

Indicadores agroambientales para la producción de palma de aceite sostenible*

Agri-Environmental Indicators for a Sustainable Oil Palm Production

CITACIÓN: Caliman, J. (2016). Indicadores agroambientales para la producción de palma de aceite sostenible. *Palmas 37*(Especial Tomo I), pp. 203-213.

PALABRAS CLAVE: indicadores agroambientales, materia orgánica del suelo, palma de aceite, residuos de pesticidas, servicios del ecosistema.

KEYWORDS: Environmental indicators, soil organic matter, oil palm, pesticide residues, ecosystem services.

*Artículo original recibido en inglés y traducido por Strong Tower Consulting.



JEAN PIERRE CALIMAN

Director del Smart Research Institute
Director of the Smart Research Institute
jpcaliman@sinarmas-agri.com

Resumen

Los indicadores agroambientales fueron propuestos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, OCDE (1998) para evaluar y monitorizar el impacto de la agricultura sobre el medio ambiente, con el objetivo de lograr una agricultura sostenible, la cual es una preocupación pública de gran importancia. Incluye varios componentes del medio ambiente, como la calidad de la tierra, la calidad del agua, la biodiversidad y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Se están desarrollando indicadores específicos para el cultivo de palma de aceite. La estrategia es construir un conjunto de indicadores que sean simples, entendibles, que ofrezcan un panorama representativo de la situación y que permitan hacer diagnósticos, predicciones, monitorizar el progreso, tomar decisiones y en algunos casos, también para fines de comunicación.

En este artículo se hace un recuento del enfoque y la metodología que se han elegido y se da un informe del progreso en la investigación. En la actualidad, el enfoque está sobre la validación de los indicadores clave que fueron desarrollados en un pasado reciente, específicamente en cuanto a la calidad del agua (residuos de pesticidas y nutrientes). También se presenta un indicador para la materia orgánica.

Además se presenta el trabajo actual para evaluar el enlace entre el impacto sobre el medio ambiente de las prácticas sobre el terreno del cultivo de palma de aceite y la retroalimentación de este impacto sobre el rendimiento de la palma misma. La plataforma de Función de la Biodiversidad y del Ecosistema en la Agricultura Tropical (Biodiversity and Ecosystem Function in Tropical Agriculture, BEFTA) establecida en Sumatra (Indonesia) buscó estudiar la relación entre la complejidad del hábitat en el sotobosque de una plantación, la biodiversidad y la función del ecosistema, con el rendimiento de las palmas. Los resultados preliminares muestran que la reducción en la diversidad de la flora y en la cobertura de la vegetación lleva a un descenso en la cantidad de plagas, como también a variaciones más extremas en la temperatura de la tierra.

Se muestra cómo la monitorización de la diversidad y la cobertura de la flora en el sotobosque pueden ayudar a cuantificar el estado químico de la tierra, ayudando así a la gestión de fertilizante; y se presentarán otros vínculos entre el medio ambiente y el posible rendimiento de las palmas.

Abstract

Agri-environmental indicators were proposed by Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD (1998) to evaluate and monitor the impact of agriculture on the environment, with objective the achievement of sustainable agriculture, a major public concern. It includes various components of the environment such as soil quality, water quality, biodiversity and greenhouse gases emission.

Dedicated indicators are being developed for oil palm cultivation. The strategy is to build a set of indicators, which are simple, understandable, providing a representative picture of the situation, and allowing making diagnostic, prediction, monitoring progress, taking decisions and in some case for communication.

In this paper, we remind the approach and methodology chosen and give an update about research progress. Current focus is placed on the validation of key indicators developed in the recent past, specifically regarding water quality (pesticides residues and nutrients). An indicator about soil organic matter are also presented.

The paper are also presents current work to evaluate the link between the impact of field practices in oil palm cultivation to the environment, and the feed-back of this impact on the performance of the palms itself. The Biodiversity and Ecosystem Function in Tropical Agriculture platform (BEFTA) set up in Sumatra (Indonesia), aimed to study the relationship between habitat complexity in the understorey of a plantation, biodiversity and ecosystem function, and the performance of the palms. Preliminary results show that a reduction of the flora diversity and vegetation cover leads to a decline of assassin bugs number, as well as more extreme variations in soil temperature.

We also show how a monitoring of the diversity and coverage of flora in the understorey can help to quantify the chemical soil status, helping for fertilizer management. Other links between the environment and the possible performance of the palms are presented.

□

Los indicadores agroambientales fueron propuestos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, OCDE (1998), para evaluar y monitorizar el impacto de la agricultura sobre el medio ambiente, con el objetivo de lograr una agricultura sostenible, lo cual es una importante preocupación pública. Se incluyen diversos componentes medioambientales, como la calidad del suelo, la calidad del agua, la biodiversidad y la emisión de gases de efecto invernadero.

Se están desarrollando indicadores para la agricultura de clima templado; por ejemplo, el método INDIGO® (Girardin *et al.*, 2005), y posteriormente se están adaptando para el cultivo de la palma de aceite (Carcasses, 2004, Caliman *et al.*, 2005, Rodrigues *et al.*, 2010). La estrategia es crear un conjunto de indicadores que sean simples, comprensibles, que brinden una imagen representativa de la situación, y que permitan hacer diagnósticos, predicciones, monitoriza-

ción del progreso, que faciliten la toma de decisiones y en algunos casos, que ayuden en la comunicación.

Este documento ofrecerá una actualización de los avances con relación al desarrollo de este tipo de herramientas: recordaremos el enfoque y la metodología elegidos y presentaremos una actualización respecto del trabajo de investigación, centrada en el trabajo de validación de estos indicadores, con base en el ejemplo de $I_{\text{Phy-Palm}}$, el indicador relacionado con la utilización de plaguicidas. También se presentará el indicador I_{SOM} para la materia orgánica del suelo.

Este documento también describe los estudios actuales para evaluar la relación del impacto sobre las prácticas de campo y en el cultivo de la palma de aceite sobre el medio ambiente, junto con la retroalimentación de este impacto sobre la productividad de las palmas mismas. Se hace una descripción de la plataforma de Función de la Biodiversidad y los Ecosistemas en la Agricultura Tropical (Biodiversity and Ecosystem Function in Tropical Agriculture, BEFTA) elaborada en Sumatra (Indonesia), cuyo objetivo es estudiar la relación entre la complejidad del sotobosque de una plantación, la biodiversidad y su función conexas al ecosistema, y la productividad de las palmas. También se muestra cómo la monitorización de la diversidad y la cobertura de la flora del sotobosque pueden ayudar a cuantificar el estado químico del suelo, lo cual ayuda con la gestión de fertilizantes.

Indicadores agroambientales: objetivo y enfoque (Girardin *et al.*, 2005)

El objetivo principal de los indicadores es desarrollar una herramienta para evaluar el impacto de la producción de aceite de palma sobre el medio ambiente. Esta herramienta debe estar fundamentada de forma científica para ser creíble, pero a la vez debe ser simple y comprensible para todos, desde los plantadores hasta los consumidores, y debe dar un panorama representativo de la situación. Además, su implementación no debe ser costosa. En consecuencia, una herramienta de este tipo podría emplearse para hacer el diagnóstico, para monitorizar el progreso, y debe ser una herramienta de decisión con el fin de elegir la mejor opción en términos de prácticas. Por último,

los resultados se utilizarán para la comunicación interna y externa.

Tales indicadores no pretenden medir, controlar o verificar el nivel de un parámetro específico, sino evaluar el nivel probable de dicha variable en comparación con un valor de referencia, que se reconoce como un valor representativo de las prácticas sostenibles. El método INDIGO® fue desarrollado con este fin (Bockstaller *et al.*, 1997, Girardin *et al.*, 1999 a, b), y varios de sus indicadores han sido o están siendo adaptados al cultivo de la palma de aceite (Caliman *et al.*, 2006).

El método INDIGO® fue propuesto por el Instituto Nacional de Investigación Agronómica (Institut National de la Recherche Agronomique, INRA) en Francia, con el fin de caracterizar el efecto de las prácticas de campo sobre la agricultura de tierra templada, en cada parámetro específico del medio ambiente (Bockstaller *et al.*, 1997, Girardin *et al.*, 1999a, 1999b, 2000). El concepto se presenta como una matriz de doble entrada que cruza las prácticas agrícolas y los componentes ambientales del agroecosistema (Figura 1). Una celda de la matriz representa el impacto de una práctica agrícola sobre un parámetro específico del medio ambiente. Representa la unidad básica (módulo) sobre la cual se basará el indicador agroambiental. La agregación “vertical” de todos estos módulos en una columna específica representa el impacto de una práctica sobre todos los parámetros del medio ambiente; este es el indicador agroambiental. Por otra parte, la agregación horizontal de cada módulo da la posibilidad de construir un indicador de impacto ecológico, es decir, la evaluación de cómo un parámetro específico del medio ambiente se ve afectado por la producción de aceite de palma.

En 2006 se propusieron varios indicadores dedicados al cultivo de palma de aceite (Caliman *et al.*) Se presentaron dos indicadores en la XV Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite de Cenipalma: I_N y $I_{\text{Phy-Palm}}$. Sin embargo, la validación no estaba terminada para ese momento. Ambos indicadores evalúan el riesgo de las prácticas agrícolas sobre la calidad de las aguas superficiales, las aguas subterráneas y la atmósfera. Todas las variables utilizadas por estos indicadores son datos que por lo general se registran en el manejo de las plantaciones, o que son definidos en las tablas adjuntas.

Figura 1. Matriz agroambiental de la producción de aceite de palma.

Matriz agroambiental		Preparación y manejo de la tierra						Irrigación		Fertilización					Pesticidas		Extractora			Indicador ecológico	
		Limpieza del terreno	Preparación del suelo (Primera generación)	Preparación del suelo (renovación)	Adecuación del entorno (Terrazas, ...)	Cultivo de cobertura de leguminosas	Materia orgánica (MGAT biomasa)	Vivero	Plantación	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Magnesio	Micronutrientes (Ca, ...)	Pesticidas	Herbicidas	EFB	Efluente	Humo		Pérdida de aceite
Agua	Superficie	++	++	+	++	++	+	++	+	++	+	+	+	+	+		++		++		Calidad de aguas superficiales Calidad del agua subterránea Calidad del aire Fertilidad química del suelo Fertilidad física del suelo Fertilidad biológica del suelo Valores del recurso natural
	Aguas subterráneas	++	+	+	+	+		+	++	+	+	+	+	+	+		++				
Aire		+	+	+					++					+	+	++	++	++			
Suelo	Químico	++	+	+	+	++	++	+		+	+	+	+	+		++	+				
	Físico	++	++	++	+	++	++	+			+					++	+				
	Biológico	+	+	+	+	++	++		+	+				+	+	++	+				
Recursos no renovables		+	+	+	+	++	+	++	++	++	++	++				+	+				
Biodiversidad		+++	+	+	+	+			+	+			+	++	++	+	+				
Paisaje		+++	+	+	+	+			+	+	+	+	+								
Indicador agroambiental							iOM			iN	iP	iK	iMg		iPHY						

Validación de los indicadores existentes

La validación científica de este tipo de indicadores, de manera similar a la validación de los modelos científicos, es uno de los pasos más difíciles en este tipo de investigación.

$I_{\text{Phy-Palm}}$ se presenta en una etapa final de validación. Este indicador está compuesto por cuatro componentes: tres de ellos evalúan el riesgo del uso de pesticidas sobre los tres elementos ambientales principales: las aguas subterráneas, las aguas superficiales y el aire; el último depende de la tasa de plaguicidas aplicados. Posteriormente, los distintos componentes se agregan utilizando la lógica difusa y un sistema de reglas de decisión (Wohlfahrt *et al.*, 2009). La validación consiste en comparar los puntajes de $I_{\text{Phy-Palm}}$ con las pérdidas de pesticida medidas en el campo.

Decidimos validar el componente de agua superficial, que evalúa el riesgo de contaminación de las aguas superficiales por residuos de pesticidas. Dado que en este componente se incluyen un gran número

de variables, hemos seleccionado aquellas que dependen más de las condiciones de campo o las prácticas agrícolas, por ejemplo, la pendiente del terreno y el manejo de la cobertura vegetal. El agua superficial I-Phy fue agregada al componente de la tasa para calcular el agua de superficie I-phy modificada.

Para dicho fin, se estableció un diseño de campo dedicado para una plantación de palma de aceite ubicada en Sumatra (Indonesia). El estudio de escorrentía también se utiliza para evaluar las aguas de escorrentía, la erosión del suelo y la pérdida de nutrientes con relación a la cobertura y la pendiente del suelo. Estos experimentos de campo consisten en parcelas de 18 x 18 m (que incluyen cuatro palmas), aislados de la intrusión de agua de escorrentía exterior con un muro de 20 cm de alto construido con ladrillos. El agua de escorrentía y la erosión del suelo se recogen en bidones de plástico calibrados.

Decidimos enfocarnos en los herbicidas, los principales pesticidas utilizados en las plantaciones (los herbicidas representan 98 % de los pesticidas utilizados, GAR, 2014).

Para probar el indicador se aplicó una dosis fija ($11 \pm 0,38$ ml) de glifosato por parcela en 27 parcelas. En tres parcelas se aplicaron las prácticas estándar (dosis según la cobertura de maleza). Después de cada evento de precipitación de lluvia, se recogió el agua de escorrentía y se determinó la concentración de glifosato. No se encontró AMPA (producto de degradación del glifosato) en el agua de escorrentía. Se efectuaron cálculos de las pérdidas de glifosato ($\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$) y del agua I-Phy modificada de la superficie.

La prueba de validación consiste en definir una zona de probabilidad que representa al indicador y compararla con las pruebas de mediciones de campo, verificando si el área de probabilidad incluye al menos 95 % de los puntos (Bockstaller and Girardin, 2003). Consideramos los valores con malos puntajes y bajos niveles de pérdida de pesticidas “dentro del área de probabilidad”; los buenos puntajes correspondientes a las pérdidas elevadas de los pesticidas están excluidos de esta área. La matriz se completará y los parámetros $I_{\text{Phy-Palm}}$ pueden ajustarse según los resultados posteriores. En la actualidad, I_N también se encuentra en fase de validación, y los resultados podrían ser presentados en una próxima publicación.

Desarrollo de nuevos indicadores I_{SOM} (Piercy Gatineau *et al.*, 2010)

Además de la consideración de la fertilidad del suelo, el carbono orgánico del suelo atrae un interés cada vez mayor por su posible contribución a la mitigación del

cambio climático. Se afirma que un aumento anual de 0,4 % en el carbono orgánico del suelo podría compensar las emisiones de CO_2 (www.agriculture.gouv.fr/). Esto gracias a su gran producción de biomasa, de la cual una parte significativa (frondas) se recicla durante todo el año en los campos, o al final del ciclo; es decir, cada ± 25 años, mientras que la mayor parte de la enorme cantidad de residuos orgánicos obtenidos después de la extracción también se reciclan en las plantaciones, aunque la aplicación cubre un área más limitada (pero con una alta tasa por hectárea), la palma de aceite podría contribuir a la mitigación del cambio climático a través de un aumento en la fijación de carbono en el suelo.

El objetivo del indicador de materia orgánica del suelo (MOS), I_{SOM} , en el cultivo de la palma de aceite, es predecir el nivel futuro de MOS con base en un equilibrio fuente/sumidero. Para ello, el indicador incluye dos submódulos, respectivamente. La Tabla 1 presenta los parámetros y las variables utilizadas en el indicador.

La computación se realiza por separado para cada componente espacial de una plantación (incluyendo pilas de material de poda de hoja (calle de palera), calle de cosecha, círculo de palma...) que se agregan posteriormente en una puntuación única.

Fuente orgánica (para conocer más detalles, véase Piercy Gatineau *et al.*, 2010)

La fuente interna se refiere a la materia orgánica hallada en el suelo o en la tierra, mientras que las fuentes orgánicas se refieren a la parte de estos materiales

Tabla 1. Ejemplos de variables y parámetros utilizados para I_{SOM} .

Parámetros
Coeficientes iso-húmicos de fuentes internas y contenidos de agua
Peso en fresco de los residuos
Contenido de suelo arcilloso y piedra caliza
% de materia orgánica activa en la materia orgánica del suelo
Profundidad del suelo; masa de volúmenes en el suelo; reserva máxima de agua en el suelo
Temperatura de referencia T_{ref}
Variables
Características vegetativas de la palma (radio del tallo...)
Ocupación de la tierra (ancho del camino de cosecha, ancho de pila fronda, ancho de aplicación de EFB, ...)

que efectivamente entran en el suelo para convertirse en materia orgánica. La cantidad del origen orgánico en el suelo depende del "Coeficiente de isohúmico (k1)". Basado en el modelo de Henin-Dupuis:

(Ecuación 1)

$$\text{Fuentes orgánicas} = Sk_i \cdot \text{fuente interna}_i$$

En donde i es el índice de fuentes internas

Las fuentes internas tomadas en cuenta en el I-SOMPalm son:

- Malezas: densidad total de cada especie relacionada con el número de especies de maleza por hectárea; la fuente potencial de la materia orgánica (es decir, si el cuerpo muere) a partir del tejido de la especie en cuestión, por hectárea, ...)
- Raíces de la palma: la rotación de raíces debe ser evaluada o tomada de la literatura (con frecuencia, 30 % se considera como valor por defecto).
- Otros tipos de biomasa reciclada de palmas: racimos de fruta vacíos.

Sumidero orgánico (para conocer más detalles, véase Piercy Gatineau *et al.*, 2010).

Las pérdidas orgánicas se dan principalmente por medio de la mineralización. El nivel de pérdidas orgánicas depende del coeficiente de mineralización k2. Basado en el modelo Henin-Dupuis, depende principalmente de la textura, la temperatura y la humedad del suelo. En el modelo, las pérdidas orgánicas a lo largo de un año se estiman a partir de la siguiente ecuación:

(Ecuación 2)

$$\text{Pérdidas orgánicas} = OMa \cdot M \cdot k2$$

con (Ecuación 3)

$$k2 = K \cdot f\theta \cdot fw \cdot P$$

(Ecuación 4)

$$k2 = OMa \cdot M \cdot K \cdot f\theta \cdot fw \cdot P$$

En donde:

OMa: porcentaje de materia orgánica en el suelo. Normalmente es el 35 % del nivel total de materia orgánica del suelo.

M: masa del suelo en la zona considerada y sobre una profundidad pertinente

K: coeficiente de potencial en función del contenido de arcilla y piedra caliza del suelo.

$$K = 1200 / [(110 + \% \text{ arcilla}) \cdot (600 + \% \text{ piedra caliza})]$$

fθ: Coeficiente correctivo relacionado a la temperatura del suelo (modelo STICS 5)

$$f\theta = \exp(a \cdot (T - T_{ref}))$$

T: temperatura

a: coeficiente; a = 0,115

T_{ref}: temperatura de referencia; en países tropicales T_{ref} = 25 °C

fw: Coeficiente correctivo relacionado con la humedad del suelo (modelo STICS 5)

$$fw(SWR) = 1$$

si $SWR \geq 0.8 \cdot SWR_{max}$

$$fw(SWR) = SWR / (0.8 \cdot SWR_{max})$$

si $SWR < 0.8 \cdot SWR_{max}$

SWR: reserva de agua del suelo (*soil water reserve*).

el fw se calcula para cada período de diez días, y el fw final es la media de más de un año

P: Coeficiente de ponderación.

$$P = I \cdot TS \cdot fr$$

I: coeficiente corrección relacionado al riego. si hay riego, I = 1; si no hay riego, I = 1,25.

TS: coeficiente corrector relacionado con la labranza del suelo en los cuatro años anteriores. si hay al menos uno, TS = 1; si es solo superficial, TS = 0,8; si no hay labranza, TS = 0.

fr: coeficiente corrector con relación a la frecuencia de fertilización orgánica.

si > 10 años, fr = 1; si de 5 a 10 años, fr = 1,1; si 3-5 años, fr = 1,2; si < 3 años, fr = 1,3.

Sistema de puntuación (para conocer más detalles, véase Piercy Gatineau *et al.*, 2010)

La puntuación de la materia orgánica del suelo en cada zona (I-SOMzone) se obtiene mediante la

comparación de la proporción de humus con el nivel de materia orgánica del suelo objetivo. Sin embargo, se consideran dos métodos de cálculo basados en la comparación entre el nivel de materia orgánica del suelo real del bloque comercial y el nivel objetivo:

Si el nivel real es mayor que el nivel teóricamente adecuado, las pérdidas orgánicas se calculan con el nivel real:

(Ecuación 5)

$$I\text{-SOMzone}_i = 10 \cdot (\text{fuentes orgánicas} / \text{pérdidas orgánicas})$$

Si el nivel actual es inferior al nivel teóricamente adecuado, las pérdidas orgánicas se calculan con el nivel adecuado:

(Ecuación 6)

$$I\text{-SOMzone}_i = 7 \cdot (\text{fuentes orgánicas} / \text{pérdidas orgánicas})$$

La puntuación global de $I\text{-SOM}$

$$I\text{-SOM} = S_j ((\text{zona}_j / \text{área de bloque}) \cdot I\text{-SOMzone}_j)$$

En donde $I\text{-SOM}$ es el indicador global de la materia orgánica del suelo en todo el bloque a lo largo de un año; j es el índice para las zonas.

$I\text{-SOM}$ es un indicador global de materia orgánica del suelo calculada para un período de un año.

Se presentaron ejemplos de aplicación (Gatineau *et al.*, 2010). Los resultados muestran una puntuación muy alta, alcanzando el máximo valor posible del indicador, en el área en donde se recicla la biomasa de la palma (pilas de tusa, aplicaciones de EFB). Este resultado indica que existe una alta posibilidad de aumentar la fijación de carbono en el suelo a mediano - largo plazo. En la actualidad las observaciones y mediciones están en progreso, para validar este indicador y para predecir el rango de capacidad del agrosistema de la palma de aceite en cuanto a fijar el carbono en el suelo.

Un enfoque agroecológico del impacto del cultivo de la palma de aceite

Si bien los indicadores agroambientales, conforme a lo definido anteriormente, se enfocan estrictamente en el impacto de las prácticas de campo sobre el medio ambiente, el nuevo enfoque adicional que tenemos en la actualidad es el de trabajar simultáneamente en la retroalimentación de varios de estos impactos y su efecto sobre la productividad de la palma de aceite. Esto incluye evaluar el impacto de las prácticas de cultivo sobre algunos parámetros y componentes del medio ambiente, identificar los servicios que estos componentes prestan a las palmas, y evaluar y cuantificar, en la mayor medida posible, el impacto de la retroalimentación sobre la productividad de las palmas. Del mismo modo, se han hecho observaciones sobre el impacto de los cambios medioambientales a nivel global (en particular el cambio climático) sobre el funcionamiento de las palmas.

La plataforma BEFTA

Por ejemplo, la plataforma BEFTA (de la Función de la Biodiversidad y el Ecosistema en la Agricultura Tropical) se estableció en 2012 en Sumatra a través de la colaboración entre la Universidad de Cambridge y el Smart Research Institute (www.oilpalmbiodiversity.com). En este proyecto estudiamos la relación entre la complejidad del hábitat en el sotobosque de una plantación de palma de aceite, su impacto sobre la diversidad de la flora y la fauna y, posteriormente, la función de esta diversidad con relación a la productividad de las palmas.

El enfoque se basa en la manipulación de la cobertura vegetal del suelo con dos tratamientos, 1) una complejidad mejorada (la reducción de la utilización de herbicidas para mantener una máxima cobertura de vegetación), y 2) una complejidad reducida (la alta utilización de herbicidas para reducir al mínimo la cobertura vegetal del suelo; casi un suelo descubierto). Estos dos tratamientos se compararon con la práctica local estándar para mantener la vegetación (exceptuando las malezas nocivas) a un nivel aceptable compatible con una buena gestión de la plantación (mínima pérdida de frutos).

Se han encontrado varios resultados interesantes:

1- Un control severo de la vegetación de cobertura del suelo, lo que genera un suelo casi descubierto que induce a un cambio microclimático en la temperatura de la superficie, como muestra la Figura 2; este tratamiento genera una gama de temperaturas más extremas, con registros tanto superiores como inferiores (hasta 1,5 °C).

2- Dicho tratamiento también da como resultado una disminución de los agentes de control natural de las plagas como *Sycanus dichotomus* y *Picticeps cosmolestes*; por otra parte, el mantenimiento de una cobertura vegetal diversa atrae a una población significativa de estos insectos asesinos, que a su vez se supone

que contribuyen al control de la herbivoría (observación aún en curso), como muestra la Figura 3.

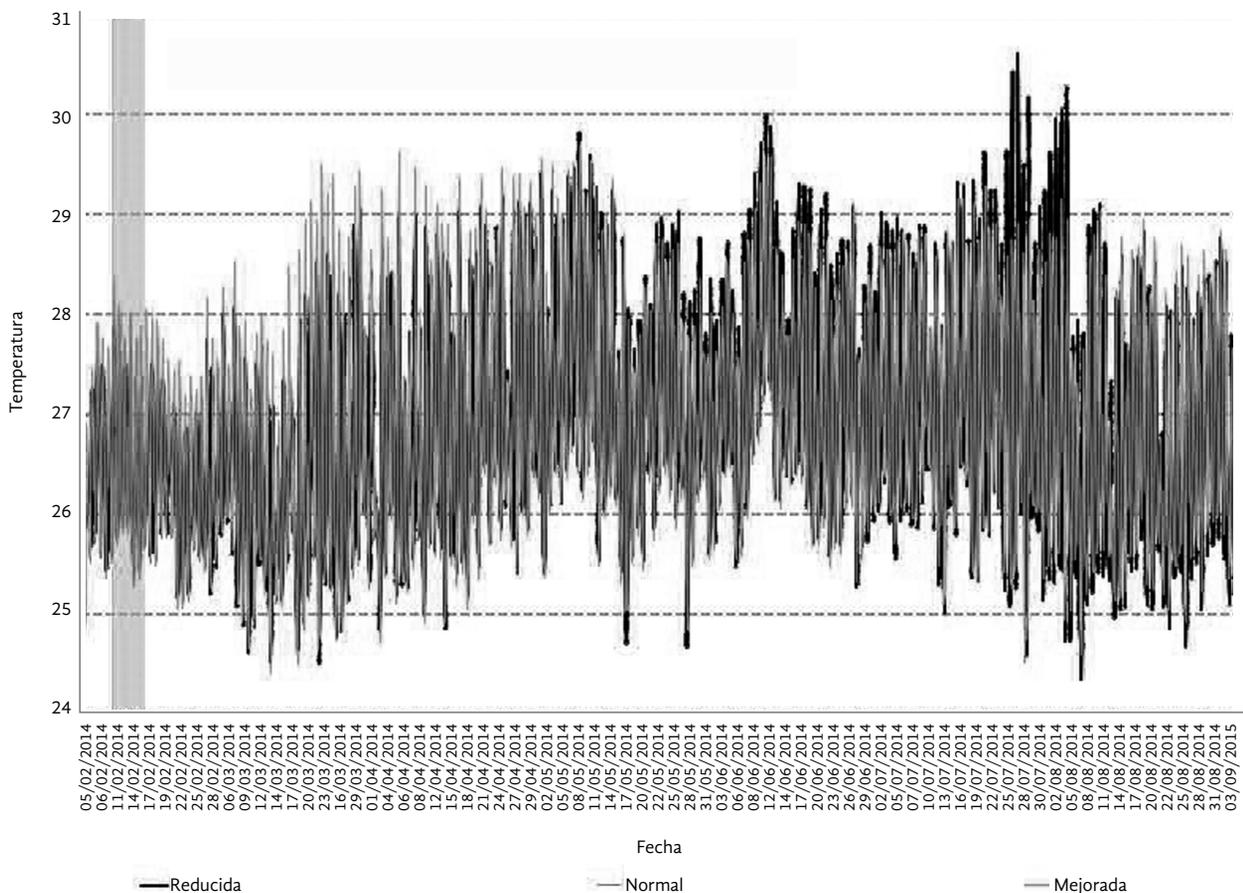
(color plano = después del tratamiento).

Calidad del agua y eficiencia de los fertilizantes (o del balance de nutrientes) en las prácticas de campo

Pérdida de nutrientes por escorrentía y erosión

Una plataforma separada busca cuantificar las pérdidas de nutrientes con base en el sistema de gestión

Figura 2. Proyecto BEFTA - Efecto del bajo y alto microclima del suelo (temperatura).



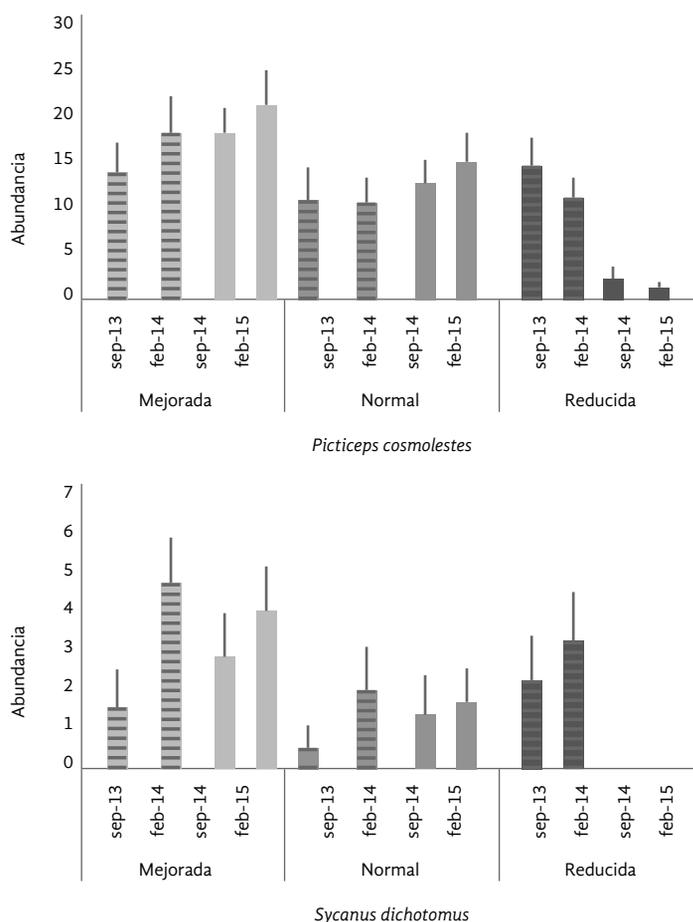


Figura 3. Proyecto BEFTA - Efecto de la diversidad alta (“mejorada”), estándar (“normal”) y baja (“reducida”) de la cobertura vegetal del suelo sobre los parasitoides beneficiosos.

de la cobertura vegetal del suelo. Un nivel de control de malezas severo, que nuevamente da como resultado un suelo casi descubierto (solo parte del área permanece cubierta con residuos de hoja) lleva a un alto nivel de pérdida de nutrientes debido a la escorrentía y la erosión. Como se muestra en la

Tabla 2, las cantidades de N, P y K que se pierden a través de la escorrentía y la erosión llegan a 9,4 %, 4,7 % y 3,1 %, respectivamente, con un uso intensivo de herbicidas, mientras que la conservación de la vegetación ocasiona pérdidas de 3,5 %, 1,9 % y 3,1 %, respectivamente.

Tabla 2. Pérdida de la cobertura vegetal del suelo y nutrientes.

Manejo de la vegetación del suelo	Pérdidas de nutrientes en la escorrentía de agua			Pérdidas de nutrientes en los sedimentos			Pérdida de nutrientes total		
	(% de aportación de nutrientes)			(% de aportación de nutrientes)			(% de aportación de nutrientes)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Uso intensivo de herbicidas	2,4	1,2	2,8	7,0	3,5	0,3	9,4	4,7	3,1
Estándar	1,7	0,6	2,4	2,0	1,4	0,1	3,7	1,9	2,5

Nota: pendiente del terreno = 5 %.

Diversidad de flora en el sotobosque: un indicador de la fertilidad química del suelo

Mantener un buen nivel de cobertura vegetal del suelo también es útil para identificar deficiencias específicas en los nutrientes del suelo. Por ejemplo, en una plantación de 3.500 hectáreas ubicada en Sumatra (Indonesia), un estudio detallado ha identificado más de 186 especies de malezas vasculares. Encontramos que tres especies de *Pteridophyta*, una especie de monocotiledones y una especie de dicotiledones fueron buenos indicadores de un bajo nivel de fósforo en el

suelo, lo que genera una mayor necesidad de fertilizantes de fosfato (Tabla 3).

Conclusión

El desarrollo de los indicadores agroambientales está alcanzando una nueva etapa que se enfoca en la validación. También se están desarrollando enfoques adicionales que buscan identificar no solo el impacto de las prácticas de cultivo de la palma de aceite sobre el medio ambiente, sino a su vez, el impacto que estas modificaciones del medio ambiente tienen sobre la productividad de las palmas; en otras palabras, los servicios que se ven afectados por tal impacto.

Tabla 3. Fertilidad del suelo y diversidad de la flora vascular (proporción dominante sumada).

Especie	Clase	Proporción dominante sumada (%)		Sig.
		Control	P aplicado	
Especies que se encuentran de manera dominante en los suelos de baja fertilidad (sin P - fertilizante aplicado)				
<i>Taenitis blechnoides</i>	Pteridophyta	27,0	0,8	**
<i>Dicranopteris linearis</i>	Pteridophyta	16,5	0,1	ns
<i>Scleria sumatraensis</i>	Monocotyledones	16,2	0,6	**
<i>Pteris vittata</i>	Pteridophyta	6,9	0,2	**
<i>Stenochlaena palustris</i>	Pteridophyta	3,3	0,4	ns
<i>Clidemia hirta</i>	Dicotyledones	2,0	0,9	ns
Especies encontradas de manera dominante en los suelos de alta fertilidad (P - fertilizantes aplicados regularmente)				
<i>Nephrolepis biserrata</i>	Pteridophyta	6,1	29,1	**
<i>Asplenium longissimum</i>	Pteridophyta	0,5	24,2	**
<i>Arcypteris irregularis</i>	Pteridophyta	0,5	7,7	ns
<i>Peperomia pellucida</i>	Dicotyledones	0,0	6,2	**
<i>Asystasia micrantha</i>	Dicotyledones	0,0	3,7	*
<i>Lindernia crustacea</i>	Dicotyledones	0,6	2,6	ns
<i>Cyperus kyllingia</i>	Monocotyledones	0,0	2,1	*
<i>Microlepis spelluncai</i>	Pteridophyta	0,0	1,0	**
<i>Cleome rutidosperma</i>	Dicotyledones	0,0	0,7	*
<i>Blechnum orientale</i>	Pteridophyta	0,0	0,7	*
<i>Phyllanthus amarus</i>	Dicotyledones	0,0	0,1	**
<i>Mikania micrantha</i>	Dicotyledones	0,0	0,1	*

Referencias bibliográficas

- Bockstaller, C., Girardin, P. (2002). *Modo de calcul des indicateurs agro-écologiques*. Méthode Indigo.
- Caliman, J.P., Carcasses, R., Girardin, P., Pujianto, Dubos, B., Liwang, T. (2005).
Development of agri-environmental indicators for sustainable management of oil palm growing. General concept and the example of nitrogen. Congreso Internacional de Aceite de Palma de la MPOB (PIPOC). 25 a 29 de septiembre de 2005. Kuala Lumpur, Malasia.
- Caliman, J.P., Wohlfahrt, J., Carcasses, R., Girardin, P., Perel, N., Wahyu, A., Pujianto, Dubos B., Verwilghen, A. (2006). Agri-environmental indicators for sustainable palm oil production.
- Carcasses, R. (2004). Adaptation d'un indicateur agro-environnemental de pollution azotée à la culture du palmier à huile à Sumatra. Première adaptation de l'indicateur azote de la méthode INDIGO. Mémoire de fin d'études DAA-ENSA Montpellier, France.
- GAR (2014). Sustainability report 2013. www.goldenagri.com.sg.
- Girardin, P., Bockstaller, C., Van der Werf, H. (1999 a). Indicators: tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. *Journal of sustainable agriculture*, vol. 13 (4).
- Girardin, P., Bockstaller, C., Van der Werf, H. (1999 b). A method to assess the environmental impact of farming system by means of agriecological indicators. *Environmental indices: systems analysis approach*. Pykh Y.A., Hyatt E., Lenz R. (eds.): 297-312.
- Girardin, P., Bockstaller, C., Van der Werf, H.M.G (2000). Assessment of potential impacts of agricultural practices on the environment; the AGRO*ECO method. *Environment Impact Assessment Review*, 20: 227-239.
- Girardin, P., Guichard, L., Bocksteller, C. (2005). Indicateurs et tableaux de bord. *Guide pratique pour l'évaluation environnementale*.
- OCDE (1998). *Hacia un desarrollo sostenible. Indicadores ambientales*.
- OCDE (1999). *Indicadores Ambientales para la agricultura*. Vol. 1: Conceptos y Marco.
- OCDE (1999). *Indicadores Ambientales para la agricultura*. Vol. 2: Temas y diseño.
- OCDE (2000). *Indicadores Ambientales para la agricultura. Métodos y resultados Resumen ejecutivo*.
- OCDE (2001). *Indicadores Ambientales para la agricultura*. Vol. 3: Métodos y resultados. Piercy Gatineau, M., Girardin, P., Pujianto, Caliman J.P. (2010). *I-SOMPalm: an indicator or soil quality and soil carbon fixation trend*.
- Rodrigues, G.S., Verwilghen, A., Widodo, R.H., Pujianto, Caliman J.P. (2010). An assessment tool and integrated index for sustainable oil palm production. International Conference on Oil Palm and the Environment ICOPE 2010. 23-25 feb. de 2010. Bali, Indonesia.