aceite. *El Palmicultor*, (546) pp. 14-16. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmicultor/article/view/12167

Cenipalma. (20 de febrero de 2023) Colombia Palmera en Línea febrero 2023. [Archivo de video] Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=ppjAlri-4qI&t=6403s

Mosquera-Montoya, M., Ruiz-Álvarez, E., Munévar, D.E., Estupiñán Villamil, M.C. y Sinisterra, K.X. (2023). Índice de Costos para la Palma de Aceite (ICPA). *Palmas* (en proceso de publicación).

Mosquera-Montoya, M., Ruiz-Alvarez, E. y Munévar-Martínez, D.E., 2023. ICPA, la herramienta para el monitoreo oportuno de los costos de producción de palma de aceite. *Colombia Palmera en Línea* [en línea]. S.l.: s.n., Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=ppjAlri-4qI&t=6403s.

Mosquera-Montoya, M. y Sánchez, A. (2006). Sistemas de aplicación de fertilizantes químicos en plantaciones colombianas de palma de aceite. *Palmas*, (27)3, 11-20. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1185

Ruiz-Álvarez, E., Mosquera-Montoya, M., Munévar, D.E., Vargas, L.E. y Vélez, J.C. (2022). *Boletín Técnico No. 43. Productividad laboral en plantaciones de palma de aceite en Colombia*. Cenipalma. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/view/13970/13836

RSPO. (2013). *Principios y criterios para la producción de aceite de palma sostenible*. RSPO. https://www.rspo.org/file/021013P&C2013SPANISHFINAL.pdf

Tercera parte

Foto: Jhon Jiménez.

Calidad fisicoquímica de las fuentes de nutrientes

https://doi.org/10.56866/9789588360997.03

Nolver Arias y Jhon Jiménez-Vera

Uno de los componentes clave para el éxito de los programas de nutrición de las plantas es que las fuentes fertilizantes utilizadas cumplan con las características apropiadas en términos de calidad física (para permitir una adecuada aplicación) y química (para suministrar las cantidades de nutrientes en los tiempos requeridos por el cultivo). Por tanto, resulta relevante la ejecución de muestreos para evaluar si efectivamente las fuentes empleadas contienen las cantidades expresadas en sus respectivas fichas técnicas.

En esta unidad se presentan los procedimientos para el muestreo de las fuentes fertilizantes, la norma técnica aplicable y las tolerancias permitidas con respecto a los contenidos de nutrientes, al igual que también se señalan las características físicas deseables para facilitar su aplicación.

Herramientas e insumos necesarios para el muestreo

Para ejecutar un adecuado proceso de muestreo es necesario contar con las herramientas e insumos apropiados para garantizar la representatividad de la muestra y que conserve las condiciones al momento de la toma de las submuestras.

Los elementos necesarios para efectuar un muestreo de fertilizantes sólidos son:

- Sonda o tubo muestreador sencillo (de una sola entrada) o de doble tubo (con múltiples entradas) (Figura 31).
- Balde plástico limpio para la mezcla de las submuestras.

Figura 31. Dispositivo muestreador de fertilizantes.

- Bolsas plásticas para el empaque y conservación de muestras.
- Etiquetas para el rotulado de muestras.
- Balanza o gramera para determinar la cantidad de muestra a enviar al laboratorio.

Es importante destacar que el muestreador de doble tubo con "muescas", al presentar múltiples orificios, facilita y garantiza que la toma de la muestra de todas las secciones en el punto de muestreo sea homogénea.

Métodos de muestreo por tipo de presentación (empaque)

El sistema de muestreo depende del tipo de empaque o presentación utilizada para las diferentes fuentes de nutrientes. Teniendo en cuenta que las presentaciones sólidas son las empleadas con mayor frecuencia en cuanto a formas de muestreo, en adelante, se hará referencia a este tipo de fuentes, es decir, fuentes fertilizantes en estado sólido.

Muestreo en sacos o bultos de 50 kg

Comercialmente la presentación más usada es la de sacos o bultos de 50 kilogramos (kg) (Figura 32). Todos los bultos de un mismo grado o tipo, tomados de un solo grupo de fabricación, constituyen un lote de fertilizantes. Los bultos seleccionados para el muestreo deben estar en buena condición externa (Fairhust y Härdter, 2003). Por tanto, es importante tener en cuenta el correcto almacenamiento y que favorezca la preservación de las características físicas y químicas del producto. También hay que considerar que es necesario facilitar el acceso al momento de ejecutar el muestreo para evaluar la calidad de los fertilizantes.

Figura 32. Almacenamiento de fertilizantes en bodega.

- **Tamaño de muestra:** el número de submuestras es importante para garantizar la representatividad de la muestra que se enviará al laboratorio para el respectivo análisis. Este número depende de la cantidad de bultos o sacos de fertilizantes a los que se les desea evaluar su calidad (Tabla 8).

Tabla 8. Número de submuestras en función de la cantidad de bultos que conforman el lote de fertilizantes a evaluar (ICONTEC, 2018).

Tamaño del lote de fertilizantes	Número mínimo de unidades de muestreo
Hasta 4 bultos	Todos los bultos
Entre 4 y 10 bultos	4
Entre 10 y 400 bultos	El número entero más próximo por encima de la raíz cuadrada del número de bultos que conforman el lote de fertilizantes
Más de 400 bultos	20

- **Proceso de toma de submuestras:** para fertilizantes en sacos o bultos, generalmente de 50 kg, es recomendable que su disposición al momento de la toma de las submuestras sea horizontal. Posteriormente se introduce el tubo de muestreo, con las muescas debidamente abiertas, de manera diagonal en relación con los extremos opuestos de los sacos (Figura 33). Una vez la punta del tubo muestreador ha tocado el extremo más lejano del bulto se procede a cerrar las muescas del tubo y se extrae su contenido. Finalmente, el contenido se deposita en un balde.

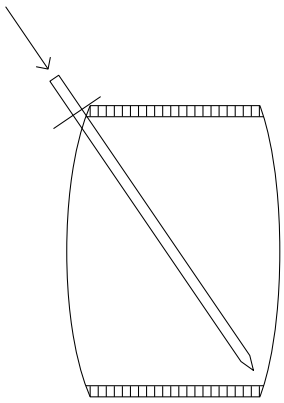


Figura 33. Ilustración para la toma de submuestra de fertilizantes en presentación de bultos o sacos.

Muestreo en bultos grandes o *big bags*

- **Tamaño de muestra:** con la presentación de los fertilizantes en bultos grandes o *big bags* (Figura 34), la recomendación es hacer un muestreo por cada uno de los bultos, teniendo en cuenta que la capacidad de este tipo de empaques oscila entre 500 y 1.000 kg (1 tonelada (t)).

Figura 34. Fertilizante en *big bags* o bultos grandes. Especialmente recomendado para aplicaciones mecanizadas. Foto: Fanhor Menza y Geison Rojas.

- **Proceso de toma de submuestras:** la recomendación es tomar, por lo menos, tres submuestras por unidad seleccionada. Es decir, una en la mitad del bulto y las otras dos hacia los extremos de manera oblicua y similar al descrito anteriormente para el caso de bultos de 50 kg (Figura 35).

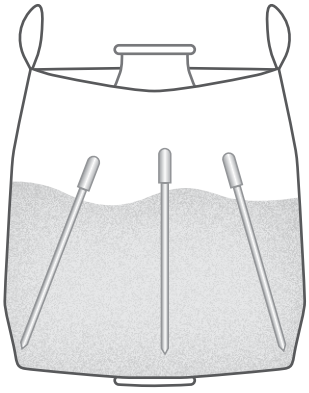


Figura 35. Ilustración para la toma de submuestra en fertilizantes en presentación de bolsas grandes o *big bags*.

Muestreo en fertilizantes a granel

- **Tamaño de muestra:** es posible que, en algunas plantaciones, especialmente aquellas cercanas a los puertos marítimos, se compren fertilizantes a granel (Figura 36). En este caso, para volúmenes de hasta 25 t la recomendación es tomar por lo menos 10 submuestras. Para volúmenes entre 25 y 400 t, se recomienda el uso de la Ecuación 5. Para más de 400 t, el número mínimo de submuestras sugerido es de 40 (ICONTEC, 2018).

$$X = \sqrt{(4 * n)} \quad \textbf{(Ecuación 5)}$$

En donde:

X	→	Número de submuestras a tomar.
n	→	Número de toneladas a muestrear.

Figura 36. Fertilizantes dispuestos a granel. Foto: Mario Navas.

- **Proceso de toma de submuestras:** para los fertilizantes a granel, la recomendación es tomar 12 puntos de muestreo ubicados en la parte superior, media e inferior (4 para cada una de estas partes) (Figura 37). Con esto se busca cubrir posibles variaciones, especialmente en los fertilizantes compuestos. En general, se aconseja que el peso total de la "pila" a muestrear no sea superior a 5 t. Si es el caso, sería necesario incrementar el número de submuestras.

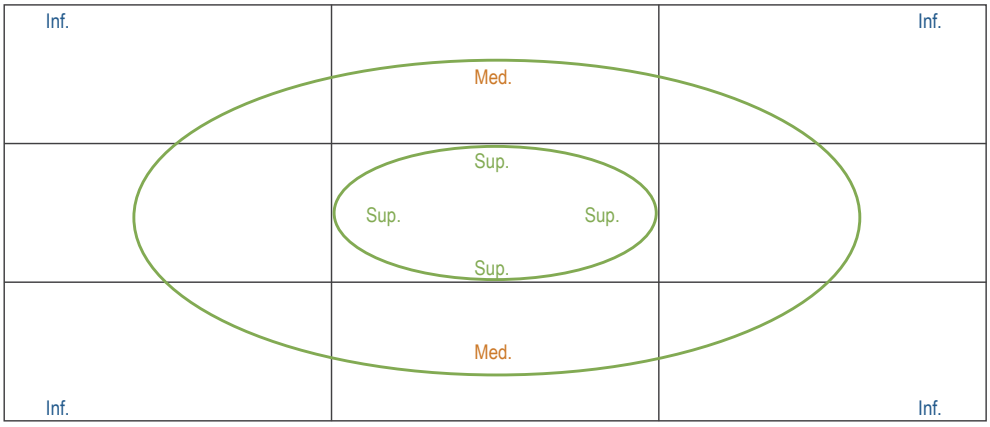


Figura 37. Ilustración de puntos de muestreo para fertilizantes dispuestos a granel.

El uso de fertilizantes en esta presentación (granel) es viable con aquellas fuentes de nutrientes que no se alteran fácilmente con factores ambientales, tales como la humedad relativa y la temperatura. Ese es el caso de las enmiendas y los fertilizantes potásicos y fosfóricos que no contienen nitrógeno. En cuanto a fuentes nitrogenadas esta presentación no es recomendable.

Aleatorización de las muestras

Para las tres clases de presentaciones se recomienda realizar las muestras de manera aleatoria. Para esto, es posible utilizar algún *software* estadístico de libre distribución o Excel, con el propósito de mejorar la representatividad de la muestra y evitar la subjetividad.

Preparación de la muestra para el laboratorio

Para cada submuestra, bien sea por bulto o punto de submuestreo, una vez se retira el tubo de muestreo se procede a depositar el contenido de este en el balde respectivo. Al finalizar la recolección de todas las submuestras del producto, se realiza la homogenización de estas, de manera manual.

A continuación, y con ayuda de una balanza, se procede a depositar la cantidad solicitada por el laboratorio en una bolsa plástica limpia y etiquetada. Posteriormente se diligencia el formulario de remisión con los datos requeridos por el laboratorio que efectuará el análisis.

Garantizar la correcta conservación de la muestra es clave para la confiabilidad de los resultados. Por tanto, el empaque debe ser hermético y preferiblemente hacerlo en doble bolsa.

Normatividad vigente

La Norma Técnica Colombiana NTC 1061 es la que regula la calidad técnica sobre los abonos o fertilizantes (ICONTEC, 2020). El objeto principal de esta es fijar las tolerancias permitidas en la composición con respecto a los nutrientes garantizados en los abonos o fertilizantes líquidos y sólidos complejos, así como de los fertilizantes mezclados sólidos a base de N, P, K. La tolerancia hace referencia al intervalo de concentración que se considera apropiado con base en la información registrada en la ficha técnica del producto (Tabla 9). Estas tolerancias se expresan en términos de N para nitrógeno total, P_2O_5 para fósforo y K_2O para potasio.

Tabla 9. Tolerancias permitidas de nutrientes de los fertilizantes líquidos y sólidos complejos a base de nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O).

Concentración, grado o nutriente garantizado (%)	Porcentaje de tolerancias permitidas		
	N total	P_2O_5 asimilable	K_2O soluble en agua
4 o menos	0,49	0,67	0,41
6	0,52	0,67	0,47
8	0,55	0,68	0,6
10	0,58	0,69	0,7
12	0,61	0,69	0,79
14	0,63	0,7	0,87
16	0,67	0,7	0,94
18	0,7	0,71	1,01
20	0,73	0,72	1,08
22	0,75	0,72	1,15
24	0,78	0,73	1,21
26	0,81	0,73	1,27
28	0,83	0,74	1,33
30	0,86	0,75	1,39
32 o más	0,88	0,76	1,44

En términos generales, a mayor concentración de la unidad de nutriente, mayor es la tolerancia permitida, sin embargo, para N y P_2O_5, esta tolerancia no supera un punto porcentual mientras que para K_2O en la concentración o grado del 32 % la tolerancia es de 1,44 %. En la norma indicada se incluyen ecuaciones que permiten su cálculo

(Ecuación 6 a Ecuación 8), y con base en estas es posible obtener los valores para concentraciones que no aparecen en la Tabla 9, incluyendo contenidos superiores al 32 % en las fuentes.

Tolerancia permitida para fertilizantes nitrogenados

La determinación de la tolerancia para fertilizantes nitrogenados (Figura 38) es la siguiente (Ecuación 6):

$$Y = - 0{,}00006\ (\%\ N)^2 + 0{,}0162\ (\%\ N) + 0{,}4241 \quad \textbf{(Ecuación 6)}$$

En donde:

- Y → Tolerancia para nitrógeno (N (%)).
- N → Contenido o porcentaje de nitrógeno expresado en la ficha técnica.

De acuerdo con lo anterior, para un fertilizante nitrogenado con contenido del 26 %, su tolerancia sería:

$$Y = - 0{,}00006\ (26)^2 + 0{,}0162\ (26) + 0{,}4241$$

$$Y = 0{,}80\ \%$$

La tolerancia permitida de N, en este caso, es similar a lo registrado en la Tabla 9.

Figura 38. Aspecto de la urea granulada.

Tolerancia permitida para fertilizantes fosfóricos

En relación con los fertilizantes fosfóricos (Figura 39), la determinación de su tolerancia (Ecuación 7) es:

$$Y = 0{,}00002\ \ (\%\ P_2O_5)^2 + 0{,}0025\ (\%\ P_2O_5) + 0{,}6575 \quad \textbf{(Ecuación 7)}$$

En donde:

Y → Tolerancia permitida de fósforo (P_2O_5 (%)).

P_2O_5 → Contenido de P_2O_5 (%) expresado en la ficha técnica.

De acuerdo con lo anterior y, a manera de ejemplo, para un fertilizante del 46 % de P_2O_5 en su contenido, la tolerancia permitida sería:

$$Y = 0{,}00005\ (46)^2 + 0{,}0025\ (46) + 0{,}659$$

$$Y = 0{,}88\ \%$$

El valor obtenido no aparece consignado en la Tabla 9. En esto radica la importancia y la utilidad de las ecuaciones empleadas para determinar las tolerancias en este tipo de fuentes fertilizantes.

Figura 39. Aspecto del superfosfato triple (46 % de P_2O_5).

Tolerancia permitida para fertilizantes potásicos

En cuanto a fertilizantes potásicos (Figura 40), la determinación de su tolerancia (Ecuación 8) es:

$$Y = -\ 0{,}0005\ (\%\ K_2O)^2 + 0{,}0547\ (\%\ K_2O) + 0{,}191 \quad \textbf{(Ecuación 8)}$$

En donde:

Y → Tolerancia permitida para (K_2O (%)).

K_2O → Contenido de K_2O (%) garantizado expresado en la ficha técnica.

De esta manera, para un fertilizante con 60 % de K_2O, su tolerancia sería:

$$Y = -\ 0{,}0005\ (60)^2 + 0{,}0547\ (60) + 0{,}191$$

$$Y = 1{,}67\ \%$$

Al igual que con la tolerancia determinada anteriormente para fertilizantes potásicos, el resultado obtenido tampoco se encuentra en la Tabla 9.

Figura 40. Aspecto del cloruro de potasio (KCl) granular (60 % de K_2O).

En cuanto a las tolerancias permitidas (***Y***) de nutrientes en los fertilizantes mezclados sólidos a base de N, P, K, se tiene:

- Nitrogenados: $Y = - 0{,}00005\ (\%\ N)^2 + 0{,}0413\ (\%\ N) + 0{,}6533$
- Fosfóricos: $Y = 0{,}00005\ (\%\ P_2O_5)^2 + 0{,}00413\ (\%\ P_2O_5) + 0{,}6533$
- Potásicos: $Y = - 0{,}0005\ (\%\ K_2O)^2 + 0{,}0547\ (\%\ K_2O) + 0{,}191$

Tolerancias permitidas para nutrientes secundarios

Para los nutrientes considerados como secundarios, al igual que para los micronutrientes, las tolerancias permitidas en fertilizantes sólidos son los usados con más frecuencia en el cultivo de palma (Tabla 10). Asimismo, también se tienen referencias para fertilizantes líquidos (Tabla 11).

Tabla 10. Tolerancias permitidas de los nutrientes secundarios y menores en los fertilizantes de presentación sólida.

Nutriente	Tolerancia
CaO	T = 0,42 + 0,105 (G)
MgO	T = 0,50 + 0,125 (G)
S	T = 0,30 + 0,075 (G)
B	T = 0,005 + 0,25 (G)

Continúa

Nutriente	Tolerancia
Mo, Co	T = 0,0000125 + 0,375 (G)
Cu, Mn. Fe, Zn, Na, Cl	T = 0,015 + 0,30 (G)

*G: contenido del nutriente expresado en porcentaje.

Tabla 11. Tolerancias permitidas de los nutrientes secundarios y menores en los fertilizantes de presentación líquida.

Nutriente	Tolerancia
CaO	T = 0,28 + 0,07 (G)
MgO	T = 0,33 + 0,083 (G)
S	T = 0,20 + 0,050 (G)
B	T = 0,005 + 0,25 (G)
Mo, Co	T = 0,0001 + 0,30 (G)
Cu, Mn. Fe, Zn, Na, Cl	T = 0,005 + 0,10 (G)

*G: contenido del nutriente expresado en porcentaje.

Interpretación de resultados del análisis de fuentes fertilizantes

Los resultados del análisis de muestras de fertilizantes se comparan con respecto al contenido nutricional expresado en la ficha técnica del producto y con relación a los límites de tolerancia descritos en la Norma Técnica Colombiana NTC 1061 sobre fertilizantes y enmiendas. Para esto, se recomienda la elaboración de gráficos que permitan visualizar los resultados (Figura 41).

A continuación, se describe a manera de ejemplo la evaluación de un fertilizante de mezcla física como aportante de nitrógeno (15 % de N), fósforo (4 % de P_2O_5) y potasio (23 % de K_2O). El resultado corresponde a seis muestras para el mismo producto.

- **Contenido de nitrógeno:** para las seis muestras analizadas se observa que los contenidos de nitrógeno se encuentran por debajo del contenido garantizado (15 % de N). Además, en promedio la diferencia es de 4,1 y 3,45 puntos porcentuales de nitrógeno con respecto al fertilizante garantizado y el límite inferior permitido. Este último valor representa 23 % menos de nitrógeno con respecto a lo que debería contener el fertilizante.

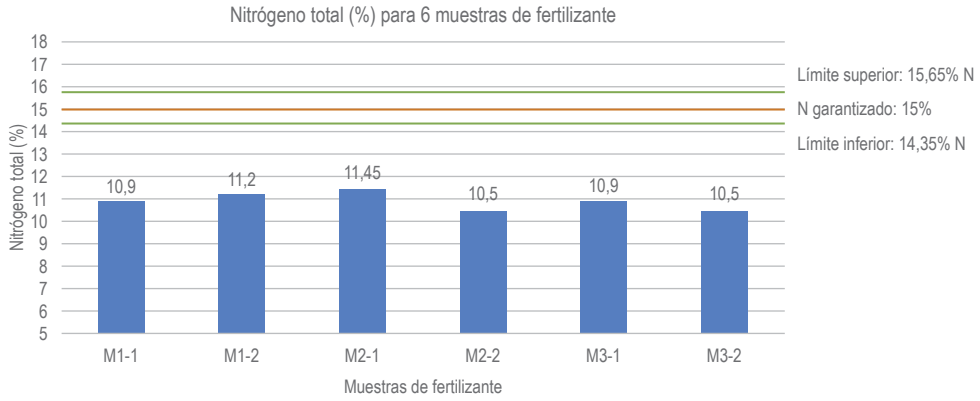


Figura 41. Representación de los resultados de análisis de la fuente fertilizante con respecto al contenido de nitrógeno total garantizado según el fabricante.

- **Contenido de fósforo y potasio:** para el fósforo, en tres de las muestras evaluadas, los contenidos se ajustan a la norma técnica. Es decir, se encuentra dentro de los límites de tolerancia permitidos (Figura 42). En las restantes tres muestras los contenidos son significativamente superiores a lo garantizado en la ficha técnica (4 % de P_2O_5). De igual manera, los contenidos de potasio varían considerablemente entre las muestras evaluadas, pasando de valores sobre la tolerancia permitida a valores muy por debajo del límite inferior (Figura 43). Esta situación no necesariamente es favorable, ya que podría indicar segregación de la mezcla fertilizante y también ocasionar inconvenientes a la hora de determinar las dosis de nutriente a aplicar por palma.

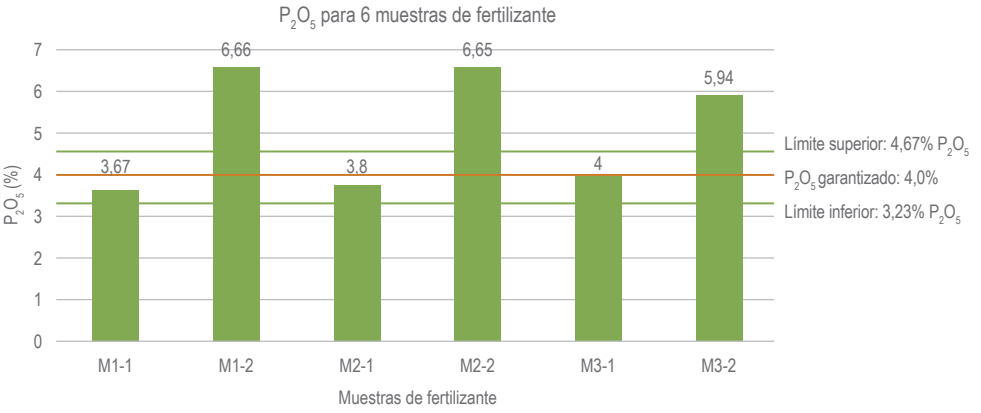


Figura 42. Representación de los resultados de análisis de la fuente fertilizante con respecto al contenido de fósforo (P_2O_5) garantizado según el fabricante.

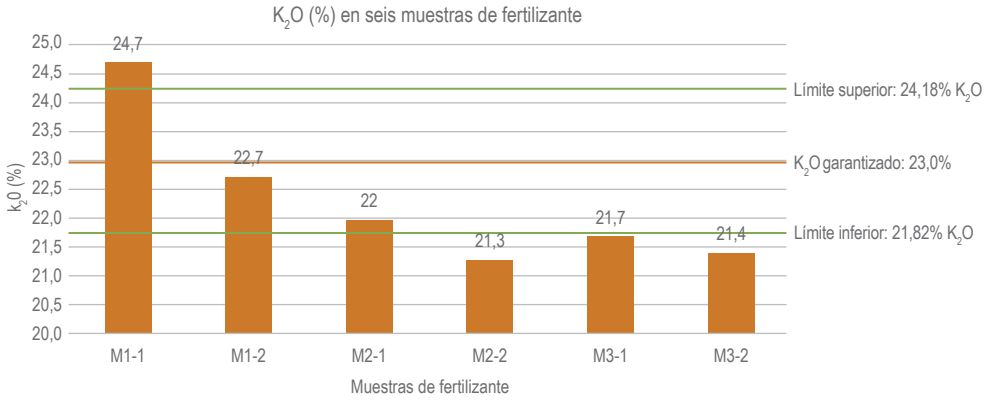


Figura 43. Representación de los resultados de análisis de la fuente fertilizante con respecto al contenido de potasio (K_2O) garantizado según el fabricante.

Toma de decisiones

Antes de tomar decisiones sobre algún tipo de solicitud de revisión a la casa productora, comercializadora de fertilizantes o de enmiendas, es necesario asegurar que las siguientes condiciones se cumplan de manera adecuada:

- **Almacenamiento:** las condiciones han sido adecuadas en términos de temperatura, humedad relativa y luminosidad, además de que la calidad de los empaques se mantuvo en condiciones óptimas. Asimismo, que no se haya tenido almacenado durante un tiempo prolongado, lo que podría contribuir a su degradación.
- **Muestreo:** el proceso de muestreo fue riguroso y de acuerdo con los lineamientos de la Norma Técnica Colombiana NTC 1061 con herramientas y elementos de muestreo adecuados, así como el proceso de embalaje y envío de las muestras para análisis al laboratorio correspondiente.
- **Calidad del análisis:** el laboratorio se encuentra capacitado y certificado para realizar el análisis solicitado.

Una vez se ha superado lo anterior, es momento de contactar a las empresas productoras y/o comercializadoras para, en un primer paso, exponer la situación y definir los pasos siguientes.

Bibliografía

ICONTEC, 2018. Norma Técnica Colombiana NTC 6287-1:2018 Fertilizantes y enmiendas. Toma de muestras y preparación de muestras. Parte 1: Toma de muestras. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC.

ICONTEC 2020. Norma Técnica Colombiana NTC 1061:2020. Abonos o fertilizantes. Tolerancias. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC.

Cuarta parte

Foto: Jhon Jiménez.

Evaluación de la calidad de la aplicación en campo

https://doi.org/10.56866/9789588360997.04

Nolver Arias y Jhon Jiménez-Vera

La aplicación de fuentes fertilizantes con criterios de calidad debe procurar que los nutrientes se suministren al cultivo cumpliendo los criterios de las 4 R (Right Source, Right Rate, Right Time, Right Place), por sus siglas en inglés (Tiemann *et al*., 2018), es decir, con la fuente adecuada, la dosis indicada, el momento oportuno y el sitio adecuado.

La selección de la dosis indicada estará en función de los requerimientos nutricionales del cultivo, la producción esperada y las condiciones de los suelos en las cuales se encuentra el cultivo. Con respecto a la fuente adecuada prevalecen las condiciones edáficas y ambientales bajo las cuales se aplicarán las fuentes de nutrientes seleccionadas. Estos dos criterios han sido previamente determinados por el personal profesional a cargo del diseño y evaluación de los programas de manejo nutricional, y en virtud de esto se cuenta con fuentes de nutrientes disponibles para la aplicación.

Las decisiones sobre el momento oportuno y el sitio adecuado están en función de las condiciones verificables en el campo y deben estar acompañadas de información climática de referencia, como también de recorridos para validar que las condiciones sean óptimas. Los registros de variables climáticas, el balance hídrico, la capacidad de los suelos de almacenar agua, la tasa de infiltración y el comportamiento de los niveles freáticos son importantes para determinar el momento oportuno. Por otra parte, el sitio adecuado para la aplicación de las fuentes de nutrientes será aquel que permita la mayor eficiencia en la toma de los nutrientes suministrados. Bajo esta condición es imprescindible que existan las condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo adecuados de las raíces absorbentes y baja competencia por parte de arvenses y otras plantas asociadas con el cultivo.

A continuación, se exponen aspectos relevantes para que el diseño del programa de manejo nutricional pueda cumplirse, apuntándole a la mayor eficiencia en el uso de los nutrientes.

Evaluación de las condiciones del lote

Antes de iniciar la labor de fertilización, como su supervisión, es importante evaluar que las condiciones del campo sean adecuadas en términos de humedad, accesibilidad y manejo de coberturas en el plato y áreas de aplicación.

En ese sentido, los aspectos a verificar en campo son:

Mantenimiento de la cobertura vegetal del suelo

Se debe verificar que las calles de tráfico permitan el desplazamiento sin dificultades de los operarios de aplicación y faciliten la visualización del terreno (Figura 44). En las calles de tráfico, una vegetación alta implica retrasos en los movimientos, mayor

fatiga y riesgo de accidentes ocasionados por caídas, picaduras o mordeduras de animales que no pueden ser vistos con facilidad.

Si bien es necesaria la limpieza de las calles, lo deseable es mantener adecuada cobertura por sus efectos en la reducción de la erosión, la escorrentía y la conservación de la humedad en el suelo. En esta variable la calificación es cualitativa para las calles recorridas. Se tiene en cuenta el puntaje máximo de la calificación y se va disminuyendo en la medida en que las condiciones para el tráfico no sean las apropiadas.

Figura 44. Condiciones de cobertura en calles de tráfico: (a) adecuada para tránsito; (b) condición extrema de mantenimiento o limpieza.

Además, es recomendable que las calles de no tráfico o de palera también se encuentren en condiciones apropiadas (Figura 45). La existencia de plantas arvenses no adecuadas o en condiciones de desarrollo que puedan interferir con el cultivo implicará ineficiencias en el uso de nutrientes, además de dificultades para una aplicación de fertilizantes con criterios de calidad.

Figura 45. Condiciones de cobertura vegetal del suelo en calles de no tráfico o de palera: (a) adecuada; (b) coberturas no adecuadas.

Mantenimiento de los platos de la palma

Se debe verificar que los platos de la palma no tengan exceso de cobertura vegetal que compita por nutrientes o dificulte su aplicación (Figura 46). Una alta presencia de cobertura, especialmente de gramíneas, puede tomar hasta el 100 % de los nutrientes aportados y retardar el efecto deseado en las palmas. Previo a la aplicación se recomienda el control de arvenses, en lo posible con medios mecánicos (guadaña, cortamaleza o machete) ya que, con estos, el hecho de que existan raíces y partes de plantas vivas va a permitir el favorecimiento de la infiltración y la vida en el suelo. El indicador corresponde al número de platos que no cumplen con la condición requerida sobre el número total de palmas evaluadas en cada recorrido.

Por otra parte, para el caso de aplicaciones manuales de fertilizantes, lo deseable es que esta sea alrededor del área del plato. El exceso de vegetación dificultará tanto la ejecución de los recorridos, como la posibilidad de supervisar su aplicación.

Figura 46. Condiciones de cobertura en el plato de la palma: (a) alta cobertura de arvenses; (b) área intervenida con guadaña y en mejor condición para la aplicación de las fuentes fertilizantes.

Poda de las palmas

Es deseable que las palmas se encuentren en estado óptimo de poda y sin hojas que pendan de la corona de racimos "enruanadas" que dificulten la aplicación (Figura 47). Por otro lado, cuando se tienen hojas en exceso es posible que parte de los nutrientes aportados se queden almacenados en hojas no funcionales, o con baja funcionalidad fotosintética, debido a su ubicación en el dosel de la palma. En palma adulta, generalmente las hojas ubicadas por debajo de la hoja número 33, en lugar de aportar energía a la planta, se convierten en sumideros de energía y nutrientes. Por tanto, esto retarda el proceso de suministro de nutrientes a las hojas con mayor funcionalidad, cuyo caso es proporcionar nutrientes a los racimos.

Para estimar el indicador de poda se divide el total de palmas enruanadas que cubren los platos, y/o aquellas que no se encuentran con poda adecuada, entre el total de palmas evaluadas.

Figura 47. Condiciones de poda en palmas: (a) adecuada; (b) palma con hojas enruanadas y dificultad para la aplicación de fertilizantes.

Condiciones físicas del suelo

Es recomendable que los platos tengan la humedad adecuada (Figura 48). Esto significa, tanto en el suelo como en las palmas, que no existan encharcamientos ni evidencias de fuerte déficit hídrico, respectivamente. Si bien algunas fuentes de nutrientes se pueden aplicar con baja humedad en el suelo, especialmente aquellas que no se volatilizan, la recomendación es que siempre la condición de humedad sea la adecuada, es decir, cercana a la capacidad de campo.

Por el contrario, no es recomendable aplicar fertilizantes de ningún tipo si se aprecian encharcamientos en los lotes, ya que esto es evidencia de que el suelo está saturado o se encuentra cercano a esta condición y cualquier precipitación se convertirá en escorrentía, facilitando el lavado de las fuentes fertilizantes aplicadas.

Además del área de los platos, es necesario también que las calles de tráfico no presentan condiciones de encharcamiento (Figura 49) y faciliten la movilidad de personas, maquinaria y/o semovientes. Una calle de tráfico con encharcamientos igualmente es indicadora de condiciones de humedad no apropiadas para la aplicación de fertilizantes e incidirá en el aumento de la fatiga de personal a cargo de esta labor y también de los semovientes.

Para determinar este indicador se verifica el estado de platos y se cuantifican aquellos con encharcamiento. Se tendrá con esto un porcentaje de platos en condición no adecuada. Con respecto a las calles de tráfico, la calificación es cualitativa y excluyente, es decir, se cumple o no la condición deseada.

Figura 48. Condiciones de humedad del área del plato: (a) adecuada; (b) condición de falta de humedad y biomasa para la aplicación de fertilizantes.

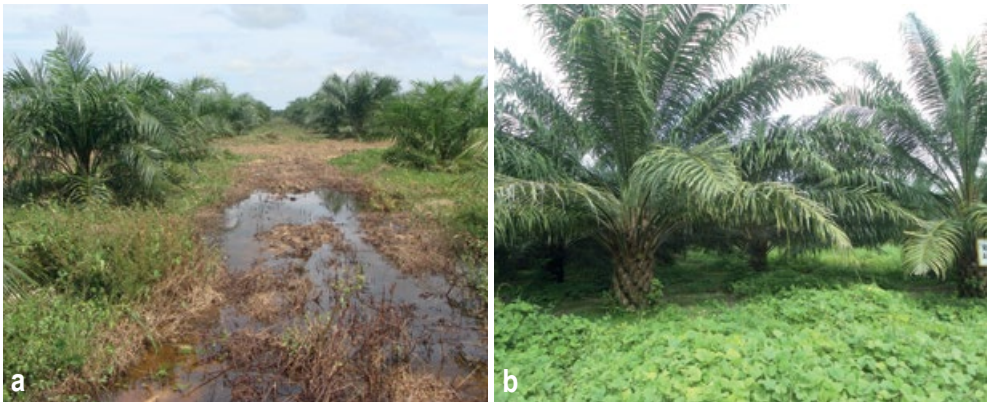


Figura 49. (a) Calle de tráfico en condición inadecuada de humedad y (b) calle de tráfico en condiciones apropiadas para tránsito y aplicación de fertilizantes.

Logística previa a la evaluación de la labor de fertilización

Esta comprende la revisión en cuanto al alistamiento y la calidad de las fuentes fertilizantes que se utilizarán, la delimitación del área de aplicación, la disposición de taras o medidas adecuadas y la cuantificación de la cantidad total de fertilizante a aplicar durante la jornada laboral.

Alistamiento y calidad de la fuente fertilizante

Es necesario contar con un mapa o representación del lote, UMA o áreas en las que se aplicarán las fuentes fertilizantes (Figura 50). Esta información es importante para posteriormente determinar la distribución de los bultos o sacos en los puntos de acopio y así facilitar la logística.

En función del método de aplicación, las dosis, el personal, distancias a recorrer y demás recursos disponibles se determina la cantidad de palmas a las que es posible aplicar el fertilizante (para mayor detalle, consultar la segunda parte). Lo deseable es que el producto que salga de la bodega hacia el campo sea aplicado en su totalidad.

Figura 50. Delimitación del área a aplicar con las fuentes fertilizantes.

Calidad de la fuente fertilizante

Se refiere a la calidad física de la fuente. Es deseable que la fuente se encuentre en condiciones óptimas (Figura 51). Es decir, que la granulometría sea la indicada y que no se presenten agregados, lo que dificultaría la aplicación en el campo (para mayor detalle, consultar la tercera parte de este boletín).

Figura 51. Condiciones de humedad de fertilizantes: (a) y (b) adecuada condición del fertilizante; (c) fertilizante humedecido.

Verificación de medidores, taras o dosificadores

Elaborar taras o dosificadores con fertilizantes en condiciones no óptimas facilitará incurrir en imprecisiones de las dosis por palma y estimaciones de las cantidades totales para aplicación en la jornada de campo. Por otra parte, en fertilizantes nitrogenados, cuando han absorbido humedad, es posible que se hayan registrado pérdidas por volatilización.

Teniendo en cuenta que las aplicaciones de las fuentes de nutrientes generalmente se hacen por medios manuales o semimecanizados y que, usualmente, las formas de distribuir son determinadas cantidades (kilogramos o gramos por palma), resulta importante la verificación de la correcta calibración de las taras o dosificadores.

Determinación de bultos o cantidad total de fertilizantes por lote o UMA

Del área a aplicar se debe conocer el número total de palmas, palmas por línea, por UMA entre otras características de interés, tales como la existencia de canales (de riego o de drenaje), puentes, etc. Con base en esta información se determina la cantidad total de fertilizantes a enviar al campo (Figura 52).

Figura 52. Proceso de preparación y transporte del fertilizante hacia los lotes o UMA.

Es deseable la verificación del número de bultos a aplicar en función de las dosis recomendadas por palma y el número de palmas.

Distribución de bultos en lote para facilitar la aplicación

Los bultos se distribuyen de acuerdo con la cantidad de palmas por línea y buscando disminuir las distancias recorridas para abastecimiento. En función del sistema de aplicación es posible que haya variaciones en la distribución de los bultos o sacos. En el caso de la aplicación manual, lo más frecuente es la distribución en el borde del lote y con disposición de bultos al interior del lote en función de las dosis a aplicar (Figura 53). Esto se hace habitualmente con la ayuda de un tractor.

Figura 53. Distribución de bultos de fertilizantes en el borde de lote o UMA.

En el caso de aplicaciones mecanizadas o semimecanizadas, generalmente se tienen puntos de acopio en lugares estratégicos de los lotes. Es recomendable siempre priorizar el menor desplazamiento de los operarios que ejecutan la aplicación con el objetivo de disminuir la fatiga, incrementar el rendimiento y propender por la calidad de la aplicación.

Evaluación de la calidad de aplicación de fertilizantes

Planeación de la evaluación de la labor de fertilización

Para la verificación de fertilización en campo se recomienda el siguiente procedimiento:

- **Selección del lote o UMA:** en función del área a recorrer es importante seleccionar los lotes o UMA a verificar apoyado de un mapa con la correspondiente ubicación de las palmas (Figura 54).
- **Selección de sitios de muestreo:** antes del recorrido de campo es recomendable seleccionar tres sitios de muestreo; al inicio, al medio y al final de las áreas, lotes o UMA. Se sugiere marcar los sitios en un mapa de manera previa con la finalidad de evitar subjetividades (Figura 54). En cada sitio de muestreo se aconseja recorrer dos calles en forma de U. Este recorrido necesariamente debe ser a pie.
- **Horas de evaluación:** se sugiere evaluar a diferentes horas del día con el fin de verificar tanto áreas aplicadas como áreas en aplicación. Además, se puede revisar la calidad de la aplicación en función del avance de la jornada laboral y los posibles efectos de la fatiga del personal en campo.

Figura 54. Representación de la selección de tres áreas para efectuar la supervisión de la fertilización en una UMA.

Ejecución de la evaluación de la labor de fertilización

Una vez en campo las variables a supervisar son:

- **Evidencias de la aplicación:** el supervisor avanza palma a palma en la U seleccionada del lote o UMA, verificando que cada una registre evidencia del producto aplicado (Figura 55). Esto de acuerdo con las recomendaciones del profesional encargado del diseño y evaluación del programa de manejo nutricional. Como indicador se tendrá un porcentaje de palmas aplicadas con respecto al número total de palmas recorridas.

Figura 55. Área alrededor de la palma en la que se observan gránulos de fertilizante, evidenciando su aplicación.

- **Cantidad correcta por palma:** esta evaluación se puede ejecutar de manera práctica al momento de la aplicación. Sin embargo, aun sin presencia del operador en campo es posible evidenciar si el número de taras o dosis aplicadas corresponde con lo recomendado. Esta observación se logra con base en el número de sitios con mayor concentración alrededor de la palma. Como indicador se tendrá el porcentaje de palmas no aplicadas con respecto al número total de palmas del recorrido de campo.

- **Calidad de la aplicación:** se evalúa el sitio de aplicación del fertilizante, este es muy importante ya que idealmente corresponde al espacio en el cual se tiene la mayor cantidad de raíces absorbentes (terciarias y cuaternarias), con presencia de residuos orgánicos que favorezcan la retención de humedad y que disminuyan procesos de escorrentía y lixiviación. Por otra parte, es deseable que el producto quede esparcido de manera apropiada ya que, en caso de quedar acumulado en un solo sitio, se favorecen los procesos de pérdida por volatilización y escorrentía (Figura 56).

  La calidad de la aplicación se evalúa en términos del porcentaje de palmas con falencias en la aplicación con respecto al número total de palmas en cada uno de los recorridos. Es recomendable anotar en qué consisten las falencias identificadas (sitio, acumulación, etc.).

Figura 56. (a) Disposición adecuada de fertilizantes aplicados; (b) disposición no adecuada.

- **Correspondencia entre lo presupuestado y lo ejecutado:** este indicador hace referencia al número de palmas presupuestadas por bulto y la cantidad de palmas efectivamente aplicadas, sin que haya sobrantes del producto. Si bien pueden existir desfaces entre lo presupuestado y lo aplicado efectivamente por palma, es deseable que este margen de error no sea superior al 3 %.
- **Disposición de empaques y residuos:** los empaques (sacos o bultos) deben ser recogidos del campo y alistados para ser reciclados o para su disposición final (Figura 57). Al terminar la jornada se verifica que su recolección en campo se haya realizado, así como la de los recipientes plásticos usados como taras. En el caso de reutilizar los empaques, previo lavado, es necesario prestar atención a la disposición de aguas residuales y la compatibilidad de esta práctica con las certificaciones sobre sostenibilidad del aceite de palma.

Figura 57. (a) Acondicionamiento de empaque de fertilizantes en la carreta que apoya la aplicación; (b) empaque plástico olvidado en campo.

Descripción y diligenciamiento del formato para la calificación del proceso de aplicación de fertilizantes en palma de aceite

A continuación, se sugiere un formato para la supervisión de la labor de fertilización (Tabla 12) en el que se contemplan los cuatro componentes y catorce variables para la calificación de la calidad de la aplicación de fertilizantes. Los cuatro componentes son:

- Alistamiento y calidad de la fuente fertilizante
- Condiciones de la aplicación

- Mantenimiento del campo y la palma
- Disposición de empaques y residuos

Cada uno de estos componentes tiene una valoración máxima de 20, 40, 30 y 10 puntos, respectivamente, para un total de 100 puntos. De igual forma, cada una de las catorce variables tienen una valoración máxima y en el caso de las valoraciones cuantitativas implican valoración del porcentaje de palmas que se encuentran por fuera de la condición deseada. Con base en lo anterior se calcula el porcentaje de palmas que efectivamente cumple con el requerimiento.

Tabla 12. Formato guía para la supervisión de la labor de fertilización en el cultivo de palma de aceite.

Análisis operativo de la fertilización- Formulario de registro de supervisión						
Parámetro	Descripción	Calificación		Porcentaje	Puntaje Máximo	Puntaje total
		Adecuado	No adecuado			
Alistamiento y calidad de la fuente						
1. Identificación del área a aplicar	Cuenta con mapa y ubicación de palmas por línea. Identificación de lote, bloque o UMA.			N.A	4	
2. Estado y elaboración de dosificadores (taras)	Las taras son apropiadas, se encuentran en buen estado, no exceden 600 gramos y se tiene instrumento adecuado de medición.			N.A	4	
3. Determinación de bultos/lote o UMA	Con base en el número de palmas y la dosificación, se calcula el número de bultos o cantidad a aplicar para cada lote o UMA.			N.A	4	
4. Distribución de bultos en lote para facilitar la aplicación	Los bultos se distribuyen de acuerdo con la cantidad de palmas por línea, buscando disminuir las distancias recorridas para abastecimiento.			N.A	3	
5. Calidad física del fertilizante	El fertilizante se encuentra en estado óptimo de empaque y consistencia. No presenta agregados o excesos de humedad que dificulten la aplicación.			N.A	5	
Condiciones de la aplicación						
6. Evidencias de la aplicación	Se observan las fuentes fertilizantes aplicadas a las palmas.				10	
7. Cantidad correcta por palma	Se aplica el número especificado de dosificaciones o taras por palma.				10	
8. Calidad de la aplicación	El fertilizante se aplica en el sitio indicado, sin aglomerados y facilitando la absorción por las raíces.				10	
9. Correspondencia entre palmas presupuestadas por bulto y palmas efectivamente aplicadas	Las palmas aplicadas corresponden a las efectivamente presupuestadas. No hay sobrantes ni faltantes.				10	

Continúa

Análisis operativo de la fertilización- Formulario de registro de supervisión						
Parámetro	Descripción	Calificación		Porcentaje	Puntaje Máximo	Puntaje total
		Adecuado	No adecuado			
Mantenimiento del campo y la palma						
10. Mantenimiento de la cobertura	Las calles de tráfico permiten desplazamiento sin dificultades y facilitan la visualización del terreno.			N.A	5	
	Las calles de no tráfico presentan cobertura que no interfiere con el desarrollo de la palma.				5	
11. Mantenimiento de platos	Los platos no presentan exceso de cobertura vegetal o biomasa que compita por nutrientes o dificulte la aplicación.				5	
12. Poda de las palmas	Las palmas se encuentran en estado óptimo de poda y sin hojas enruanadas que dificulten la aplicación.				5	
13. Condiciones físicas del suelo	Los platos presentan condición adecuada de humedad. No hay encharcamientos o sequía.				5	
	Las calles de tráfico no presentan condiciones de encharcamiento y facilitan la movilidad de personas, maquinaria y/o semovientes.				5	
Disposición de empaques y residuos						
14. Disposición de empaques y residuos	Los empaques son recogidos del campo y dispuestos para reciclaje y/o disposición final.				10	

Bibliografía

Tiemann, T.T., Donough, C.R., Lim, Y.L., Härdter, R., Norton, R., Tao, H.H., Jaramillo, R., Satyanarayana, T., Zingore, S. y Oberthür, T. (2018). Feeding the Palm: A Review of Oil Palm Nutrition. *Advances in Agronomy*, (152), pp. 149-243. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0065211318300610

Quinta parte

Foto: Jhon Jiménez.

Costos asociados a la aplicación de fertilizantes

https://doi.org/10.56866/9789588360997.05

Daniel Munévar, Elizabeth Ruiz, Mauricio Mosquera-Montoya
y María Celina Estupiñán.

VERKON
GRIV 3.0

La fertilización del cultivo de palma de aceite es un rubro que domina la estructura de costos del cultivo en todas las etapas de su desarrollo. En el caso del cultivar *E. guineensis* fertilizarlo representa el 33,8 % del costo de producción del ciclo de vida del cultivo (Figura 58), mientras que para el híbrido OxG, este equivale al 28,8 % (Figura 59).

En el cultivar *E. guineensis* la fertilización va aumentando paulatinamente conforme se aplican mayores dosis a las palmas. Asimismo, tanto la cosecha como el transporte toman mayor participación en la etapa adulta, cuando las palmas son productivas (Figura 58). En cuanto al híbrido OxG, la fertilización toma una mayor participación durante la etapa improductiva debido a que las labores de polinización y cosecha no se realizan con frecuencia, como sí ocurre a partir del sexto año de su establecimiento (Figura 59).

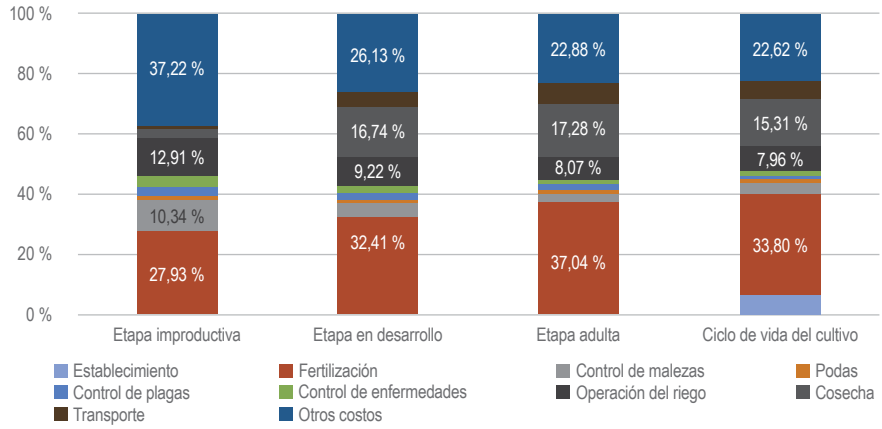


Figura 58. Estructura de costos del cultivo de *E. guineensis* en 2021.

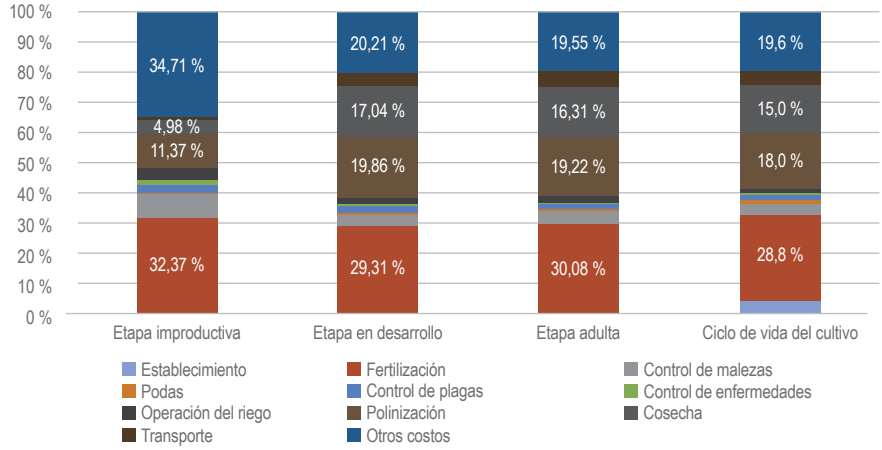


Figura 59. Estructura de costos del cultivo del híbrido OxG en 2021.

En ambos escenarios, tanto en *E. guineensis* como en el híbrido OxG, los costos de la fertilización se incrementan a medida que el cultivo se desarrolla porque necesitan mayor cantidad de fertilizantes para alcanzar el rendimiento esperado, definido por el plan de fertilización. En el caso de *E. guineensis*, el costo promedio estimado para fertilizar una hectárea de palma adulta, a nivel nacional, fue de $ 2.843.600 ha^{-1} $año^{-1}$, mientras que para el híbrido el valor fue de $ 2.508.922 ha^{-1} $año^{-1}$ (Figura 60). Estas cifras son relativas a pesar de que, en promedio, las empresas aplican una mayor dosis de fertilizante por palma en el híbrido OxG (12 kg), hay una menor cantidad de palmas por hectárea, en comparación con cultivares *E. guineensis*.

A nivel de zonas palmeras existen brechas en los costos de la fertilización. Para 2021, la Zona Central mostró valores cercanos al promedio nacional. La Zona Oriental destacó por tener alto costo de fertilización tanto en cultivares *E. guineensis* como en híbridos OxG. El Urabá antioqueño tradicionalmente ha tenido un elevado costo en este rubro, asociado a la aplicación de mayores cantidades de fertilizante por palma (Figura 60).

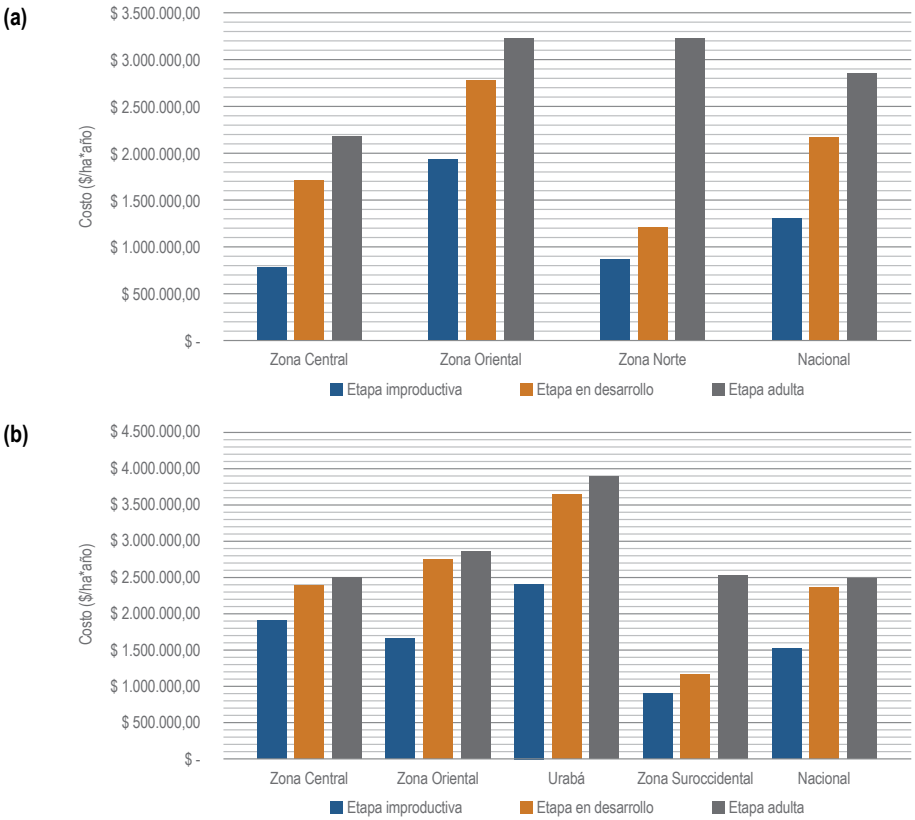


Figura 60. Costos estimados de la fertilización por zonas palmeras y por etapas del cultivo en *E. guineensis* (a) e híbrido OxG (b) durante 2021.

Estructura de costos de la fertilización

En general, la fertilización tiene dos componentes: costos directos y costos indirectos.

Los costos directos de la fertilización están representados por los fertilizantes, la mano de obra para la aplicación y las herramientas, maquinaria o animales que se emplean en este proceso. Los costos indirectos están representados por aquellos procesos de apoyo tales como el diagnóstico nutricional, el transporte de los fertilizantes o fletes, la elaboración del plan de fertilización y la supervisión de la labor.

En cuanto a los costos directos para los años 2020 y 2021 en Colombia (Figura 61), su estructura cambia conforme varían los precios relativos de cada rubro, como se detallará más adelante. Los insumos (fertilizantes químicos) dominan la estructura, por lo que el costo de la labor depende del comportamiento de sus precios. La mano de obra y las herramientas, aunque tienen una participación minoritaria, representan un costo de oportunidad muy alto, ya que una aplicación inadecuada, puede implicar un menor beneficio económico por el desperdicio de los fertilizantes.

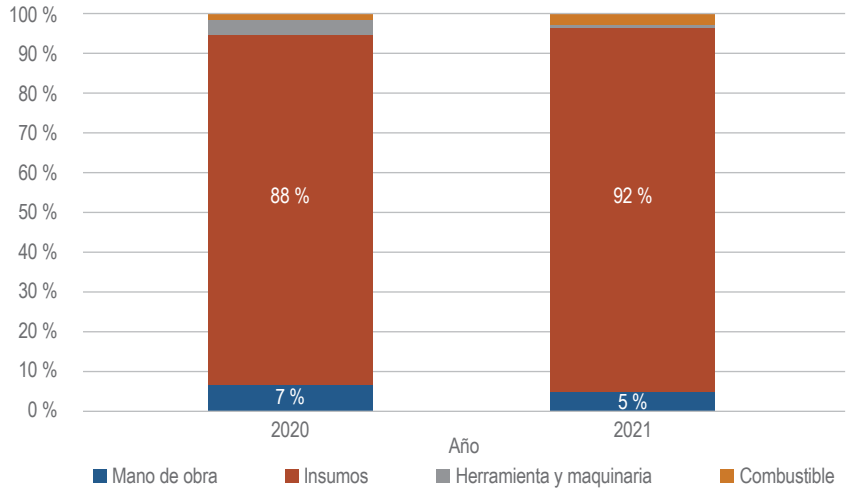


Figura 61. Estructura de costos directos de la fertilización.

El mercado de los fertilizantes

Los fertilizantes sintéticos son los principales determinantes del costo de la fertilización, por lo que el comportamiento de sus precios impacta directamente la competitividad del cultivo de la palma de aceite. En este sentido, es importante conocer de manera general cómo es el mercado de los fertilizantes en Colombia y cuáles son los factores que determinan su precio.

Existe un mercado para los fertilizantes orgánicos y otro para los químicos. En la palma de aceite es poco frecuente el uso de fertilizantes orgánicos (ácidos húmicos, lombricompost, gallinaza, etc.) dado que los mayores aportes de materia orgánica se realizan aplicando racimos vacíos (tusas) y/u hojas picadas alrededor del plato; por lo tanto, en este apartado se hará énfasis en las fuentes químicas de nutrientes.

Las principales fuentes de nutrientes pueden clasificarse en nitrogenadas, potásicas y fosfóricas, de acuerdo con el principal elemento químico que aportan, siendo la urea, el cloruro de potasio (KCl), el fosfato de diamónico (DAP) y el superfosfato triple (SPT) las fuentes más usadas a nivel mundial. China, Rusia y Canadá se destacan por ser los principales productores, mientras que el mercado colombiano se abastece principalmente de Rusia, Canadá y Estados Unidos (Tabla 13).

Tabla 13. Productores y consumidores de fertilizantes en el mundo en 2021-2022.

Fertilizante	Principales productores mundiales	Principales consumidores mundiales	Principales exportadores mundiales	Principal proveedor en Colombia
Urea	China, Rusia, Estados Unidos	India, China, Brasil	Rusia, China, Qatar	Rusia, Ucrania
KCl	Canadá, Rusia, Bielorrusia	Brasil, Estados Unidos, India	Canadá, Rusia, Alemania	Canadá, Alemania
DAP	China, Marruecos, Estados Unidos	India, China, Brasil	Estados Unidos	Estados Unidos

Fuente: Cross y Association, (2023); Yara International ASA, (2022).

Durante el periodo 2021–2022 a nivel mundial se dio un aumento del precio de los fertilizantes químicos que afectó la competitividad de los sistemas de producción agrícola (Schnitkey *et al.*, 2021; Nyondo *et al.*, 2021; USDA, 2022). Fuentes simples como la urea y el fosfato diamónico (DAP) incrementaron su precio desde 2020, alcanzando los más elevados hacia el primer semestre del 2022 (Figura 62). Colombia no fue ajena a esta situación, tanto para las fuentes simples como para las compuestas (Tabla 14). Esto llevó a que la inversión en fertilizantes disminuyera y que se buscaran otras alternativas para el manejo de la nutrición del cultivo, tales como el uso de fuentes orgánicas (FAO, 2022; Vega *et al.*, 2021). No obstante, los buenos precios del aceite de palma que dominaron en ese periodo compensaron estos incrementos en las fuentes fertilizantes, siendo una ayuda para el sostenimiento económico de las plantaciones.

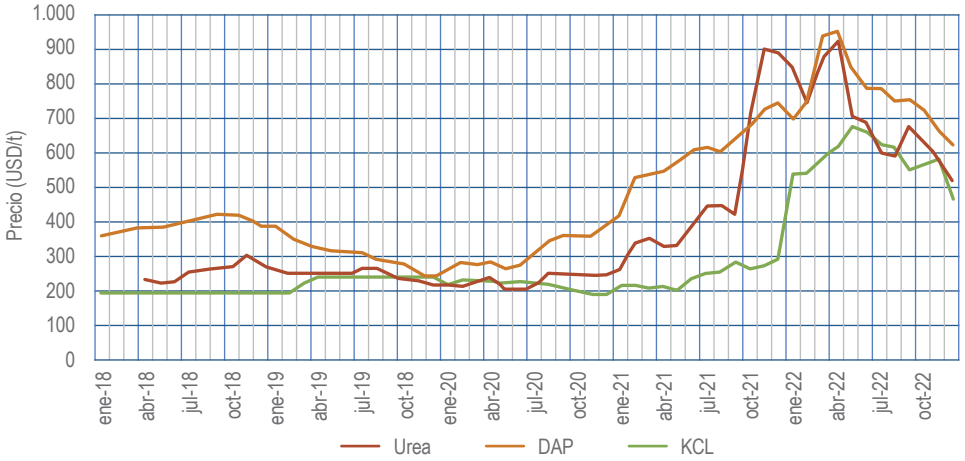


Figura 62. Precios internacionales corrientes de fuentes simples de fertilizantes.
Tomado de Index Mundi (2023) y Nasdak Data Link (2023).

Tabla 14. Variación de precios nacionales para algunas fuentes simples y compuestas.

Fertilizante	Variación año corrido (abr 2021–dic 2021)	Variación año total (abr 2021–abr 2022)
Urea	35,8 %	128,2 %
DAP	47,9 %	85,1 %
KCl	48,5 %	132,7 %
15 -15 -15	34,4 %	89,2 %
17 – 6 – 18 – 2	48,6 %	75,3 %

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2022).

Por lo anterior es conveniente comprender qué determina los precios de estos insumos, con el fin de tomar decisiones oportunamente. A continuación se describen algunos de los factores determinantes en el precio de los fertilizantes.

- **Nivel de existencias**: cuando disminuye la oferta de un bien y la demanda por el mismo se mantiene constante, su precio incrementa. El nivel de inventarios del bien en cuestión hace parte de la oferta. En consecuencia, si los inventarios disminuyen suele generarse una presión alcista en el precio (Morales y García, 2021).

- **Tipo de cambio**: en países como Colombia, importador de fertilizantes químicos, el precio interno no solo depende de la oferta y la demanda, sino que además entra en juego la tasa representativa del mercado (TRM). Como las compras se realizan

en dólares, la devaluación del peso encarece el precio en pesos del fertilizante importado (Morales y García, 2021).

- **Precio del gas natural**: es un insumo necesario para la síntesis de fertilizantes nitrogenados como la urea e indirectamente se usa como fuente de energía. Cuando su precio se incrementa (como ha ocurrido recientemente debido al conflicto entre Rusia y Ucrania), este valor es transferido a los costos de producción de los fertilizantes y, por ende, al precio de los mismos (Baffes y Chian Koh, 2023; FAO, 2022).

- **Precio del petróleo y la energía**: al ser recursos altamente demandados en la agricultura, incluida la fabricación y comercialización de fertilizantes, existe una transferencia de precios de la energía a los insumos y productos terminados de la actividad agropecuaria (Wei Su *et al.*, 2019; Crespi *et al.*, 2022).

- **Tipo de fertilizante:** dependiendo de la fuente y las características del fertilizante, su precio puede variar. Por ejemplo, los fertilizantes de última tecnología (lenta liberación, nanofertilizantes) suelen ser más caros que los tradicionales, ya sean simples o compuestos (Wang *et al.*, 2021; Rashid *et al.*, 2021), aunque en la actualidad los precios de estos dos tipos de fuentes tienen un costo similar. Asimismo, los fertilizantes simples pueden llegar a ser más caros que los compuestos (FAO, 1993). En resumen, para hacer un juicio imparcial del costo de un fertilizante se debe determinar el valor por unidad de nutriente que este aporta. Desde el punto de vista ambiental, el uso de fuentes de liberación lenta, es una de las prácticas que permiten mitigar las emisiones de carbono.

- **Políticas comerciales y subsidios:** la política comercial nacional e internacional afecta el precio de importación, los costos de transacción y/o la disponibilidad de los fertilizantes en el mercado. En el caso de Colombia, por ejemplo, el impuesto por importación de fertilizantes es del 0 % (Decreto 894, 2020; Decreto 1176, 2022). Sin embargo, deben considerarse otros elementos del costo de importación tales como seguros, documentación, almacenamiento, transporte interno, entre otros gastos de nacionalización (Salguero R., 2019).

  Un ejemplo del impacto que generan las decisiones de los gobiernos en el precio de los fertilizantes es el de las restricciones temporales que impusieron China e India a sus exportaciones de fertilizante durante el año 2021, con el fin de retener la producción y beneficiar el mercado local (Chow y Patton, 2022). De otra parte, en Asia y África es común que se otorguen subsidios al precio de los fertilizantes (Holden, 2018; Nasrin *et al*., 2018; Fearon *et al.*, 2015).

- **Control de precios:** la producción de fertilizantes está concentrada en pocas empresas a nivel global. Es decir, se trata de un oligopolio, luego es posible que se presente control de precios. La incertidumbre de los mercados y la esperanza de ganar beneficios con la postventa de los insumos tiende a favorecer el incremento de los precios de los fertilizantes (Gnutzmann y Spiewanowski, 2014; Ott, 2012).
- **Incertidumbre:** la ocurrencia de eventos no planificados o imprevistos también afecta el comportamiento de los precios a escala local, regional o global. Situaciones como la pandemia generada por el COVID-19, la crisis de los contenedores, los conflictos bélicos, los desastres naturales, entre otros, inciden en la volatilidad del precio de los fertilizantes de síntesis química.

En resumen, los precios de los fertilizantes están sujetos a un gran número de factores que les confieren volatilidad, esto es, una alta variabilidad a lo largo del tiempo. Es necesario comprender el panorama económico para prever situaciones que puedan incidir sobre los costos de los insumos y tomar medidas de manera oportuna.

Estimación de costos de fertilización

Existen diferentes maneras de hacer las estimaciones de costos, de acuerdo con el enfoque que se elija. Los costos de la fertilización contemplan costos directos e indirectos, también pueden considerarse como costos fijos, variables o mixtos (Tabla 15). En cualquier caso, el valor total de la fertilización será la suma de sus partes (Mosquera-Montoya *et al.*, 2021). En este apartado se hará una introducción a la metodología para estimar los costos de los principales rubros de la labor de fertilización.

Tabla 15. Clasificación de los rubros de costos de la fertilización.

	Costos fijos No dependen del volumen de producción	**Costos mixtos** Costos fijos que se pueden convertir en variables (p. ej.: bonificaciones)	**Costos variables** Dependen del volumen de producción
Costos directos Plenamente identificados con el proceso	Costo de capital de herramientas, maquinaria y animales	Mano de obra	• Fertilizantes • Combustible
Costos indirectos No están identificados con el proceso	• Análisis de suelos y foliares • Mantenimiento preventivo de bienes de capital • Planeación de actividades • Supervisión		Flete de transporte

Es muy importante tener en cuenta las unidades a la hora de hacer las estimaciones ya que, en el cultivo de palma de aceite, normalmente se busca obtener los costos por tonelada (t RFF o t ACP) o por hectárea (ha) (Mosquera-Montoya *et al.*, 2022; Mosquera-Montoya *et al.*, 2021).

Costo de los insumos

El costo del fertilizante se calcula teniendo en cuenta el precio pagado por cada fuente al momento de la compra, de acuerdo con su presentación, bulto o tonelada.

Adicionalmente, debe considerarse la dosis aplicada por palma, el precio por kilogramo del fertilizante y la densidad de siembra del área a fertilizar para poder estimar el costo anual por hectárea. Este procedimiento se realiza para cada fuente de fertilizante y luego se suman los costos parciales (Ecuación 9).

Este costo también se puede obtener al multiplicar el precio de cada bulto por el número de bultos que se aplicaron en cada lote o UMA de la plantación.

$$Costo\ insumos = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{kg_i}{palma \bullet año}\right) * \left(\frac{\$_i}{kg_i}\right) * \left(\frac{palmas}{hectárea}\right) \quad \textbf{(Ecuación 9)}$$

En donde:

i representa una fuente de fertilizante.

*kgi/palma*año* -> dosis de la fuente fertilizante *i* aplicada por palma en el año.

$/kg -> precio pagado por kilogramo de la fuente *i*.

palmas/hectárea -> densidad de siembra del lote o área fertilizada.

Costo de mano de obra

La estimación del costo de la mano de obra depende de la forma en que se haga el pago. Normalmente, a los trabajadores responsables de la aplicación de los fertilizantes se les paga ya sea por dosis aplicada o por palma aplicada. En ambos casos es indispensable conocer el rendimiento laboral de los colaboradores con el fin de definir las tarifas a partir del valor del jornal definido.

Se debe tener en cuenta el número de fracciones que se realizan en el año, debido a que representan el número de visitas que se hacen a cada palma y con el que debe pagarse (Ecuación 10).

$$Costo\ mano\ de\ obra = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{entradas}{año}\right) * \left(\frac{\$_i}{palma_i}\right) * \left(\frac{palmas}{hectárea}\right) \quad \textbf{(Ecuación 10)}$$

En donde:

i representa cada fuente de fertilizante aplicado.

entradas/año -> número de ingresos que se hacen en el año para aplicar una determinada fuente fertilizante *i*.

$/palma -> tarifa que se paga por cada palma aplicada con determinada fuente fertilizante *i*.

palmas/hectárea -> densidad de siembra del lote o área fertilizada.

Costo de bienes de capital (herramientas, maquinaria y semovientes)

La compra de un bien de capital (por ejemplo, tractor, motobomba, guadaña, zorra, zorrillo) se considera un costo fijo porque, independientemente del volumen de producción, o cómo se distribuya el tiempo de trabajo del tractor en el cultivo de palma, el precio pagado por el mismo no cambia.

El costo fijo no incluye gastos de combustible o de mantenimiento. La estimación del costo involucra cinco componentes: el precio pagado por la máquina, el valor de salvamento, la vida útil, la participación proporcional del tiempo de uso del activo y el área cubierta (Ecuación 11). El valor de salvamento corresponde al precio de venta del bien cuando ha finalizado su vida útil. Este valor no se considera en el caso de las herramientas.

La participación del costo hace referencia a qué proporción del tiempo de uso del activo corresponde efectivamente a una labor específica, como en este caso, la fertilización. Un tractor, por ejemplo, puede ser utilizado para hacer labores de cosecha y fertilización, por lo que debe tenerse en cuenta esta proporción para cargar justamente el costo fijo. Si alguna herramienta o equipo están dedicadas por completo a la labor de fertilización, como por ejemplo las voleadoras, la proporción de participación equivale a 1, es decir, 100 % del tiempo.

$$Costo\ bienes\ de\ capital = \left[\frac{(Valor\ compra - valor\ salvamento)}{Vida\ útil} * \left(Participación\right)\right] / Área \quad \textbf{(Ecuación 11)}$$

En donde:

Participación --> proporción de tiempo de uso del bien en labores de fertilización, respecto a su tiempo total de trabajo.

Área --> extensión en hectáreas cubiertas por el bien.

Costo de transporte del fertilizante

El transporte del fertilizante desde el punto de venta al centro de acopio o bodega es una actividad que debe ejecutarse de manera coordinada con las labores del cultivo. Se debe contar con personal para el descargue y espacio suficiente, tanto para la recepción como para su almacenamiento, en donde lo recomendable es que los fertilizantes no queden expuestos a la lluvia o al sol.

El estado de las vías, la distancia desde los puntos de distribución hasta los puntos de acopio y la capacidad de los vehículos que prestan el servicio de transporte son elementos que determinan el costo del transporte por tonelada de fertilizante, que se calcula multiplicando el precio de tonelada transportada por el número de toneladas compradas.

Costo de mantenimiento de maquinaria y equipos

Es necesario llevar un registro con todas las compras de repuestos y de servicios de mantenimiento a las máquinas y equipos empleados en una labor en particular (p. ej., fertilización). Igualmente, registrar los costos de mantenimiento de los animales, como la alimentación y los servicios veterinarios.

El costo de mantenimiento tiene dos componentes: un costo de mantenimiento preventivo y uno correctivo. El costo de mantenimiento preventivo depende del plan de mantenimiento que se haya definido para los activos, o bien, de las recomendaciones del fabricante, que se basan en el cumplimiento de unas determinadas horas de trabajo. Por el contrario, el mantenimiento correctivo hace referencia al costo de atender imprevistos y daños a los activos.

En algunos casos es posible estimar un costo de mantenimiento a partir del uso de unos coeficientes especiales para maquinaria agrícola (Garbers y Chen, 2013).

Costo de planeación de la labor de fertilización

El costo de planeación es un costo indirecto de la labor de fertilización en el que se incurre para poder saber cuándo, cómo y con qué fertilizar. Por lo tanto, incluye el costo de elaboración del plan de fertilización y el costo administrativo del manejo de la nutrición del cultivo.

El costo del plan de fertilización incluye a los análisis de suelos y foliares, así como la mano de obra necesaria para la toma y preparación de muestras (Ecuación 12). Para obtener el costo de planeación total debe considerarse la proporción de tiempo

que el responsable del proceso destina a la planificación de la labor y, finalmente, dividirse entre el área cubierta (Ecuación 13).

$$CPF = \left(\frac{\text{análisis}}{año}\right) * \left\{\left(\frac{\$}{análisis}\right) + \left[\left(\frac{JL}{análisis}\right) * \left(\frac{\$}{JL}\right)\right]\right\} \quad \textbf{(Ecuación 12)}$$

En donde:

análisis/año --> Cantidad de análisis foliares y/o de suelos enviados a laboratorio al año.

JL/análisis --> Tiempo, equivalente en número de jornadas laborales dedicado para la planificación de la fertilización.

$/análisis --> costo promedio de cada análisis de suelos o foliar.

$/JL --> costo de la jornada laboral.

$$Costo\ planeación = \frac{CPF + [Costo\ administrativo * Participación]}{Área} \quad \textbf{(Ecuación 13)}$$

En donde:

CPF --> costo anual del plan de fertilización, estimado anteriormente.

Costo administrativo --> valor promedio anual de la administración del cultivo.

Participación --> porcentaje de tiempo o dedicación de las labores administrativas en temas relacionados con la fertilización.

Área --> es la extensión en hectáreas del lote o de la plantación.

Costo de supervisión de la labor de fertilización

La supervisión es un elemento clave para garantizar la calidad y la efectividad de la labor de fertilización. Para la estimación de su costo, debe considerarse el número de supervisores y auxiliares que atienden la labor al igual que la proporción de la jornada laboral destinada a la atención exclusiva de la supervisión de la fertilización (Ecuación 14). Se tendrá en cuenta la unidad de tiempo para hacer la estimación del costo, dado que, el valor del coeficiente se ajusta para llevar a términos de pesos por hectárea anuales. Por ejemplo, si la unidad de tiempo es el día, el coeficiente debe ser el número de días al año en los que se realiza la supervisión de la fertilización.

$$Costo\ supervisión = \left(\frac{\#\ supervisores}{Área}\right) * \left(\frac{\$}{tiempo}\right) * Proporción * C. \quad \textbf{(Ecuación 14)}$$

En donde:

 # supervisores/Área --> Cantidad de personal de supervisión (incluyendo auxiliares) en determinada unidad de área del lote o plantación.

$/tiempo --> salario promedio de los supervisores encargados de la supervisión en una determinada unidad de tiempo (día, mes o año).

Proporción --> relación o cociente del tiempo dedicado a la supervisión de la fertilización con respecto al tiempo total de la jornada laboral del supervisor.

C --> factor de conversión o coeficiente para convertir unidades de tiempo en términos de año. Por ejemplo, si la unidad de tiempo del salario es el mes, el coeficiente será el número de meses en que se hace la supervisión de la fertilización.

Bibliografía

Baffes, J. y Chiang Koh, W. (2023). Los precios de los fertilizantes disminuyen, pero persisten los problemas de asequibilidad y disponibilidad. Blog de Datos del Banco Mundial. https://blogs.worldbank.org/es/opendata/los-precios-de-los-fertilizantes-disminuyen-pero-persisten-los-problemas-de-asequibilidad

Chow, E. y Patton, D. (2022). China issues phosphate quotas to rein in fertiliser exports - analysts. Reuters. Commodities News. https://www.reuters.com/article/china-fertilizers-quotas-idUSKBN2OQ0KY

Crespi, J.M., Hart, C., Pudenz, C.C., Schulz, L.L., Wongpiyabovorn, O., Zhang, W. y Student, P. (2022). *An Examination of Recent Fertilizer Price Changes*. Center for Agricultural and Rural Development. https://www.card.iastate.edu/products/publications/pdf/22sr117.pdf

Cross, L. y Association, I.F. (2023). *Global fertilizer market drivers*. USDA Agricultural Outlook Forum. https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/2023aof-Cross.pdf

Decreto 894 de 2020 [Ministerio de Comercio, Industria y Turismo]. Por el cual se modifica parcialmente el arancel de aduanas, Decreto 272 de 2018 y se deroga el Decreto 1027 de 2018. 26 de junio de 2020.

Decreto 1176 de 2022 [Ministerio de Comercio, Industria y Turismo]. Por el cual se modifica parcialmente el arancel de aduanas para la importación de fertilizantes y plaguicidas. 11 de julio de 2022.

FAO. (1993). *Los fertilizantes y su uso*. https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf

FAO. (2022). El mercado mundial de fertilizantes: balance de la situación de un mercado en dificultades. FAO. https://www.fao.org/3/ni280es/ni280es.pdf

Fearon, J., Adraki, P.K. y Boateng, V.F. (2015). Fertilizer subsidy programme in Ghana: Evidence of performance after six years of implementation. *Journal of Biology, Agriculture and Heathcare*, (5)21, 100-107. https://www.researchgate.net/publication/308339131_Fertilizer_Subsidy_Programme_in_Ghana_Evidence_of_Performance_after_Six_Years_of_Implementation

Garbers, R. y Chen, Y.E. (2013). *Costos Operativos de Maquinaria Agrícola. Síntesis básica para su cálculo*. Agromecanizar. https://media-exp1.licdn.com/dms/document/C4D1FAQF-iwC6MbtAHg/feedshare-document-pdf-analyzed/0/1639871963585?e=2147483647&v=beta&t=xwsbqtYpSOzj4-CA-B_98fRNdbwulhHR0V71BLUMnvc

Gnutzmann, H. y Spiewanowski, P. (2014). Did the Fertilizer Cartel Cause the Food Crisis? *SSRN Electronic Journal,* October, 28-40. https://ssrn.com/abstract=2534753

Holden, S.T. (2018). *The Economics of Fertilizer Subsidies*. Centre for Land Tenure Studies Working Paper 9/18. https://www.econstor.eu/bitstream/10419/242770/1/clts-wp2018-09.pdf

Index Mundi. (2023). Commodity Prices. https://www.indexmundi.com/commodities/

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). *Boletín de precios de insumos agropecuarios # 2* de 2022.

Morales, P. y García, N. (2021). *Precio de los fertilizantes y análisis de factores que explican su incremento*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32638/2/Precio_de_los_fertilizantes_y_ana__lisis_de_factores_que_explican_su_incremento_Final.pdf

Mosquera-Montoya, M., Ruiz-Álvarez, E., Munévar-Martínez, D.E., Estupiñán, M., Guerrero, Á.E. y Cala, S. (2022). Estudio de costos de producción 2021 para empresas *benchmark* 2021. *Palmas*, (43)4, 26-39. https://doi.org/10.56866/01212923.13911

Mosquera-Montoya, M., Ruiz-Álvarez, E., Munévar-Martínez, D.E., Estupiñán, M., Guerrero, Á.E. y Cala, S y Sierra, S. (2021). Costos de produccion para empresas que adoptan mejores prácticas en el año 2020. *Boletines técnicos*, (42), 1–66. https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/view/13710

Nasdaq Data Link. (2023). US Gulf NOLA DAP Export Spot Price per MT. IMF Cross Country Macroeconomic Statistics. https://data.nasdaq.com/data/ODA/PDAP_USD

Nasrin, M., Bauer, S. y Arman, M. (2018). Assessing the impact of fertilizer subsidy on farming efficiency: A case of Bangladeshi farmers. *Open Agriculture* (3)1, 567-577. https://doi.org/10.1515/opag-2018-0060

Nyondo, C.J., Nyirenda, Z.B., Burke, W.J. y Muyanga, M. (2021). The Inorganic Fertilizer Price Surge in 2021: Key Drivers and Policy Options. Policy Brief No. 11. https://ageconsearch.umn.edu/record/329241/

Ott, H. (2012). Fertilizer markets and its interplay with commodity and food prices. JRC Scientific and Policy Reports, no. JRC73043. DOI 10.2791/82136.

Rashid, M., Hussain, Q., Khan, K.S., Alwabel, M.I., Hayat, R., Akmal, M., Ijaz, S.S., Alvi, S. y Obaid-ur-rehman. (2021). Carbon-Based Slow-Release Fertilizers for Efficient Nutrient Management: Synthesis, Applications, and Future Research Needs. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, (21)2, 1144-1169. DOI 10.1007/s42729-021-00429-9.

Salguero, R. (2019). *Guía Práctica: costeo de una exportacion e importacion*. Cámara de Comercio de Bogotá. http://hdl.handle.net/11520/14391

Schnitkey, G., Swanson, K., Paulson, N. y Zulauf, C. (2021). Weekly Farm Economics: Fertilizer Price Increases for 2021 Production. *Farmdoc daily*, (11)64, 1-4.

USDA. (2022). *Impacts and Repercussions of Price Increases on the Global Fertilizer*. USDA. https://www.fas.usda.gov/sites/default/files/2022-09/IATR%20Fertlizer%20Final.pdf

Vega, A., Cervantes, A., Prado, E. y Luna, Á. (2021). Análisis del mercado para la comercialización de abono orgánico a partir de heces fecales en el cantón Machala. *Dominio de las Ciencias*, (7)5, 1-21.

Wang, W., Yang, S., Zhang, A. y Yang, Z. (2021). Synthesis of a slow-release fertilizer composite derived from waste straw that improves water retention and agricultural yield. *Science of the Total Environment*, (768), 144-978. DOI 10.1016/j.scitotenv.2021.144978

Wei Su, C., Wang, X.Q., Tao, R. y Oana-ramona, L. (2019). Do oil prices drive agricultural commodity prices? Further evidence in a global bio-energy context. *Energy*, (172), 691-701. DOI 10.1016/j.energy.2019.02.028.

YARA (2022). *Fertilizer Industry Handbook 2022*. YARA. https://www.yara.com/siteassets/investors/057-reports-and-presentations/other/2022/fertilizer-industry-handbook-2022-with-notes.pdf/

Esta publicación es propiedad del Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, por tanto, ninguna parte del material ni su contenido, ni ninguna copia del mismo puede ser alterada en forma alguna, transmitida, copiada o distribuida a terceros sin el consentimiento expreso de Cenipalma. Al realizar la presente publicación, Cenipalma ha confiado en la información proveniente de fuentes públicas o fuentes debidamente publicadas. Contiene recomendaciones o sugerencias que profesionalmente resultan adecuadas e idóneas con base en el estado actual de la técnica, los estudios científicos, así como las investigaciones propias adelantadas. A menos que esté expresamente indicado, no se ha utilizado en esta publicación información sujeta a confidencialidad ni información privilegiada o aquella que pueda significar incumplimiento a la legislación sobre derechos de autor. La información contenida en esta publicación es de carácter estrictamente referencial y así debe ser tomada y está ajustada a las normas nacionales de competencia, Código de Ética y Buen Gobierno de la Federación, respetando en todo momento la libre participación de las empresas en el mercado, el bienestar de los consumidores y la eficiencia económica.

Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma
Calle 98 # 70-91. Piso 14
PBX: (57+601) 313 8600
www.cenipalma.org