

# Characteristics of oil palm trunks for rearing of *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae) in the Peruvian Amazon

## Características de los troncos de palma aceitera para la crianza de *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae) en la Amazonía peruana

Grober Panduro-Pisco<sup>1,2</sup>; Nathaly M. Salinas-Pimentel<sup>1</sup>; Jesús Cotrina-Barrueta<sup>1</sup>; Ángel K. Arbaiza-Peña<sup>1</sup>; Jorge Plaza-Castro<sup>1</sup>; José Iannacone<sup>3,4\*</sup>

<sup>1</sup>Negocios Amazónicos Sustentables, EIRL, Negasus EIRL, Área de proyectos. Av. Pachacútec Mz. 6 Lt. 17. Manantay, Ucayali, Perú.

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Ucayali, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Carretera Federico Basadre km 6.2. Pucallpa, Ucayali, Perú.

<sup>3</sup>Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV), Facultad de Ciencias Naturales y Matemática (FCNNM), Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal (LEBA). Av. Río de Chepén s/n. Urb. Bravo Chico. El Agustino, Lima, Perú.

<sup>4</sup>Universidad Ricardo Palma (URP), Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Parasitología. Av. Benavides 5440. Urb. Las Gardenias. Surco, Lima, Perú.

\*Corresponding author: joseiannacone@gmail.com, tel.: +51 (1) 996532393.

### Abstract

**Introduction:** In the Peruvian Amazon, felled oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) trunks are usually burned to prevent the increase of these residues. These trunks are also used for the rearing of *Rhynchophorus palmarum* (Linnaeus, 1758) Csiki E., 1936 larvae, which locals use as a food source.

**Objective:** To establish the relationship between the characteristics of the cut *E. guineensis* trunks and the rearing of *R. palmarum* larvae.

**Materials and methods:** The research was conducted in three districts (San Pedro-Campo Verde, Tahuayo-Neshuya and Maronal-Curimaná) of the department of Ucayali, Peru. The correlation between the number of *R. palmarum* larvae and the length and diameter of the trunk's central cylinder was analyzed using the Spearman coefficient ( $r_s$ ). In addition, the soil texture class was determined and the correlation with the number of larvae was established.

**Results and discussion:** The length and diameter of the felled oil palm trunks were different ( $P < 0.05$ ) in the three sites evaluated. There is no relationship between the number of *R. palmarum* larvae and the length and diameter of the trunk segments. By contrast, the soil's clay loam texture is positively correlated with the number of larvae ( $r_s = 1.00$ ,  $P < 0.01$ ). The number of larvae was higher in the Tahuayo-Neshuya district samples ( $145.67 \pm 39.67$ ;  $P < 0.0001$ ).

**Conclusion:** Characteristics of the oil palm trunk are not associated with the development of *R. palmarum*.

**Keywords:** *Elaeis guineensis*; trunk's central cylinder; clay loam soil; soil texture class.

### Resumen

**Introducción:** En la Amazonía peruana, los troncos cortados de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) suelen quemarse para evitar el aumento de estos residuos. Estos troncos también se utilizan para la crianza de larvas *Rhynchophorus palmarum* (Linnaeus, 1758) Csiki E., 1936, que los lugareños usan como fuente de alimento.

**Objetivo:** Establecer la relación que existe entre las características de los troncos cortados de *E. guineensis* y la crianza de larvas *R. palmarum*.

**Materiales y métodos:** La investigación se hizo en tres distritos (San Pedro-Campo Verde, Tahuayo-Neshuya y Maronal-Curimaná) del departamento de Ucayali, Perú. La correlación del número de larvas de *R. palmarum* con la longitud y el diámetro del cilindro central del tronco se analizó mediante el coeficiente de Spearman ( $r_s$ ). Asimismo, se determinó la clase de textura del suelo y se estableció la correlación con el número de larvas.

**Resultados y discusión:** La longitud y diámetro de los troncos cortados de palma aceitera fueron diferentes ( $P < 0.05$ ) en las tres localidades evaluadas. No existe relación del número de larvas de *R. palmarum* con la longitud y el diámetro de los segmentos del tronco. En cambio, la textura franco arcillosa del suelo está correlacionada positivamente con el número de larvas ( $r_s = 1.00$ ,  $P < 0.01$ ). El número de larvas fue mayor en las muestras del distrito Tahuayo-Neshuya ( $145.67 \pm 39.67$ ;  $P < 0.0001$ ).

**Conclusión:** Las características del tronco de palma aceitera no están asociadas con el desarrollo de *R. palmarum*.

**Palabras clave:** *Elaeis guineensis*; cilindro central del tronco; suelo franco arcilloso; clase de textura del suelo.

## Introduction

*Elaeis guineensis* Jacq. is an oil palm that can live for more than 100 years (Hang & Sharma, 2000). Under conventional agricultural conditions and from a practical standpoint, the useful life of the palm can be around 25 years (Hang & Sharma, 2000) or when it reaches a height of 12 m; when this height is exceeded, harvesting the fruit becomes uneconomical (Loh & Mukesh, 1999).

Globally, the oil palm represents an excellent alternative for commercial development and expansion due to its high productivity, as its oil yield is higher than that of most other oil crops (Hinrichsen, 2016). In recent decades important agronomic advances have been achieved in oil palm: (1) plantation renewal without eradicating all plants, (2) precision fertilization in relation to soil type, (3) recycling of industrial waste from the palm and (4) organization of small and medium producers to industrialize their products and market directly in internal and external markets (Clare, 2004).

Adult oil palm plantations are characterized by considerable height and low productivity (Aznab & Mohd, 2002; Idris, Azman, & Chang, 2001; Loh & Mukesh, 1999), which constitutes a risk for those harvesting the fruit. Bud rot is another factor that produces losses to the farmer, although in lower proportion and intensity (Rivas-Figueroa, Moreno, Rivera-Casignia, Herrera-Isla, & Leiva-Mora, 2017).

Biomass generated in the oil palm is wasted, as farmers fell and burn the trunks, as well as apply systemic insecticides to them (Garbanzo, 2016). These practices are dangerous for the environment and cultivation, creating soil fertility problems, low productivity, microfauna and vegetation mortality, and high pollution levels (Arboleda, 2008). An alternative to avoid burning is the use of the felled trunks, at the end of the renewal phase of the oil palm, to rear larvae of *Rhynchophorus palmarum* (Linnaeus, 1758) Csiki E., 1936 (Coleoptera: Curculionidae) (Ávila, Bayona, Rincón, & Romero, 2014; Delgado, Couturier, Mathews, & Mejia, 2008). Due to its nutritional properties, the larva of the *R. palmarum* insect has become an important alternative food for the inhabitants of the Latin American Amazon (Cerdeira et al., 2001; Choo, Zent, & Simpson, 2009; Delgado et al., 2008; Sancho, Álvarez, & Fernández, 2015; Vargas, Espinoza, Ruiz, & Rojas, 2013). This polyphagous insect reproduces in the internal meristem of the tissue of the oil palm *E. guineensis* and other Amazonian palms (Hodel, Marika, & Ohara, 2016; Rodríguez-Currea, Marulanda-López, & Amaya, 2017).

The objective of this study was to establish the relationship between the characteristics of felled

## Introducción

*Elaeis guineensis* Jacq. es una palma aceitera que puede vivir más de 100 años (Hang & Sharma, 2000). En condiciones agrícolas convencionales y desde el punto de vista práctico, la vida útil de la palma puede ser de alrededor de 25 años (Hang & Sharma, 2000) o cuando alcanza una altura de 12 m; en el momento en que dicha medida se rebasa, la cosecha de los frutos se vuelve antieconómica (Loh & Mukesh, 1999).

A nivel mundial, la palma de aceite representa una excelente alternativa para el desarrollo y expansión a nivel comercial debido a su alta productividad, ya que el rendimiento de aceite es mayor que el de la mayoría de otros cultivos oleaginosos (Hinrichsen, 2016). En las últimas décadas se han logrado avances agronómicos importantes en la palma aceitera: (1) renovación de plantaciones sin erradicación de todas las plantas, (2) fertilización de precisión con relación al tipo de suelo, (3) reciclaje de los desechos industriales de la palma y (4) organización de pequeños y medianos productores para industrializar sus productos y comercializar directamente en los mercados interno y externo (Clare, 2004).

Las plantaciones adultas de la palma aceitera se caracterizan por una altura considerable y baja productividad (Aznab & Mohd, 2002; Idris, Azman, & Chang, 2001; Loh & Mukesh, 1999), lo que constituye un riesgo para quienes cosechan la fruta. La pudrición del cogollo es otro factor que produce pérdidas al agricultor, aunque en menor proporción e intensidad (Rivas-Figueroa, Moreno, Rivera-Casignia, Herrera-Isla, & Leiva-Mora, 2017).

La biomasa generada en la palma aceitera se desperdicia, ya que los agricultores practican la tala, quema y aplicación de insecticidas sistémicos a los troncos (Garbanzo, 2016). Estas prácticas son peligrosas para el ambiente y para el cultivo, creando problemas de fertilidad en el suelo, baja productividad, mortandad de microfauna y vegetación, así como niveles altos de contaminación (Arboleda, 2008). Una alternativa para evitar la quema es el uso de los troncos derribados, al final de la fase de renovación de la palma aceitera, para criar larvas de *Rhynchophorus palmarum* (Linnaeus, 1758) Csiki E., 1936 (Coleoptera: Curculionidae) (Ávila, Bayona, Rincón, & Romero, 2014; Delgado, Couturier, Mathews, & Mejia, 2008). Debido a sus propiedades nutricionales, la larva del insecto *R. palmarum* se ha convertido en un importante alimento alternativo para los habitantes de la Amazonía latinoamericana (Cerdeira et al., 2001; Choo, Zent, & Simpson, 2009; Delgado et al., 2008; Sancho, Álvarez, & Fernández, 2015; Vargas, Espinoza, Ruiz, & Rojas, 2013). Este insecto polífago se reproduce en el meristemo interno del tejido de la palma aceitera *E. guineensis* y de otras palmas

*E. guineensis* trunks and rearing of *R. palmarum* larvae in the Peruvian Amazon.

## Materials and methods

### Study area

The study area comprised three districts: (1) San Pedro-Campo Verde, with elevation of 200 m, temperature of 22.3 °C, annual rainfall of 1726 mm and annual relative humidity of 80 %; (2) Tahuayo-Neshuya, with an elevation of 206 m, temperature of 25 °C, annual rainfall of 4 954.3 mm and annual relative humidity of 87 %; and (3) Maronal-Curimaná, with an elevation of 172 m, temperature of 25.5 °C, annual rainfall of 4 583.2 mm and annual relative humidity of 87 %.

### Data collection procedure

The study was conducted during the months of January to July 2016 in nine oil palm plots, located in the hamlets of the districts of San Pedro-Campo Verde, Tahuayo-Neshuya and Maronal-Curimaná. Non-probability sampling was carried out. The length (m) and diameter (cm) of the felled trunks were measured with a 50-m measuring tape and a Vernier caliper (precision: 0.01 mm), respectively. Three trunk sections were evaluated in 12 replicates: basal part (which contains the roots), middle section (between the base and apex of the trunk) and the apex. In each section the thickness of three tissues or structural layers was measured: bark, sclerenchyma and central cylinder. Subsequently, 75 soil samples were taken to determine the texture class in the laboratory, using the Bouyoucos method (Beretta et al., 2014). The samples were obtained at a depth of 50 cm, in 31 replicates for San Pedro-Campo Verde, 15 for Tahuayo-Neshuya and 29 for Maronal-Curimaná.

After measuring the length and diameter of all trunk sections, an attractant made from a ferment ("masato") of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) was applied. To do this, three V-shaped cuts were made in each trunk section, as well as three cross cuts on the sides of the trunk; 100 mL of the attractant were introduced with a brush in each cut. At 58 days the *R. palmarum* larvae were collected from the trunk sections where the attractant was applied. This ferment is used by indigenous communities to capture larger numbers of adult beetles and increase the production of larvae for local consumption (Delgado et al., 2008).

### Data analysis

The data on the length and diameter of the three layers (bark, sclerenchyma and central cylinder) in the three oil palm trunk sections (basal, middle and apical) were tabulated and ordered according to the number of *R. palmarum* larvae in the three sites studied. Two-

amazónicas (Hodel, Marika, & Ohara, 2016; Rodríguez-Currea, Marulanda-López, & Amaya, 2017).

El objetivo de este trabajo fue establecer la relación que existe entre las características de los troncos cortados de *E. guineensis* y la crianza de larvas *R. palmarum* en la Amazonía peruana.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El área de estudio comprendió tres distritos: (1) San Pedro-Campo Verde, con altitud de 200 m, temperatura de 22.3 °C, precipitación anual de 1726 mm y humedad relativa anual de 80 %; (2) Tahuayo-Neshuya con altitud de 206 m, temperatura de 25 °C, precipitación anual de 4 954.3 mm y humedad relativa anual de 87 %; y (3) Maronal-Curimaná con altitud de 172 m, temperatura de 25.5 °C, precipitación anual de 4 583.2 mm y humedad relativa anual de 87 %.

### Procedimiento de recolección de datos

El estudio se realizó durante los meses de enero a julio del 2016 en nueve parcelas de palma aceitera, ubicadas en los caseríos de los distritos de San Pedro-Campo Verde, Tahuayo-Neshuya y Maronal-Curimaná. Se realizó un muestreo intencional no probabilístico. Las medidas de longitud (m) y diámetro (cm) de los troncos cortados se obtuvieron con cinta métrica de 50 m y con un vernier (precisión: 0.01 mm), respectivamente. Se evaluaron tres secciones de los troncos en 12 réplicas: parte basal (que contiene las raíces), sección media (entre la base y el ápice del tronco) y el ápice. En cada sección se midió el espesor de tres tejidos o capas estructurales: corteza, esclerénquima y cilindro central. Posteriormente, se tomaron 75 muestras de suelo para determinar la clase de textura en laboratorio, utilizando el método de Bouyoucos (Beretta et al., 2014). Las muestras se obtuvieron a una profundidad de 50 cm en 31 repeticiones para San Pedro-Campo Verde, 15 repeticiones para Tahuayo-Neshuya y 29 repeticiones para Maronal-Curimaná.

Después de medir la longitud y el diámetro de todas las secciones del tronco, se aplicó un atrayente hecho a base de un fermento ("masato") de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Para ello, en cada sección del tronco se hicieron tres cortes en forma de V y tres cortes transversales en los lados del tronco; se introdujeron 100 mL del atrayente con un pincel en cada corte. A los 58 días se recolectaron las larvas de *R. palmarum* de las secciones del tronco de la palma donde se aplicó el atrayente. Este fermento es utilizado por las comunidades nativas para captar mayor cantidad de escarabajos adultos y aumentar la producción de larvas para el consumo local (Delgado et al., 2008).

way factorial fixed-effect (Type 1) analysis of variance (ANOVA) and comparison of means with the Tukey test ( $P < 0.05$ ) were performed; the length and diameter of the oil palm trunk were the independent variables, and the abundance of larvae was the response variable. The Spearman coefficient ( $r_s$ ) was used to relate the number of *R. palmarum* larvae to the length and diameter of the trunk, the diameter of the basal, middle and apical central cylinder of the oil palm, and the soil texture class. All analyses were performed with InfoStat™ (Di Rienzo et al., 2014).

## Results and discussion

Table 1 shows that the length ( $F = 9.62$ ;  $P = 0.01$ ) and diameter ( $F = 5.72$ ;  $P = 0.04$ ) of the adult oil palm trunk were statistically different among sites. The Tahuayo-Neshuya district had the lowest numerical values of these variables.

The length and diameter of the adult oil palm trunk vary during development until the trees reach maturity or the end of their useful life (Cayón-Salinas, 1999). Differences in trunk length and diameter among districts were probably due to the type of crop management that consisted of fertilization, pruning and weeding, as well as the age of the oil palms (Cayón-Salinas, 1999; Paramanathan, 2013). The diameter differences could be attributable to a coating that the petiolar base formed on the trunk in the district of Tahuayo-Neshuya, but not in the districts of San Pedro-Campo Verde and Maronal-Curimaná. Oil palm planting density was 143 plants·ha<sup>-1</sup> in the three districts.

The oil palm stem has a growth rate of 25 to 30 cm·year<sup>-1</sup> (Bonneau, Vandessel, Buabeng, & Erhahuyi, 2014) and can reach a maximum of 15 to 20 m in height (Mosquera et al., 2016). Crop management consists of fertilization, pruning, weeding and other agroecological activities

## Análisis de datos

Los datos de la longitud y el diámetro de las tres capas (corteza, esclerénquima y cilindro central) en tres secciones del tronco de la palma de aceite (basal, medio y apical) se tabularon y ordenaron según el número de larvas de *R. palmarum* en las tres localidades estudiadas. Se realizó análisis de varianza (ANOVA) factorial de dos vías de efectos fijos (Tipo I) y comparación de medias con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ); la longitud y diámetro del tronco de la palma aceitera fueron las variables independientes, y la abundancia de larvas fue la variable de respuesta. El coeficiente de Spearman ( $r_s$ ) se empleó para relacionar el número de larvas de *R. palmarum* con la longitud y el diámetro del tronco, el diámetro del cilindro central basal, medio y apical de la palma aceitera, y con la clase de textura del suelo. Todos los análisis se realizaron con InfoStat™ (Di Rienzo et al., 2014).

## Resultados y discusión

El Cuadro 1 muestra que la longitud ( $F = 9.62$ ;  $P = 0.01$ ) y el diámetro ( $F = 5.72$ ;  $P = 0.04$ ) del tronco adulto de palma aceitera fueron estadísticamente diferentes entre sitios. El distrito de Tahuayo-Neshuya presentó los valores numéricos más bajos de estas variables.

La longitud y el diámetro del tronco adulto de las palmas de aceite varían durante su desarrollo hasta que alcanzan la madurez o el final de su vida útil (Cayón-Salinas, 1999). Las diferencias de longitud y diámetro del tronco entre distritos se debieron probablemente al tipo de manejo del cultivo que consiste en la fertilización, poda y deshierbe, así como a la edad de las palmas de aceite (Cayón-Salinas, 1999; Paramanathan, 2013). Las diferencias en el diámetro podrían ser atribuibles a un recubrimiento que la base peciolar formó en el tronco en el distrito de Tahuayo-

**Table 1. Length and diameter of felled adult oil palm (*Elaeis guineensis*) trunks in three districts of Pucallpa, Ucayali, Peru.**

**Cuadro 1. Longitud y diámetro de los troncos adultos cortados de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en tres distritos de Pucallpa, Ucayali, Perú.**

District/Distrito	Longitude (m)/Longitud (m)	Diameter (cm)/Diámetro (cm)
San Pedro-Campo Verde	7.82 ± 0.25 ab	69.95 ± 3.12 b
Tahuayo-Neshuya	6.90 ± 0.44 a	52.53 ± 12.29 a
Maronal-Curimaná	8.53 ± 0.60 b	71.70 ± 4.06 b

Means with a different letter in the same column are statistically different according to Tukey's test ( $P < 0.05$ ). ± standard error of the mean.

Medias con letra distinta en una misma columna son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ). ± error estándar de la media.

that play an important role in trunk growth (Bonneau, Impens, & Buabeng, 2018; Woittiez, van Wijk, Slingerland, van Noordwijk, & Giller, 2017). When this research was carried out, the oil palms were between 16 and 24 years old, which means that they were near the end of the productive phase of a commercial crop that is from 6 to 25 years (Mosquera et al., 2016). The recorded heights did not reach 15 to 20 m, which are corresponding measurements for ages over 30 years, when production is almost nil (Mosquera et al., 2016).

The length of the oil palm trunk sections did not correlate with the number of *R. Palmarum* larvae ( $r_s = 0.47$ ,  $P = 0.19$ ). Similarly, the diameter of the trunk sections and the number of *R. palmarum* larvae did not correlate ( $r_s = -0.11$ ,  $P = 0.76$ ). This insect oviposits in the exposed internal tissues of the oil palm to ensure that the larva has access to food. The success of oviposition depends on certain specific conditions. Firstly, it has been determined that insects are attracted by the odor of the substratum from which they feed and oviposit, and the attractants that may be added; secondly, the space and soft tissues are important factors that allow larvae to feed and protect themselves from their natural enemies (Aldana de la Torre, Aldana de la Torre, & Moya, 2010; Choo et al., 2009; Monzenga, Le Goff, Kayisu, & Hance, 2017; Pérez & Iannacone, 2006; Rodríguez-Currea et al., 2017). Sánchez, Jaffé, Hernández, and Cerda (1993) and Choo et al. (2009) indicate that when the larvae reach their last stage, it is common to find competition among individuals of the same species that leads to predation by cannibalism. Therefore, stem (trunk) height may not be associated with the rearing of *R. palmarum* larvae.

Table 2 shows the thickness values of the oil palm trunk layers. According to the results, the central cylinder is thicker than the bark and the sclerenchyma. The bark and the central cylinder had the largest thickness in the basal third, while the sclerenchyma was similar in all three sections. Regarding the study sites, the bark, sclerenchyma and central cylinder were smaller in the Maronal-Curimaná district. In all three districts, the central cylinder had higher values than the bark and sclerenchyma.

*Rhynchophorus palmarum* developed, until its last larval stage, in the central cylinder of the three cut trunk sections (basal, middle and apical); this was evidenced by the state of advanced decomposition of the central cylinder at the time of evaluation. Therefore, it follows that the preferred site of adults for oviposition is the central cylinder; however, there was no relationship between the number of *R. palmarum* larvae and the diameter of the apical-central cylinder ( $r_s = 0.44$ ;  $P = 0.23$ ), middle-central cylinder ( $r_s = 0.56$ ;  $P = 0.11$ ) and basal-central cylinder of the trunk ( $r_s = -0.32$ ;  $P = 0.39$ ).

Neshuya, pero no en los distritos de San Pedro-Campo Verde y Maronal-Curimaná. La densidad de siembra de la palma de aceite fue de 143 plantas·ha<sup>-1</sup> en los tres distritos.

El tallo de la palma de aceite tiene una tasa de crecimiento de 25 a 30 cm·año<sup>-1</sup> (Bonneau, Vandessel, Buabeng, & Erhahuyi, 2014) y puede alcanzar un máximo de 15 a 20 m de altura (Mosquera et al., 2016). El manejo de este cultivo consiste en la fertilización, poda, deshierbe y otras actividades agroecológicas que juegan un papel importante en el crecimiento del tronco (Bonneau, Impens, & Buabeng, 2018; Woittiez, van Wijk, Slingerland, van Noordwijk, & Giller, 2017). Cuando se realizó esta investigación, las palmas de aceite tenían edades entre 16 y 24 años, lo que significa que se encontraban cerca del final de la fase productiva de un cultivo comercial que va de 6 a 25 años (Mosquera et al., 2016). Las alturas registradas no alcanzaron los 15 a 20 m, que son medidas correspondientes para edades de más de 30 años, cuando la producción es casi nula (Mosquera et al., 2016).

La longitud de las secciones del tronco de palma de aceite no se correlacionó con el número de larvas de *R. palmarum* ( $r_s = 0.47$ ,  $P = 0.19$ ). De forma similar, el diámetro de las secciones del tronco y el número de larvas de *R. palmarum* no se correlacionaron ( $r_s = -0.11$ ,  $P = 0.76$ ). Este insecto oviposita en los tejidos internos expuestos de la palma de aceite para garantizar que la larva tenga acceso al alimento. El éxito de la oviposición depende de ciertas condiciones específicas. Primeramente se ha identificado que los insectos son atraídos por el olor del sustrato del que se alimentan y ovipositan, y de los atrayentes que puedan agregarse; en segundo lugar, el espacio y los tejidos blandos son factores importantes que permiten que las larvas se alimenten y se protejan de sus enemigos naturales (Aldana de la Torre, Aldana de la Torre, & Moya, 2010; Choo et al., 2009; Monzenga, Le Goff, Kayisu, & Hance, 2017; Pérez & Iannacone, 2006; Rodríguez-Currea et al., 2017). Sánchez, Jaffé, Hernández, y Cerda (1993) y Choo et al. (2009) indican que, cuando las larvas alcanzan su último estadio, es común encontrar competencia entre individuos de la misma especie que conduce a la depredación por canibalismo. Por tanto, la altura del tallo (tronco) puede no asociarse con la cría de larvas de *R. palmarum*.

El Cuadro 2 muestra los valores de espesor de las capas del tronco de la palma aceitera. De acuerdo con los resultados, el cilindro central tiene mayor grosor que la corteza y el esclerénquima. La corteza y el cilindro central tuvieron el grosor más grande en el tercio basal, mientras que el esclerénquima fue similar en las tres secciones. Con respecto a los sitios de estudio, la corteza, el esclerénquima y el cilindro central fueron

**Table 2. Measurements of the three thickness layers of the oil palm (*Elaeis guineensis*) trunk in Pucallpa, Ucayali, Peru.****Cuadro 2. Medidas de las tres capas de espesor del tronco de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en Pucallpa, Ucayali, Perú.**

Variables	Thickness of the trunk layers (cm)/Espesor de las capas del tronco (cm)		
	Bark/Corteza	Sclerenchyma/ Esclerénquima	Central cylinder/ Cilindro central
Trunk third/Tercio del tronco			
Apical	1.07 ± 0.60 a	0.65 ± 0.23 a	31.72 ± 3.14 a
Middle/Medio	1.43 ± 0.66 a	0.74 ± 0.23 a	34.84 ± 4.92 a
Basal	1.97 ± 0.66 b	0.80 ± 0.29 a	52.22 ± 3.08 b
District-site/Distrito-localidad			
San Pedro-Campo Verde	1.88 ± 0.72 c	0.75 ± 0.29 ab	39.27 ± 12.20 ab
Tahuayo-Neshuya	1.47 ± 0.66 b	0.78 ± 0.22 b	43.38 ± 14.65 b
Maronal-Curimaná	1.09 ± 0.60 a	0.64 ± 0.22 a	35.93 ± 7.75 a

Means with the same letter in a column are not statistically different according to Tukey's test ( $P > 0.05$ ).  $\pm$  standard error of the mean. Trunk third:  $F_{\text{bark}} = 17.39, P < 0.0001$ ;  $F_{\text{sclerenchyma}} = 2.85, P = 0.06$ ;  $F_{\text{central cylinder}} = 61.33, P < 0.0001$ . District-site:  $F_{\text{bark}} = 12.72, P < 0.0001$ ;  $F_{\text{sclerenchyma}} = 3.21, P = 0.045$ ;  $F_{\text{central cylinder}} = 3.47, P = 0.03$ .

Medias con una letra común en sentido vertical no son estadísticamente diferentes de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P > 0.05$ ).  $\pm$  error estándar de la media. Tercio del tronco:  $F_{\text{corteza}} = 17.39, P < 0.0001$ ;  $F_{\text{esclerénquima}} = 2.85, P = 0.06$ ;  $F_{\text{cilindro central}} = 61.33, P < 0.0001$ . Distrito-localidad:  $F_{\text{corteza}} = 12.72, P < 0.0001$ ;  $F_{\text{esclerénquima}} = 3.21, P = 0.045$ ;  $F_{\text{cilindro central}} = 3.47, P = 0.03$ .

In the central cylinder of the apical third (the furthest from the ground) of the felled oil palm trunk, there is great meristematic activity, foliar growth and sexual differentiation of the inflorescence; according to Ávila et al. (2014) and Delgado et al. (2008), the tissue of the central cylinder's apical third is the most appetizing and soft for oviposition and for the larval development of *R. palmarum* in its initial stages. The apical meristem decomposes easily under adequate moisture and shade conditions, so it would be expected that the number of larvae is related to the characteristics of the tissues and the diameter of the central cylinder (Abe, Hata, & Sone, 2009; Ávila et al., 2014; Cayón-Salinas, 1999; Monzenga et al., 2017; Van Itterbeeck & van Huis, 2012). In future studies, the degree of decomposition should be correlated with the abundance of *R. palmarum* larvae.

Delgado et al. (2008) indicate that the trunk's apical part has a greater number of *R. palmarum* larvae compared to its basal part. In the present study there was no significant relationship between the diameter of the central cylinder's apical third and the number of larvae found in *R. palmarum*. The basal third, due to its support function for oil palm, contains lignified fibers that are harder and perhaps not suitable for the feeding, growth and development of the larvae; however, when there is moisture and shade, the development of larvae in the lignified base of the felled trunk is observed (Ávila et al., 2014; Choo et al., 2009; Delgado et al., 2008).

de menor tamaño en el distrito Maronal-Curimaná. En los tres distritos, el cilindro central presentó valores más altos que la corteza y esclerénquima.

*Rhynchophorus palmarum* se desarrolló, hasta su última etapa larvaria, en el cilindro central de las tres secciones de los troncos cortados (basal, medio y apical); esto se evidenció por el estado de descomposición avanzada del cilindro central al momento de la evaluación. Por tanto, se deduce que el sitio preferido de los adultos para la oviposición es el cilindro central; sin embargo, no hubo relación entre el número de larvas de *R. palmarum* y el diámetro del cilindro central-apical ( $r_s = 0.44; P = 0.23$ ), cilindro central-medio ( $r_s = 0.56; P = 0.11$ ) y cilindro central-basal del tronco ( $r_s = -0.32; P = 0.39$ ). En el cilindro central del tercio apical (el más alejado del suelo) del tronco cortado de la palma aceitera hay gran actividad meristemática, crecimiento foliar y diferenciación sexual de la inflorescencia; de acuerdo con Ávila et al. (2014) y Delgado et al. (2008), el tejido del cilindro central del tercio apical es el más apetitoso y suave para la oviposición y para el desarrollo larval de *R. palmarum* en sus etapas iniciales. El meristemo apical se descompone fácilmente en condiciones de humedad y sombra adecuada, por lo que se esperaría que el número de larvas esté relacionado con las características de los tejidos y el diámetro del cilindro central (Abe, Hata, & Sone, 2009; Ávila et al., 2014; Cayón-Salinas, 1999; Monzenga et al., 2017; Van

Table 3 shows the soil texture classes in each district. The results indicate that there is a higher percentage of clay loam soil in Tahuayo-Neshuya, sandy loam in San Pedro-Campo Verde and clay in Maronal-Curimaná. The percentage of clay loam soil (dominant texture) and the number of *R. palmarum* larvae found per district showed a positive relationship between the two variables ( $r_s = 1.00$ ,  $P < 0.01$ ). The number of *R. palmarum* larvae was statistically different in the three sites ( $F = 17.40$ ;  $P < 0.001$ ; Levene = 1.28).

Texture is a relatively stable property that influences management, movement of water and air, determination of the genesis, infiltration and soil moisture (Paramanathan, 2013). In this context, the trunks found in these soil texture classes are considered good food substrates because they have less fiber, are rich in carbohydrates and proteins and could support rapid larval growth (Paramanathan, 2013; Woittiez et al., 2017). Clay soils are preferable because they favor the root growth of the oil palm and retain adequate amounts of moisture; this is why the trunks are better developed in soils with clay loam texture (Ortiz & Fernández, 1994).

The results obtained from the reproduction of *R. palmarum* show the importance of the soil texture class in trunk growth. This is reflected in a greater number of *R. palmarum* larvae in the hamlet of Tahuayo-Neshuya with the increase in the clay loam texture and a lower number of larvae in San Pedro-Campo Verde and in Maronal-Curimaná with a texture different from the clay loam texture (Table 3).

Itterbeeck & van Huis, 2012). En estudios futuros, el grado de descomposición debería correlacionarse con la abundancia de larvas de *R. palmarum*.

Delgado et al. (2008) señalan que la parte apical presenta mayor número de larvas de *R. palmarum* en comparación con la parte basal del tronco. En el presente trabajo no hubo una relación significativa entre el diámetro del cilindro apical-central del tronco y el número de larvas encontradas en *R. palmarum*. El tercio basal, debido a su función de soporte para la palma aceitera en pie, contiene fibras lignificadas que son más duras y quizá no apropiadas para la alimentación, crecimiento y desarrollo de las larvas; sin embargo, cuando hay humedad y sombra, se observa el desarrollo de larvas en la base lignificada del tronco cortado (Ávila et al., 2014; Choo et al., 2009; Delgado et al., 2008).

El Cuadro 3 presenta las clases de textura del suelo en cada distrito. Los resultados indican que hay mayor porcentaje de suelo franco arcilloso en Tahuayo-Neshuya, franco arenoso en San Pedro-Campo Verde y arcilloso en Maronal-Curimaná. El porcentaje de suelo franco arcilloso (textura dominante) y el número de larvas de *R. palmarum* encontradas por distrito mostraron una relación positiva entre ambas variables ( $r_s = 1.00$ ,  $P < 0.01$ ). El número de larvas de *R. palmarum* fue estadísticamente diferente en las tres localidades ( $F = 17.40$ ;  $P < 0.001$ ; Levene = 1.28).

La textura es una propiedad relativamente estable que influye en el manejo, movimiento del agua y aire, determinación de la génesis, infiltración y humedad en

**Table 3. Soil texture class of three districts with oil palm (*Elaeis guineensis*) production in Pucallpa, Ucayali, Peru, and number of *Rhynchophorus palmarum* larvae.**

**Cuadro 3. Clase de texturas del suelo de tres distritos con producción de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en Pucallpa, Ucayali, Perú, y número de larvas de *Rhynchophorus palmarum*.**

Soil texture / Textura de suelo	San Pedro-Campo Verde (%)	Tahuayo-Neshuya (%)	Maronal- Curimaná (%)
Sandy loam / Franco-arenoso	35	0	10
Loam / Franco	16	0	17
Clay loam / Franco-arcilloso	29	53	17
Clay / Arcilloso	13	13	21
Clay sandy loam / Franco-areno-arcilloso	7	7	21
Silty clay / Arcilloso-limoso	0	27	14
Total	100	100	100
Number of larvae / Número de larvas	56.67 ± 39.23 a	145.67 ± 39.67 b	50.00 ± 28.14 a

The number of larvae was different among districts according to Tukey's test ( $P < 0.001$ ). ± standard error of the mean.

El número de larvas fue diferente entre distritos de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P < 0.001$ ). ± error estándar de la media.

## Conclusions

The diameters of the oil palm *Elaeis guineensis* trunk sections were different among sites, with the central cylinder representing the greatest proportion of the trunk being the largest. There is no relationship between the number of *Rhynchophorus palmarum* larvae and the length and diameter of the trunk. Nor was there a relationship between the diameter of the central cylinder of the three-thirds (apical, middle and basal) of the trunk and the number of larvae. Therefore, trunk characteristics are not associated with the development of *R. palmarum*. However, the clay loam soil texture did have an important role since it showed a positive relationship with the number of larvae.

## Acknowledgments

The authors wish to thank the following: INNOVATE-Peru for co-funding the project “Use of adult oil palm tree stems for the rearing of *suri* (*Rhynchophorus palmarum* L. larvae), as an alternative to burning, in the Province of Coronel Portillo and Padre Abad, Ucayali Region”; the research and innovation company *Negocios Amazónicos Sustentables EIRL*, *Negasus* and its technical team and researchers for being the executing and co-funding company of the aforementioned project; palm growers Bertha Masma Santiago, Heriberto Tamani Murayari and Jaime Egoavil (San Pedro-Campo Verde); Ruben Ñaupá Ames, Alberto Isuiza Salas and Marcial (Tahuayo-Neshuya); and Bil Watson Rivas Chino, Roly Lozano Jara and Juan Gerardo Gastelú Gonzales (Maronal-Curimaná), for access to their plantations, where the felled trunks for the production of *R. palmarum* larvae were selected.

*End of English version*

## References / Referencias

- Aldana de la Torre, R. C., Aldana de la Torre, J. A., & Moya, O. M. (2010). Biología, hábitos y manejo de *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae). Retrieved from <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/view/10508/10498>
- Arboleda, M. N. (2008). La palma africana en el Pacífico colombiano: su ilegalidad, consecuencias y violación de derechos territoriales. *Revista Luna Azul*, 27, 113–126. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n27/n27a09.pdf>
- Abe, F., Hata, K., & Sone, K. (2009). Life history of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Dryophthoridae), in Southern Japan. *Florida Entomologist*, 92(3), 421–425. doi: 10.1653/024.092.0302
- Ávila, R. A., Bayona, C., Rincón, A., & Romero, H. M. (2014). Effect of replanting systems on populations of *Strategus aloeus* (L.) and *Rhynchophorus palmarum* (L.)

el suelo (Paramananthan, 2013). En este contexto, los troncos que se encuentran en estas clases de textura del suelo se consideran buenos sustratos alimentarios porque tienen menos fibra, son ricos en carbohidratos y proteínas y podrían soportar un crecimiento larval rápido (Paramananthan, 2013; Woittiez et al., 2017). Los suelos arcillosos son preferibles porque favorecen el crecimiento radicular de la palma aceitera y retienen cantidades adecuadas de humedad; es por esto que los troncos están mejor desarrollados en suelos con textura franco arcillosa (Ortiz & Fernández, 1994).

Los resultados obtenidos de la reproducción de *R. palmarum* muestran la importancia de la clase de textura del suelo en el crecimiento de los troncos. Lo anterior se refleja en un mayor número de larvas de *R. palmarum* en el caserío de Tahuayo-Neshuya con el aumento de la textura franco-arcillosa y un menor número de larvas en San Pedro-Campo Verde y en Maronal-Curimaná con una textura dominante diferente a la textura franco-arcillosa (Cuadro 3).

## Conclusiones

Los diámetros de las secciones troncales de palma aceitera *Elaeis guineensis* fueron diferentes entre sitios, siendo más grande el cilindro central que representa la mayor proporción del tronco. No existe relación entre el número de larvas de *Rhynchophorus palmarum* y la longitud y diámetro del tronco. Tampoco hubo relación entre el diámetro del cilindro central de los tres tercios (apical, medio y basal) del tronco y el número de larvas. Por ende, las características del tronco no están asociadas al desarrollo de *R. palmarum*. No obstante, la textura del suelo franco arcilloso sí tuvo un rol importante, ya que mostró una relación positiva con el número de larvas.

## Agradecimientos

A INNOVATE-Perú por el cofinanciamiento del proyecto “Aprovechamiento de estípites de árboles adultos de palma aceitera para la crianza de *suri* (larva de *Rhynchophorus palmarum* L.), como alternativa a la quema, en la Provincia de Coronel Portillo y Padre Abad, Región Ucayali”. A la empresa de investigación e innovación *Negocios Amazónicos Sustentables EIRL*, *Negasus* y a su equipo técnico e investigadores, por ser la empresa ejecutora y cofinanciadora del proyecto antes mencionado. A los señores palmicultores: Bertha Masma Santiago, Heriberto Tamani Murayari y Jaime Egoavil (San Pedro-Campo Verde); Ruben Ñaupá Ames, Alberto Isuiza Salas y Marcial (Tahuayo-Neshuya); y Bil Watson Rivas Chino, Roly Lozano Jara y Juan Gerardo Gastelú Gonzales (Maronal-Curimaná), por las facilidades e ingreso a sus plantaciones, donde se seleccionaron los troncos tumbados para la producción de larvas de *R. palmarum*.

*Fin de la versión en español*



- associated with the oil palm *OxG* interspecific hybrid (*Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*) in Southwestern Colombia. *Agronomía Colombiana*, 32(2), 224–231. doi: 10.15446/agron.colomb.v32n2.43011
- Aznab, L., & Mohd, M. (2002). The optimal age of oil palm replanting. *Oil Palm Industry Economic Journal*, 2(1), 11–18. Retrieved from <http://www.mpob.gov.my/en/home/799-oil-palm-industry-economic-journal-issn-1675-0632>
- Beretta, A. N., Silbermann, A. V., Paladino, L., Torres, D., Bassahun, D., Musselli, R., & García-Lamohte, A. (2014). Soil texture analyses using a hydrometer: modification of the Bouyoucos method. *Ciencia e Investigación Agraria*, 41(2), 263–271. doi: 10.4067/S0718-16202014000200013
- Bonneau, X., Impens, R., & Buabeng, M. (2018). Optimum oil palm planting density in West Africa. *Oilseeds & Fats Crops and Lipids*, 25(2), A201. doi: 10.1051/ocl/2017060
- Bonneau, X., Vandessel, P., Buabeng, M., & Erhahuyi, C. (2014). Early impact of oil palm planting density on vegetative and oil yield variables in West Africa. *Oilseeds & Fats Crops and Lipids*, 21(4), A401. doi: 10.1051/ocl/2014009
- Cayón-Salinas, D. G. (1999). Apuntes sobre fisiología del crecimiento y desarrollo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Palmas*, 20(3), 43–54. Retrieved from <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/710/710>
- Cerda, H., Martínez, R., Briceno, N., Pizzoferrato, L., Manzi, P., Ponzetta, T., ... Paoletti, M. G. (2001). Palm worm: (*Rhynchophorus palmarum*) traditional food in Amazonas, Venezuela-nutritional composition, small scale production and tourist palatability. *Ecology of Food and Nutrition*, 40(1), 13–32. doi: 10.1080/03670244.2001.9991635
- Choo, J., Zent, E. L., & Simpson, B. B. (2009). The importance of traditional ecological knowledge for palm-weevil cultivation in the Venezuelan amazon. *Journal of Ethnobiology*, 29(1), 113–128. doi: 10.2993/0278-0771-29.1.113
- Clare, P. (2004). El cultivo de la palma aceitera en Costa Rica en el contexto del TLC con los Estados Unidos de Norteamérica. *Espiga*, 5(9), 95–124. Retrieved from <http://investiga.uned.ac.cr/revistas/index.php/espiga/article/view/1108/1044>
- Delgado, C., Couturier, G., Mathews, P., & Mejia, K. (2008). Producción y comercialización de la larva de *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Dryophoridae) en la Amazonía peruana. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*, 41(1), 407–412. Retrieved from [http://sea-entomologia.org/Publicaciones/PDF/BOLN42/407\\_412BSEA41EAComercialRhynchophorus.pdf](http://sea-entomologia.org/Publicaciones/PDF/BOLN42/407_412BSEA41EAComercialRhynchophorus.pdf)
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2014). IS InfoStat. Software estadístico. Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Garbanzo, L. G. (2016). Inducción de senescencia en palma aceitera *Elaeis guineensis* para renovación (Arecas: Arecaceae) mediante mezclas de herbicidas. *Cuadernos de Investigación UNED*, 8(1), 49–54. Retrieved from <http://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v8n1/1659-4266-cinn-8-01-00048.pdf>
- Hang, P. L., & Sharma, M. (2000). Principios para la renovación de palma de aceite: la experiencia de United Plantations. *Palmas*, 21(2), 11–24. Retrieved from <http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/731/731>
- Hinrichsen, N. (2016). Commercially available alternatives to palm oil. *Lipid Technology*, 28(3-4), 65–67. doi: 10.1002/lite.201600018
- Hodel, D. R., Marika, M. A., & Ohara, L. M. (2016). The South American palm weevil a new threat to palms in California and the Southwest. *PalmArbor*, 3, 1–27. Retrieved from [https://civr.ucr.edu/pdf/south\\_american\\_palm\\_weevil\\_hodel.pdf](https://civr.ucr.edu/pdf/south_american_palm_weevil_hodel.pdf)
- Idris, O., Azman, L., & Chang, L. (2001). Improving productivity: The replanting imperative. *Oil Palm Industry Economic Journal*, 1, 21–29. Retrieved from <http://palmoilis.mpob.gov.my/publications/OPIEJ/opiej11-4.pdf>
- Loh, P., & Mukesh, S. (1999). The essentials of oil palm replanting: United plantations experience. *The Planter*, 75(879), 289–303. Retrieved from <http://agris.upm.edu.my:8080/dspace/handle/0/743>
- Monzenga, L. J. C., Le Goff, G. J., Kayisu, K., & Hance, T. (2017). Influence of substrates on the rearing success of *Rhynchophorus phoenicis* (Fabricius). *African Journal of Food Science and Technology*, 8(1), 7–13. Retrieved from <https://www.interestjournals.org/articles/influence-of-substrates-on-the-rearing-success-of-rhynchophorus-phoenicis-fabricius.pdf>
- Mosquera, M., Valderrama, M., Fontanilla, C., Ruíz, E., Uñate, M., Rincón, F., & Arias, N. (2016). Costos de producción de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia en 2014. *Palmas*, 37(2), 37–53. Retrieved from <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11737>
- Ortiz, R., & Fernández, O. (1994). *El cultivo de palma aceitera* (1.ª ed.). Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.
- Paramanathan, S. (2013). Managing marginal soils for sustainable growth of oil palms in the tropics. *Journal of Oil Palm & The Environment*, 4, 1–16. Retrieved from <https://jopeh.com.my/index.php/jopecommon/article/viewFile/60/92>
- Pérez, D., & Iannacone, J. (2006). Aspectos de la bioecología de *Rhynchophorus palmarum* (Linnaeus) (Coleoptera: Curculionidae) en el pijuayo (*Bactris gasipaes* H. B. K.) (Arecaceae), en la Amazonía peruana. *Revista Peruana de Entomología*, 45, 138–140. Retrieved from <http://www.iiap.org.pe/upload/Publicacion/PUBL1192.pdf>
- Rivas-Figueroa, F., Moreno, F., Rivera-Casignia, G. Á., Herrera-Isla, L., & Leiva-Mora, M. (2017). Incidencia, progresión e intensidad de la pudrición del cogollo de *Elaeis guineensis* Jacq. en San Lorenzo, Ecuador. *Centro Agrícola*, 44(1), 28–33. Retrieved from [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0253-57852017000100004&lng=es&tln=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852017000100004&lng=es&tln=es)

- Rodríguez-Currea, H. J., Marulanda-López, J. F., & Amaya, C. (2017). Metodología de manejo de *Rhynchophorus palmarum* L. 1758 (Coleoptera: Curculionidae) a base de caïromonas, feromonas y semioquímicos en plantaciones comerciales de chontaduro (*Bactris gasipaes* (Arecaceae: Arecaceae)) en Riosucio, Caldas. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 21(1), 59–67. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v21n1/v21n1a05.pdf>
- Sánchez, P. A., Jaffé, K., Hernández, J. V., & Cerda, H. (1993). Biología y comportamiento del picudo del cocotero *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae). *Boletín de Entomología Venezolana*, 8(1), 83–93. Retrieved from <http://atta.labbb.usb.ve/Klaus/art77.pdf>
- Sancho, D., Álvarez, M., & Fernández, L. (2015). Insectos y alimentación. Larvas de *Rhynchophorus palmarum* L., un alimento de los pobladores de la Amazonía Ecuatoriana. *Revista Entomotropica*, 30(14), 135–149. Retrieved from [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_ento/article/view/9492](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_ento/article/view/9492)
- Van Itterbeeck, J., & van Huis, A. (2012). Environmental manipulation for edible insect procurement: a historical perspective. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 8(3), 1–7. doi: 10.1186/1746-4269-8-3
- Vargas, G., Espinoza, G., Ruiz, C., & Rojas, R. (2013). Valor nutricional de la larva de *Rhynchophorus palmarum* L.: comida tradicional en la Amazonía peruana. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 79(1), 64–70. Retrieved from [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2013000100009](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2013000100009)
- Woittiez, L. S., van Wijk, M. T., Slingerland, M., van Noordwijk, M., & Giller, K. E. (2017). Yield gaps in oil palm: A quantitative review of contributing factors. *European Journal of Agronomy*, 83, 57–77. doi: 10.1016/j.eja.2016.11.002