



Efecto del cultivo de palma de aceite sobre las propiedades físicas del suelo y su relación con la producción y la pudrición de cogollo

Effect of the oil palm plantations on the physical properties of the soil and his relation with the production and the bud rot disease

Gelber Norberto Gutiérrez Palacio, MSc.

Universidad Nacional de Colombia

Bogotá, Colombia

ggutierrezp@ucentral.edu.co

(Recibido el 07-05-2016, Aprobado el 02-08-2016, Publicado el 17-01-2017)

Estilo de Citación de Artículo:

G. Gutierrez, "Efecto del cultivo de palma de aceite sobre las propiedades físicas del suelo y su relación con la producción y la pudrición de cogollo", Lámpsakos, no. 17, pp 20-28, 2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.2390>

Resumen

La investigación tuvo como objetivo cuantificar la afectación física que se presenta en los suelos dedicados al cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis*), para lo cual se llevó a cabo una campaña de mediciones, observaciones y muestreos en la plantación Guaicaramo Ltda., ubicada en el municipio de Barranca de Upía, departamento del Meta, Colombia, sobre un área cultivada de aproximadamente 1890 hectáreas.

El análisis cualitativo y cuantitativo de las propiedades físicas de los suelos en las zonas características del cultivo (calle, plato y palera) sirvió como base para la determinación de su estado físico y para establecer las relaciones que se pueden presentar entre estas propiedades, la productividad del cultivo y la enfermedad conocida como pudrición de cogollo (PC). Los resultados obtenidos permitieron identificar el desarrollo de fenómenos de compactación en las distintas zonas del cultivo, los cuales determinaron como consecuencia la reducción de la porosidad, de la capacidad de intercambio gaseoso y de la capacidad de infiltración del suelo; todos ellos, factores determinantes de las condiciones observadas de drenaje inapropiado, excesos de agua, encharcamiento de lotes y en algunos casos de escorrentía superficial excesiva; condiciones que restringen el aprovechamiento eficiente de los nutrientes por parte de las plantas. También se pudo observar la relación existente entre la compactación de los suelos y la PC, donde el suelo actúa como un agente que predispone la planta a contraer la enfermedad y no como un agente causante de la misma.

Palabras clave: Labores culturales, compactación, *Elaeis guineensis*, *Phytophthora palmivora*.

Abstract

The research was to objective quantify physical affectation that occurs in soils for the cultivation of oil palm (*Elaeis guineensis*), for which it carried out a comprehensive campaign of measurements, observations and sampling in the plantation Guaicaramo Ltda., located in the municipality of Barranca de Upía, department of Meta, Colombia, on a cultivated area of approximately 1890 hectares. The qualitative and quantitative analysis of the physical properties of the soils in the zones typical of the crop (street, plate, and zone sticks) served as the basis for the determination of their physical condition and to establish that can be present between these properties, the productivity of the crop and the disease known as bud rot (BRD). The obtained results allowed to identify the development of compaction phenomena in different zones of the crop, which determined as a consequence the reduction of the porosity, the reduction of the capacity of gaseous exchange and the reduction of the capacity of infiltration of the soil; all of them, determinant factors of the conditions observed of inappropriate drainage, water excesses, flooding of lots and in some cases of excessive surface runoff; conditions that restrict the efficient utilization of nutrients by plants. Also it was possible to observe the existing relation between the compaction of the soils and the BRD, where the soil acts as an agent who predisposes the plant to contract the disease and not as a causative agent of the same one.

Key words: Cultural practices, compaction, *Elaeis guineensis*, *Phytophthora palmivora*.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Oil World [1], Colombia es el país líder en la producción de aceite de palma en América participando con cerca del 2% de la producción mundial; la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma, reportó para el año 2015, 465.985 hectáreas sembradas en 125 municipios y 20 departamentos. La pudrición de cogollo (*Phytophthora palmivora*) o PC, como comúnmente se le conoce, es la enfermedad más devastadora de cultivos de palma de aceite en Centroamérica y Suramérica, se caracteriza por el amarillamiento de las hojas jóvenes y la pudrición de la flecha [2]. Solo en Colombia, se estima que ésta enfermedad ha afectado cerca de 72.587 hectáreas en los municipios de Tumaco (Nariño), Puerto Wilches (Santander) y sur de Bolívar; las cuales han tenido que ser sometidas progresivamente a procesos de erradicación y renovación [3].

La vulnerabilidad del suelo a una amenaza dada se determina a partir de las características inherentes del suelo y del sitio, así como de los factores climáticos que influyen en las características del suelo, mientras que la estimación de la exposición se basa en una evaluación de las tensiones causadas por la gestión del suelo y el clima [4]. La compactación es una forma de degradación física del suelo que se puede propagar a través de todo su perfil y que se manifiesta en el incremento de su densidad aparente y en la reducción de la porosidad como resultado de la aplicación de cargas [5], además se constituye como una consecuencia degenerativa del suelo, producto de su vulnerabilidad y exposición.

La persistencia de la compactación se considera particularmente grave y se le asocian una serie de efectos adversos tales como la reducción en el rendimiento de los cultivos y la productividad del suelo [6]; el incremento en los costos de gestión [7]; el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la mala aireación del suelo [8], [9]; la mayor vulnerabilidad de los cultivos a las enfermedades [10], [11], y la disminución de la infiltración del agua en el suelo, lo que incrementa la escorrentía y el riesgo de erosión [12]-[14]. La intensificación de la producción y la creciente tendencia a utilizar maquinaria pesada, son factores que ha determinado que el tráfico de tractores y de equipos autopropulsados sea uno de los principales causantes de la compactación en explotaciones mecanizadas modernas; siendo mayor su efecto en cuanto más suelto y húmedo se encuentre el terreno [14]-[16]. Según Bowen [17], el riesgo de compactación es mayor en la medida en que la carga sobre la llanta, el tiro, la presión de inflado, el

número de pases y el contenido de humedad se incrementan; de igual manera, la compactación también se puede presentar por la acción del ganado y su magnitud depende de la "carga ganadera"; desarrollándose en la medida que los esfuerzos aplicados por la maquinaria o el ganado excede la estabilidad mecánica del suelo [18], [19].

Tanner & Mamaril (1959), citados por Chancellor [20], identificaron que la densidad aparente se incrementó de 1,22 a 1,43 g/cm³ a causa del pisoteo del ganado, presentándose una disminución de la porosidad de 17,3 a 7,2%, en tanto que la resistencia a la penetración aumento de 0,32 a 1,97 MPa; por su parte Greenwood & McKenzie (2001) encontraron que la compactación inducida por el pisoteo de animales puede limitarse a los primeros 20 cm del perfil del suelo en función del peso de los animales y el contenido de humedad, mientras que las tensiones inducidas por la maquinaria agrícola pesada se puede extender mucho más profundamente y causar la compactación del subsuelo. Por otro lado, la impedancia mecánica en suelos compactos dificulta la penetración de las raíces, constituyéndose ésta como la principal limitación de la elongación radicular [21]; se ha encontrado una estrecha relación entre el índice de cono (I.C) a una determinada profundidad, definido éste como el valor medio de la resistencia a la penetración dividida por la superficie de la base del cono del instrumentos de medida [22], y el crecimiento radicular; estudios realizados por diferentes investigadores coinciden en establecer la frontera de desarrollo de las raíces entre los 3,0 y 3,5 MPa del I.C [15]; Busscher [23] reporta un valor de 3,0 MPa mientras que Threadgill [24] encontró que 2,0 MPa es el límite que empieza a influir en el rendimiento de los cultivos; Hakanson [25] establece un rango de 2,0 a 5,0 MPa; de la misma manera Rowse & Goodman [26] definen 3,0 MPa como el valor mínimo de resistencia del suelo que indica un estado severo de compactación.

El tráfico intensivo de maquinaria autopropulsada, búfalos y zorrillos de carga en el cultivo de palma de aceite, obedece a labores rutinarias de cosecha, fumigación, fertilización y control sanitario; por lo cual la compactación se constituye como un factor determinante de daño físico de los suelos que provoca potenciales desbalances en los procesos nutricionales de las plantas y condiciones de microclima que afecta su crecimiento, disminuyen la productividad e incrementan la vulnerabilidad al ataque de enfermedades; por lo anterior, se presentan a continuación los resultados de un estudio de investigación realizado sobre un cultivo de 1890 hectáreas con afectación de PC establecido en el departamento del Meta, Colombia; a través del

cual se establece la relación existente entre las condiciones del suelo, más exactamente de su compactación y las propiedades físicas, hidráulicas y mecánicas asociadas; con la predisposición de las plantas a contraer la enfermedad y su incidencia en la productividad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización, selección y ubicación de lotes. El estudio se llevó a cabo en jurisdicción del municipio de Barranca de Upía, departamento del Meta, Colombia sobre un área de 1890 hectáreas a 250 msnm. El área de estudio se distribuye en 94 lotes que, a su vez, se agrupan en siete programas de siembra de acuerdo a la época en que fueron establecidos los cultivos. Teniendo en cuenta estos aspectos y considerando los niveles de incidencia de PC en los diferentes lotes, se realizó la distribución de los puntos de muestreo en 42 lotes tomando un punto cada 45 hectáreas, de manera tal que se contemplara toda el área cultivada, todos los programas de siembra y los diferentes niveles de incidencia de PC, Fig. 1. De igual manera los programas de siembra, las edades del cultivo y los lotes considerados en el desarrollo de la investigación se presentan en la Tabla 1.

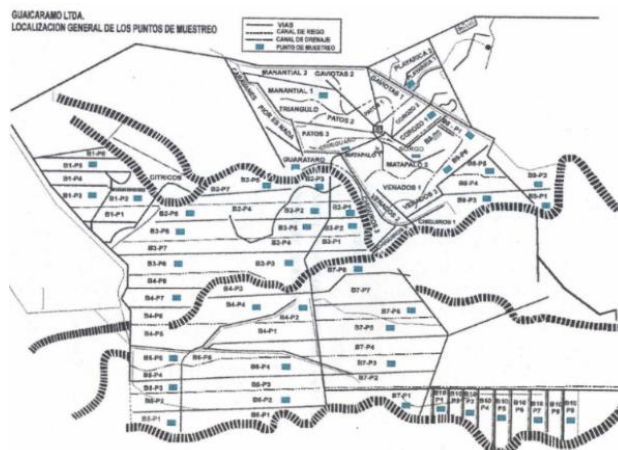


Fig.1. Localización general de lotes para muestreo

TABLA 1
PROGRAMAS DE SIEMBRA, EDADES DE CULTIVO Y LOTES

Programa de siembra	Edad del cultivo (años)	Lotes
I	15 - 17	Playarica 1, Manantial 1, Corozo 1, Chiriguaro, Sorgo, Guarataro
II	10	B9-P1, B9-P2, B9-P3, B9-P4, B9-P5, B9-P6, B8-P1
III	9	B1-P2, B2-P1, B2-P2, B2-P3, B2-P4, B2-P5, B2-P6, B3-P2, B3-P3, B3-P6, B3-P8,
IV	7	B4-P2, B4-P4, B4-P7, B5-P1, B5-P3, B5-P5, B6-P2, B6-P4
V	8	B7-P1, B7-P3, B7-P5, B7-P6, B7-P8
VI	3	B1-P3, B1-P5, B10-P1, B10-P3, B10-P5, B10-P7, B10-P9

2.1 Localización de los puntos de muestreo

Los ensayos y la toma de muestras se realizaron en las zonas características del cultivo como son la calle de cosecha, el plato y la palera o encalladura, Fig. 2, aproximadamente en el centroide de cada uno de los 42 lotes seleccionados.



Fig. 2 Localización de puntos de muestreo

2.2 Determinación de las propiedades físicas

Las propiedades físicas e hidráulicas determinadas así como los métodos utilizados fueron:

- Densidad aparente - Dap (cilindro Umland).
- Densidad real - Dr (picnómetro).
- Porosidad - η (relación de Dap y Dr).
- Contenido de humedad gravimétrica- θ_g (método gravimétrico).
- Textura (hidrómetro de Bouyoucos y triángulo textural).
- Velocidad de infiltración - I (infiltrómetro de doble anillo).
- Retención de humedad (recipiente de tensión hídrica y membrana a presión).
- Índice de cono - I.C (Penetrómetro de cono).

2.3 Determinación de niveles de incidencia de PC

El grado de afectación del cultivo por incidencia de PC se determinó para cada uno de los lotes a partir de la relación existente entre el número de palmas enfermas y el número total de palmas sembradas de acuerdo a los niveles de incidencia bajo, medio, alto y muy alto para los siguientes porcentajes de palmas enfermas respectivamente: 0 a 10%, 10% a 20%, 20% a 40% y mayor al 40%.

2.4 Análisis estadístico

Para la evaluación de las condiciones actuales de los suelos por programas de siembra, los valores obtenidos de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas fueron sometidos a un análisis estadístico, mediante el cual se calcularon medidas descriptivas tales como promedios, porcentajes, coeficientes de variación, desviaciones y errores estándar, mediante la utilización del paquete de análisis estadístico SAS (statistical analysis system).

TABLA 2
MAGNITUD DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS

Programa de siembra	Ubicación	D _{ap} (g/cm ³)		D _r (g/cm ³)		η (%)		θ _g (%)		CC (%)	PMP (%)	θ _{Aprov} (%)
		0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60			
		MAGNITUD DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS										
I	Calle	1,62	1,65	2,5	2,52	34,87	34,28	19,83	18,33	18,28	10,96	7,32
	Plato	1,62	1,61	2,45	2,51	33,69	35,83	20,33	19,35	18,28	10,96	7,32
	Palera	1,60	1,61	2,42	2,50	33,71	35,8	20,99	20,18	18,28	10,96	7,32
II	Calle	1,67	1,70	2,49	2,48	33,42	31,39	17,21	19,74	15,77	9,57	6,20
	Plato	1,62	1,64	2,48	2,56	34,82	36,05	17,63	16,9	15,77	9,57	6,20
	Palera	1,63	1,69	2,42	2,52	32,48	32,93	18,77	18,00	15,77	9,57	6,20
III	Calle	1,60	1,63	2,44	2,51	34,64	34,95	19,30	19,24	24,72	14,44	10,28
	Plato	1,58	1,65	2,45	2,46	35,36	32,84	18,21	17,08	24,72	14,44	10,28
	Palera	1,57	1,62	2,44	2,5	35,75	35,16	20,37	19,98	44,97	34,69	10,28
IV	Calle	1,59	1,65	2,5	2,56	36,37	35,64	20,31	19,24	25,63	15,00	10,63
	Plato	1,62	1,64	2,54	2,56	90,14	36,07	19,08	17,82	25,63	15,00	10,63
	Palera	1,56	1,6	2,52	2,55	37,97	37,15	19,79	20,12	25,63	15,00	10,63
V	Calle	1,57	1,62	2,45	2,53	35,93	36,04	23,45	21,01	23,53	13,79	9,74
	Plato	1,64	1,70	2,47	2,52	33,58	32,49	19,03	17,86	23,53	13,79	9,74
	Palera	1,55	36,08	2,45	2,51	36,75	35,26	22,57	19,52	23,53	13,79	9,74
VI	Calle	1,47	1,59	2,46	2,53	40,57	37,16	24,35	19,08	25,25	14,73	10,52
	Plato	1,58	1,66	2,5	2,52	36,79	34,07	19,75	16,18	25,25	14,73	10,52
	Palera	1,45	1,57	2,48	2,53	41,61	38,13	23,46	20,24	25,25	14,73	10,52

3.1 Densidad aparente

Para casi la totalidad de los puntos de muestreo pertenecientes a los diferentes programas de siembra se conserva como regla general que la densidad aparente es inferior en los primeros 30 cm de profundidad, lo cual indica que hay un empaquetamiento más denso de las partículas de 30 a 60 cm. En general los suelos con nivel de incidencia baja de PC presentan la menor D_{ap} (1,59 g/cm³), seguida por los de nivel de incidencia media (1,61 g/cm³) y aquellos con nivel de incidencia alta a muy alta que presenta una D_{ap} media similar de (1,64 g/cm³); observándose que el incremento en la D_{ap} tanto en la primera como en la segunda profundidad va asociado con un incremento en el nivel de incidencia de la enfermedad. En general se puede afirmar que los suelos dedicados al cultivo de la palma de aceite en la plantación de profundidad, presentan densidades aparentes del orden de 1,59 – 1,61 - 1,57 g/cm³ y 1,64 – 1,65 – 1,62 g/cm³ para las zonas de calle, plato y palera a las profundidades 0-30 y 30-60 cm respectivamente; a ambas profundidades los valores de densidad aparente fueron superiores en la zona de calle y plato e inferiores en la zona de palera.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presentan los resultados promedio obtenidos de las propiedades físicas de los suelos en las zonas de calle de cosecha, plato y palera para los programas de siembra establecidos en la totalidad del cultivo.

De igual manera en la Tabla 3 se presenta los resultados obtenidos entre los niveles de incidencia de PC y las propiedades físicas promedio de los suelos para las zonas de calle, plato y palera.

TABLA 3
PROPIEDADES FÍSICAS PROMEDIO VS. NIVELES DE INCIDENCIA DE PC

Propiedad física	Ubicación	Profundidad (cm)	Nivel de incidencia de PC			
			Bajo	Medio	Alto	Muy alto
D _{ap} (g/cm ³)	Calle	0 - 30	1,54	1,58	1,63	1,64
		30 - 60	1,61	1,63	1,66	1,67
	Plato	0 - 30	1,62	1,58	1,62	1,64
		30 - 60	1,64	1,66	1,68	1,67
	Palera	0 - 30	1,54	1,58	1,59	1,59
		30 - 60	1,58	1,63	1,64	1,64
D _r (g/cm ³)	Calle	0 - 30	2,44	2,49	2,49	2,46
		30 - 60	2,51	2,59	2,52	2,50
	Plato	0 - 30	2,48	2,52	2,50	2,44
		30 - 60	2,49	2,53	2,55	2,49
	Palera	0 - 30	2,45	2,50	2,48	2,41
		30 - 60	2,51	2,54	2,52	2,51
η (%)	Calle	0 - 30	38,46	37,16	34,82	33,52
		30 - 60	35,83	36,87	34,11	33,25
	Plato	0 - 30	34,78	37,79	35,16	32,70
		30 - 60	34,17	34,44	34,22	32,48
	Palera	0 - 30	37,10	37,35	35,92	33,71
		30 - 60	37,25	35,81	34,97	34,78
θ _g (%)	Calle	0 - 30	23,21	19,33	19,03	22,91
		30 - 60	19,36	18,79	18,42	21,93
	Plato	0 - 30	18,32	19,04	18,83	22,16
		30 - 60	15,98	17,96	17,30	22,20
	Palera	0 - 30	21,66	20,01	20,31	24,36
		30 - 60	20,28	19,56	19,11	21,91

3.2 Densidad real

La densidad real de los suelos a la profundidad 0–30 cm fue inferior en la zona de palera para la mayoría de los lotes muestreados, lo cual es debido a que los aportes de materia orgánica y su descomposición a nivel superficial incrementa el contenido orgánico que hace parte de los suelos disminuyendo la densidad real de los mismos.

Las mayores diferencias entre las densidades reales de las zonas de calle y palera se presentan en los suelos de los programas de siembra I y II, los cuales son los más antiguos y por lo tanto los que mayores aportes de materia orgánica han recibido en la zona de palera; los demás programas de siembra presentan diferencias menos significativas entre las dos zonas mencionadas.

A La misma profundidad (0 – 30 cm) se notan valores superiores de densidad real en la zona de plato, especialmente de los programas de siembra III, IV, V y VI debido esto básicamente a que el aporte de fertilizantes y productos químicos densos (líquidos o granulados) se hace en esta zona, provocando un incremento en la misma.

La densidad real de los suelos a la segunda profundidad (30–60cm) es superior a la reportada en los primeros 30 cm, lo cual indica que los suelos a esta profundidad presentan altos contenidos minerales y bajo contenido orgánico.

Para las distintas clases texturales de los suelos es notable que el aporte de materia orgánica ha repercutido en la disminución de la densidad real, especialmente en la zona de palera, ya que se encontraron densidades reales inferiores a las esperadas para cada clase textural de acuerdo a valores reportados por varios investigadores. En general los suelos dedicados al cultivo de la palma de aceite en la plantación presentan densidades reales del orden de 2,47 y 2,52 g/cm³ para las profundidades de 0-30 y 30-60 cm respectivamente.

3.3 Porosidad

Para la mayor parte de los puntos de muestreo los valores de porosidad a las profundidades 0-30 y 30-60 cm fueron superiores en la zona de palera, dado que esta es la que menos expuesta está al tráfico de maquinaria y animales de tracción, presentando las mejores condiciones de aireación y el menor grado de compactación, mientras tanto la calle y el plato presentan porosidades bajas y más o menos

homogéneas, debido a que estas zonas son las que directamente están expuestas al tráfico de maquinaria y animales como al impacto ofrecido por los racimo durante la cosecha.

Para las tres zonas (calle, plato y palera) de la mayoría de los puntos de muestreo se reportan valores de porosidad inferiores a la profundidad (30 - 60cm) comparativamente con las encontradas en los primeros 30cm; de esta manera se determinaron porosidades del orden del 35,88%, 35,00 % y 36,00% para las zonas de calle, plato y palera respectivamente en los primeros 30 cm de profundidad; en los siguientes 30 cm la porosidad disminuyó a 34,87%, 34,55% y 35,60% para las mismas zonas.

En términos generales la porosidad total de los suelos hasta los 60cm de profundidad, presenta una distribución inconveniente que restringe la proliferación de raíces, dificulta la circulación del agua, la difusión de los gases a través del suelo e incrementa la succión que deben ejercer las raíces para sustraer el agua y los nutrientes; debido a que los suelos presentan un mayor porcentaje de micro poros (mp) con respecto al de macro poros (Mp) los cuales han sido distribuidos por procesos de daño físico como la compactación. Lo anterior se presenta de manera más crítica en los suelos de los programas III, IV, V y VI.

3.4 Contenido y retención de humedad

En la mayoría de los puntos de muestreo el contenido de humedad fue superior en la zona de palera y disminuye con la profundidad en las tres zonas (calle, plato y palera). Se reportaron contenidos de humedad aprovechable (θ_{Aprov}) inferiores en los programas de siembra I y II comparativamente con los que se presentaron los suelos de los programas III, IV, V y VI, lo cual es debido a que en estos últimos programas la cantidad de macroporos es muy pequeña y por lo tanto la porosidad total está conformada su mayor parte por meso y microporos que retienen mayor cantidad de humedad a tensiones bajas, cercanas a 0,3 bar (que es la tensión que determina la humedad a capacidad de campo) y por lo tanto en estos suelos con pocos macroporos el porcentaje de retención de humedad a CC (capacidad de campo) es superior, incrementándose de esta manera el contenido de humedad aprovechable que se encuentra entre la CC y el PMP (punto de marchitez permanente).

3.5 Índice de Cono

Como se muestra en la Tabla 4, en la mayoría de los puntos de muestreo los valores de índice de cono hasta los 30 cm de profundidad fueron superiores en las zonas de calle y plato e inferiores en la zona de palera; aproximadamente en el 50% de los puntos muestreados la resistencia a la penetración fue superior en la zona de calle y en el otro 50% en la zona de plato; por lo cual no se puede indicar claramente cuál de las dos zonas presentan mayor resistencia a la penetración hasta los 30 cm de profundidad. En el perfil del suelo que va de 30-60 cm la resistencia a la penetración en la mayor parte de los puntos de muestreo fue superior en la zona de plato, seguida por la de la calle e inferior en la zona de palera.

TABLA 4
 ÍNDICE DE CONO PROMEDIO SEGÚN PROGRAMAS DE SIEMBRA (MPa)

Ubicación	Profundidad (cm)	Programas de siembra					
		I	II	III	IV	V	VI
Calle	10	2,34	3,28	3,00	2,72	2,68	2,16
	20	2,37	2,92	3,00	2,73	2,83	2,17
	30	2,44	2,61	2,9	2,60	2,96	2,08
	40	2,46	2,58	2,80	2,52	2,85	1,98
	50	2,41	2,58	2,76	2,56	2,86	1,96
	60	2,40	2,58	2,77	2,92	2,85	1,93
Plato	10	1,84	2,98	2,82	2,12	2,73	3,01
	20	2,15	3,06	3,12	2,71	3,32	3,12
	30	2,35	3,07	3,08	2,96	3,50	3,16
	40	2,40	2,97	3,18	3,12	3,47	3,04
	50	2,44	2,89	3,14	3,14	3,50	2,79
	60	2,57	2,88	3,12	3,10	3,66	2,70
Palera	10	1,77	2,11	1,81	1,69	1,61	2,33
	20	2,09	2,24	2,25	1,86	1,81	2,30
	30	2,05	2,15	2,25	1,88	1,8	2,19
	40	2,07	2,07	2,23	1,99	1,88	2,50
	50	2,09	2,06	2,25	2,08	2,02	2,11
	60	2,12	2,07	2,29	2,27	2,10	2,12

Para la zona de calle los programas de siembra II, III, IV y VI el mayor valor de índice de cono se presentó a nivel superficial hasta los 20 cm de profundidad, mientras que en los programas I y V el mayor valor se presenta aproximadamente alrededor de los 30 cm de profundidad, lo cual indica que para la zona de calle las capas endurecidas por efecto del tráfico alcanzan profundidades de aproximadamente 30 cm. En la zona de plato se presenta un incremento el índice de cono con la profundidad, reportándose valores iguales o superiores a los 3,0 MPa alrededor de los 30 cm de profundidad para todos los programas de siembra a excepción del programa de siembra I.

En general para todos los programas de siembra en la zona de palera a nivel superficial se presenta la menor resistencia a la penetración dado que el suelo se encuentra suelto debido a la interacción de la materia orgánica con sus constituyentes minerales. Aunque con la profundidad la resistencia a la penetración aumenta, no se alcanzan valores muy elevados que puedan ser restrictivos para el crecimiento radicular.

3.6 Infiltración

Para los ensayos realizados en los diferentes puntos de muestreo se presenta como regla general que la velocidad de infiltración y la lámina infiltrada son inferiores en la zona de calle comparativamente con la de palera para un tiempo cualquiera; dado que en esta última la disposición de la capa superficial del suelo y las condiciones físicas a lo largo del perfil del mismo garantizan una circulación más rápida y continua del agua, Tabla 5.

TABLA 5
 INTERPRETACIÓN DE LA INFILTRACIÓN BÁSICA PROMEDIO SEGÚN PROGRAMAS DE SIEMBRA

Programa de siembra	Ubicación ensayo	Ib (cm/hr)	Clasificación
I	Calle	1,16	Media
	Palera	1,76	Media
II	Calle	0,34	Muy baja
	Palera	1,40	Media
III	Calle	1,33	Media
	Palera	2,48	Alta o buena
IV	Calle	0,40	Muy baja
	Palera	2,48	Alta o buena
V	Calle	0,28	Muy baja
	Palera	3,84	Alta o buena
VI	Calle	1,76	Media
	Palera	2,72	Alta o buena

La formación de agregados relativamente estables en el horizonte superior de la zona de palera debido a los procesos de interacción de las partículas elementales del suelo y los materiales orgánicos en descomposición producto de la poda garantizan una estructura del suelo que mejora la infiltración evitando el encharcamiento superficial que se presenta generalmente en la zona de calle debido a que el tráfico continuo forma capas endurecidas y costras superficiales que evitan la infiltración adecuada del agua que en la mayoría de los casos no escurre debido a la poca pendiente del terreno. La velocidad de infiltración básica (Ib) fue muy baja en el 38% de los puntos donde se realizaron los ensayos, baja en el 19%, media en el 29% y alta o buena en el 14%.

En la zona de palera ocurre lo contrario; la infiltración básica fue muy alta en el 19% de los puntos donde se realizaron los ensayos, alta o buena en el 38%, media en el 17%, baja en el 14% y muy baja en el 12%. Para la zona de calle de los programas de siembra II, IV y V se presentaron velocidades de infiltración básica muy bajas, los programas I, III y IV velocidades de infiltración básicas medias; mientras que en las zonas de palera los programas I y II presentaron infiltraciones básicas medias y los programas III, IV, V Y VI infiltraciones básicas altas o buenas, lo cual indica mejores condiciones del suelo para la infiltración en estos últimos programas.

3.7 Pudrición de Cogollo (PC)

Como se muestra en la Tabla 3, Mediante relaciones hechas entre la densidad aparente de los suelos y el nivel de incidencia de PC, se pudo establecer que en general para los lotes muestreados se puede observar que en los primeros 30 cm de profundidad incidencias de PC bajas se asocian a suelos con D_{ap} menores o iguales a $1,54 \text{ g/cm}^3$ y valores de $1,58 \text{ g/cm}^3$ pueden ser críticos para que las palmas se predispongan fácilmente a contraer la enfermedad, incrementándose la incidencia hasta niveles muy altos; para la segunda profundidad (30 a 60 cm) se pueden admitir densidades aparentes un poco superiores, de esta manera valores menores o iguales a $1,58 \text{ g/cm}^3$ se asocian a incidencias bajas y $1,63 \text{ g/cm}^3$ es el valor crítico a partir del cual la enfermedad puede difundirse incontrolablemente por todo el cultivo.

Mediante relaciones hechas entre la porosidad de los suelos y el nivel de incidencia de PC, se pudo observar que el comportamiento de la porosidad en los lotes muestreados indica que para la primera profundidad, niveles de incidencia bajos se asocian a porosidades mayores o iguales al 39%, que la disminución gradual de la porosidad en pequeños rangos conlleva un incremento en la incidencia de la enfermedad, siendo peligroso llegar a valores menores o iguales al 35% a los que se asocian niveles de incidencia altos a muy altos; para la segunda profundidad valores de porosidad mayo o igual al 38% según las relaciones establecidas pueden garantizar de cierta manera una menor disposición de la palma a contraer la enfermedad y valores de menos del 35% se pueden asociar a niveles de incidencia altos a muy altos.

No se pudo observar un comportamiento claro que indique alguna relación directa entre la variación del

I.C y el nivel de incidencia de la enfermedad, son bastante variables los valores medios que toma el I.C en las zonas de calle, plato y palera a los diferentes niveles de incidencia sin hacerse claro un comportamiento que defina alguna relación existente. Mediante relaciones hechas entre la infiltración de los suelos y el nivel de incidencia de la enfermedad en general para los lotes muestreados se encontró que niveles de incidencia bajos se asocian a infiltraciones básicas altas o buenas para la zona de palera e infiltraciones básicas medias (0,84 a 2,0 cm/h) para la zona de calle. Mientras tanto los niveles de incidencia altos y muy altos se asocian a infiltraciones básicas bajas (0,40-0,84 cm/h) y muy bajas (<40cm/h) en la zona de calle e infiltraciones básicas medias, bajas o muy bajas en la zona de palera.

4. CONCLUSIONES

No existe un patrón definido que generalice un comportamiento claro de la productividad y la incidencia de PC respecto a las propiedades físicas reportadas cuando este análisis se hace sobre la base de clasificación por programas de siembra; no obstante, existen lotes dentro de los programas cuya baja producción o alta incidencia se relacionan directamente con suelos cuyas propiedades físicas son inconvenientes o deficientes para el sano y rentable desarrollo del cultivo.

No se encontró relación alguna entre la incidencia de la enfermedad y la producción del cultivo, sobre la base de dos tipos de análisis: por programas de siembra y por niveles de incidencia; de la misma manera existen casos en que niveles de incidencia altos se asocian a altas productividades y niveles de incidencia bajos a productividades similares o inferiores, lo cual dificulta tener claridad en este aspecto.

5. RECOMENDACIONES

Entre los métodos a corto plazo para reducir la compactación de los suelos, se recomienda el uso de implementos mecánicos como el subsolador.

A más largo plazo se puede realizar: la siembra de cultivos de cobertura perennes de raíces profundas especialmente en cultivos jóvenes, así mismo durante la preparación de suelos para el establecimiento de nuevos cultivos es una buena práctica hacer la incorporación al terreno de cascarilla de arroz, cascarilla de la almendra del fruto de la palma o cualquier otro elemento orgánico

de características similares; adicionar en las paleras los residuos del procesamiento de los racimos utilizados para la extracción de aceite (raquis); hacer una mejor planeación de las labores de riego con el fin de obtener una mejor distribución de la lámina de agua sobre la superficie del terreno para evitar el encharcamiento excesivo de los lotes por periodos muy prolongados de tiempo.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Ing. José Manuel Chaparro (q.e.d), al Ing. Jorge E. Páez, al palmar Guaicaramo y a Marta Victoria por su apoyo incondicional.

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado por el autor, quien declara ser el único autor y que no existe conflicto de intereses, que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

REFERENCIAS

- [1] "OIL WORLD ISTA Mielke GmbH: Independent Global Market Analyses & Forecasts Since 1958." [Online]. Available: <https://www.oilworld.biz/>. (Con Acceso: 01-Sep-2015).
- [2] P. L. Gómez C., Á. Acosta G., L. A. Guevara y L. E. Nieto P., "Pudrición de cogollo en Colombia: Importancia, investigación y posibilidades de manejo", *Palmas*, Fedepalma, vol. 16, n° especial, pp. 198-210, 1995. Recuperado de: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/512/512>
- [3] FEDEPALMA, CENIPALMA, "Plan de mitigación de la PC para la zona central y Tumaco 2013", Disponible desde internet en: <http://fito.portalpalmero.com/plan-de-manejofitosanitario> (con acceso 06/06/2015).
- [4] M. Troldborg, I. Aalders, W. Towers, P. D. Hallett, B. M. McKenzie, A. G. Bengough, A. Lilly, B. C. Ball, and R. L. Hough, "Application of Bayesian Belief Networks to quantify and map areas at risk to soil threats: Using soil compaction as an example", *Soil Tillage Res.*, vol. 132, pp. 56–68, 2013. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.05.005>
- [5] W. A. Jury, W. R. Gardner, and W. H. Gardner, "Soil physics. John Wiley & Sons, New York.", *Soil physics*. John Wiley Sons, 5 ed., New York., 1991.
- [6] I. Hakansson y R. C. Reeder, "Subsoil compaction by vehicles with high axle load—extent, persistence and crop response", *Soil & Tillage Research*, vol. 29, no. 2–3, pp. 277–304, 1994. doi: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)90065-5](https://doi.org/10.1016/0167-1987(94)90065-5)
- [7] T. Chamen, L. Alakukku, S. Pires, C. Sommer, G. Spoor, F. Tjink, and P. Weisskopf, "Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review: Part 2. Equipment and field practices", *Soil Tillage Res.*, vol. 73, no. 1, pp. 161–174, 2003. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00108-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00108-9)
- [8] B. C. Ball, A. Scott, and J. P. Parker, "Field N 2 O, CO 2 and CH 4 fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland", *Soil Tillage Res.*, vol. 53, no. 1, pp. 29–39, 1999.
- [9] R. Horn, H. Domzzal, A. Slowinska-Jurkiewicz, y Van Ouwerkerk, "Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment", *Soil Tillage Res.*, vol. 35, no. 1–2, pp. 23–36, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(95\)00479-C](https://doi.org/10.1016/0167-1987(95)00479-C)
- [10] R.R. Allmaras, V.A. Fritz, F.L. Pflieger, S.M. Copeland, "Common root rot of pea (*Pisum sativum* L.): oat pre-crop and traffic compaction effects in fine-textured mollisols", J.E. Box Jr. (Ed.), *Root Demographics and Their Efficiencies in Sustainable Agriculture, Grassland, and Forest Ecosystems*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. pp. 285–294, 1998.
- [11] T. Batey, "Soil compaction and soil management--a review", *Soil use Manag.*, vol. 25, no. 4, pp. 335–345, 2009. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2009.00236.x>
- [12] M. A. Fullen, "Compaction, hydrological processes and soil erosion on loamy sands in east Shropshire, England", *Soil tillage Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 17–29, 1985. doi: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(85\)90003-0](https://doi.org/10.1016/0167-1987(85)90003-0)
- [13] H. Lundekvam and S. Skoien, "Soil erosion in Norway. An overview of measurements from soil loss plots," *Soil use Manag.*, vol. 14, no. 2, pp. 84–89, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1998.tb00620.x>
- [14] DEFRA, "Cross compliance in England: soil protection standards". Department for Environment, *Food & Rural Affairs*, 2015. Disponible desde internet en: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/397046/CCSoilPS_2015_v1_WEB.pdf (con acceso 05/06/2015).

- [15] O. Cañavate, J. L. J. Hernanz, E. L. Worthen, S. R. Loma, T. N. Ferreira, P. Candelon, y Otros, Técnica de la mecanización agraria, no. 631.372 O77. Proyecto de Mecanización Agrícola en Honduras, Tegucigalpa (Honduras) Secretaría de Recursos Naturales, Tegucigalpa (Honduras) Cooperación Suiza al Desarrollo, Tegucigalpa (Honduras), 1989.
- [16] H. D. Kutzbach, "Trends in power and machinery", *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 76, no. 3, pp. 237–247, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0574>
- [17] G. F. Arkin and H. M. Taylor, Modifying the root environment to reduce crop stress. American Society of Agricultural Engineers St. Joseph, Mich., pp. 21-53, 1981.
- [18] A. C. Bailey, R. L. Raper, C. E. Johnson, y E. C. Burt, "An integrated approach to soil compaction prediction", *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 61, no. 2, pp. 73–80, 1995. doi: <https://doi.org/10.1006/jaer.1995.1033>
- [19] M. Lebert y R. Horn, "A method to predict the mechanical strength of agricultural soils", *Soil & Tillage Research*, vol. 19, no. 2–3, pp. 275–286, 1991. doi: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(91\)90095-F](https://doi.org/10.1016/0167-1987(91)90095-F)
- [20] W. J. Chancellor, "Compaction of soil by agricultural equipment", Division of agricultural science, University of California, Bulletin 1881. p. 53, 1976.
- [21] A. G. Bengough, B. M. McKenzie, P. D. Hallett, y T. A. Valentine, "Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits", *J. Exp. Bot.*, vol. 62, no. 1, pp. 59–68, 2011. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erq350>
- [22] G. H. Montenegro, C. D. Malagón, "Propiedades físicas de los suelos". Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, Subdirección Agrológica. Bogotá. p. 813, 1990.
- [23] W. J. Busscher and R. E. Sojka, "Enhancement of subsoiling effect on soil strength by conservation tillage", *Trans. ASAE*, vol. 30, no. 4, pp. 888–892, 1987. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.30493>
- [24] E. D. Threadgill, "Residual tillage effects as determined by cone index," American Society of Agricultural and Biological Engineers, Trans. ASAE, vol. 25, no. 4, pp. 859–863, 1982.
- [25] I. Hakansson, "Machinery-induced compaction of arable soils", Reports from the division of soil management no 109. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Sciences, 2005.
- [26] H. R. Rowse and D. Goodman, "Axial resistance to water movement in broad bean (*Vicia faba*) roots", *J. Exp. Bot.*, vol. 32, no. 3, pp. 591–598, 1981. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/32.3.591>