

Un modelo de simulación discreto para determinar la edad óptima de replantación en presencia de la Pudrición del cogollo (PC)*

A Discrete Simulation Model to Determine the Optimal Age of Replanting in the Presence of Bud Rot (Pudrición del cogollo -PC- Disease)

Citación: Mosquera, M., Evans, E., Grogan, K. y Fontanilla, C. (2014) Un modelo de simulación discreto para determinar la edad óptima de replantación en presencia de la Pudrición del cogollo (PC). *Palmas*, 35(1), 19-32.

Palabras clave: impacto económico, cultivos perennes, estrategias de control de enfermedades, economía agrícola.

Key words: impact assessment, perennial crops, diseases control strategies, agricultural economics.

Recibido: septiembre 2013

Aprobado: diciembre 2013

* Artículo de investigación e innovación científica y tecnológica.

Mauricio Mosquera Montoya
Investigador Titular Cenipalma
(Autor de correspondencia)
mmosquera@cenipalma.org

Edward A. Evans
Profesor Asociado
FRE- Food and Resource Economics
Universidad de Florida- EE.UU.

Kelly Grogan
Profesor Asistente
FRE- Food and Resource Economics
Universidad de Florida- EE.UU.

Carlos A. Fontanilla Díaz
Investigador Asociado
Cenipalma

Resumen

Se desarrolló un modelo discreto de simulación que arroja como principal resultado el momento óptimo en el cual se deben destruir cultivos perennes que están infestados por enfermedades letales y contagiosas. Este modelo permite considerar diferentes estrategias de control de la enfermedad. Se asume que las estrategias de control tienen efecto sobre la tasa de desarrollo de la enfermedad. Con el fin de construir este modelo utilizamos dos funciones. Primero, la función que representa el flujo de ingreso neto de la compañía. Segundo, la incidencia de la enfermedad en el tiempo. Posteriormente, se aplicó el modelo al caso de la Pudrición de cogollo (PC), enfermedad que amenaza las plantaciones de palma aceitera en Colombia. Se comparan los resultados de tres estrategias de control de la PC. Los resultados indican que es necesario tener como objetivo la disminución de la tasa de contagio lo más cercano posible a cero por ciento. Esto indica que es necesario: 1) censar regularmente las plantaciones de palma con el fin de detectar casos de la PC, 2) erradicar palmas con niveles avanzados de infección, 3) tratar palmas con infecciones iniciales de la PC, retirando tejidos enfermos, y 4) llevar a cabo los ciclos de fumigaciones con pesticida, como lo sugiere Cenipalma.

Abstract

We developed a discrete simulation model that yields as its main result the optimal time of destroying perennial crop fields infested by lethal and contagious diseases. Our model allows for taking into consideration different strategies for controlling the disease. It is assumed that a control strategy has an effect on the spread rate of the disease. In order to build our model, we used two functions. First, the flow of net income of the company along time. Second, the disease incidence along time. Afterwards, we applied the model to the case of bud rot (BR), which is a disease that threatens oil palm plantations from Colombia. We compared results from three BR control strategies. Results indicate that it is necessary to set as the goal of the control strategy a rate of spread of BR, as close as possible to zero percent. The latter indicates that it is necessary to: 1) scout oil palm fields in order to detect BR cases, 2) eradicate severe cases of BR infection, 3) treat palms that are displaying early stages of BR infection, by removing infected tissues, and 4) carry out preventive applications with pesticides, as suggested by Cenipalma.

Introducción

La Pudrición del cogollo (PC) es una enfermedad que se ha reportado en Colombia desde mediados de la década de los sesenta, se identifica como una enfermedad con alto impacto económico en la Zona Oriental palmicultora de Colombia (Llanos Orientales) (Martínez, 2010). Allí, la PC no es letal, al parecer porque en dicha zona hay factores ambientales que cortan el ciclo de desarrollo de su agente causal (*Phytophthora palmivora*) y aunque la PC alcanza incidencias cercanas al 90 %, no mata las palmas sino que limita la producción de aquellos lotes con palmas enfermas por periodos prolongados de tiempo.

Lamentablemente, la PC se ha comportado de manera diferente en las zonas Central y Suroccidental de Colombia. En ambos lugares, además de mantener su carácter altamente contagioso, es letal. Muchos palmicultores convencidos de que siendo la misma enfermedad, se comportaría de la manera como suele hacerlo en los Llanos, no tomaron acción oportuna para el control de focos de la PC. El impacto es claro, más de 40.000 hectáreas han sido erradicadas por causa de la PC y aún faltan muchas hectáreas por erradicar.

Aquí se presenta un modelo de simulación discreto que arroja dos resultados: 1) la edad óptima de erradicación después de que un cultivo es atacado por la PC y, 2) el Valor Presente Neto (VPN) de los proyec-

tos de palma cuando la PC ataca su cultivo. Naturalmente, el VPN de un proyecto de palma atacado por la PC, no corresponde al VPN del proyecto que tenía el productor en mente cuando sembró sus palmas. Este modelo permite evaluar diferentes escenarios de acción frente a la PC. Se consideraron tres estrategias: la primera, una pasiva, es decir, el productor decide esperar a que las palmas enfermas se recuperen como en el caso de los Llanos Orientales; la segunda, una activa en la cual se siguen las recomendaciones de manejo de la PC propuestas por Cenipalma (Martínez y colaboradores, 2009) y, finalmente, una intermedia en la cual el productor decide no hacer el control de la forma como ha sido sugerido, sino que prefiere ahorrar en algunos rubros. Los resultados indican que la única estrategia de manejo de la PC que permite la sostenibilidad del negocio es la de seguir las recomendaciones de Cenipalma.

El artículo está ordenado de la siguiente manera: primero se presenta una motivación sobre los posibles enfoques que desde la economía se han llevado a cabo para abordar el impacto económico de las enfermedades en la agricultura. Posteriormente, se esboza el modelo teórico que permite abordar el problema. En seguida, se describen los tres escenarios de manejo y se presentan los resultados. Para finalizar, se exponen las conclusiones del trabajo.

Evaluación del impacto económico de enfermedades en la agricultura

Entre los diferentes enfoques que pueden considerarse para abordar el impacto económico de las enfermedades en agricultura, deben mencionarse: 1) efectos de mercado, 2) seguridad alimentaria, 3) externalidades, 4) gasto público y 5) producción (Evans, 2003).

El estudio de los efectos sobre el mercado asume que la enfermedad altera la oferta de producto disponible en determinado mercado, y por ende, las condiciones de equilibrio del mismo se ven modificadas. Casos interesantes de analizar son, entre otros, una caída en la oferta del bien, por causa de disminución en la cantidad de producto obtenido como consecuencia del ataque la enfermedad; o efectos en el bienestar de los productores locales si se permite importación del bien o de sustitutos del mismo; incluso puede considerarse un incremento en la oferta local del bien por restricciones impuestas por países compradores del mismo (Jetter, Sumner, & Civerolo, 2000; Alamo, Evans, Bruguera, & Nalapang, 2007). Dichos escenarios suelen ser estudiados por modelos de estática comparativa, para los cuales resulta fundamental conocer las elasticidades ingreso-precio y oferta-precio, con el fin de determinar los efectos en términos de precio y demanda ante choques a la oferta.

En lo que concierne a estudios dirigidos a determinar el efecto de una enfermedad sobre la seguridad alimentaria, debe entenderse que esta se define como la disponibilidad de ingreso suficiente para acceder a una canasta de consumo básica. Ello abre, entre otros escenarios, el de un cultivo que es base de la subsistencia de una comunidad en particular y es amenazado por una enfermedad (Bardhan & Udry, 1999). Por otra parte, puede concebirse como una actividad económica en peligro de desaparecer por causa de una enfermedad, teniendo en cuenta que el cultivo de la palma de aceite se constituye en fuente principal de ingreso para sus trabajadores, que es el caso de regiones como Tumaco (Nariño) o Puerto Wilches (Santander).

Otro campo de estudio interesante puede abrirse al tratar de determinar externalidades de las estrategias de control de la enfermedad utilizada por un productor. Por externalidades se entienden los efectos derivados de una determinada acción, en este caso la estrategia de control (Marsh, Huffaker, & Long, 2000).

Es importante destacar que desde el punto de vista teórico, la estrategia de control puede corresponder a no tomar acción por frenar la diseminación de la enfermedad, lo que conlleva a perjudicar desde el punto de vista económico a productores colindantes. Igualmente, puede que el interés se centre en los efectos ambientales o sobre la salud humana de determinada estrategia, por ejemplo, si los pesticidas en uso tienen impactos sobre la salud humana y si puede haber trazas de los mismos en el producto final.

Desde el punto de vista del gasto público e ingreso fiscal no percibido, tiende a considerarse el costo-beneficio de estrategias tales como una campaña masiva de erradicación de plantas enfermas, frente a la opción de que la enfermedad se establezca y que el país se considere territorio endémico de la enfermedad (Spreen, Zansler, & Muraro, 2003).

Finalmente, los estudios sobre efectos de una enfermedad desde la perspectiva de la producción, tienden a suponer que la presencia de la enfermedad implica disminución en el valor de la producción y un incremento en los costos de obtención del producto asociados a una determinada estrategia de control de la enfermedad (Cobourn, Goodhue, Williams, & Zalom, 2008; Mosquera, Grogan, Evans, & Spreen, 2013). Es posible que la estrategia de control llevada a cabo por el productor varíe desde el no tomar acción por controlar la enfermedad, hasta implementar un paquete de manejo que permita disminuir al mínimo la dispersión de la misma.

El modelo que aquí se presenta corresponde a la última categoría de modelos económicos descritos. La justificación principal para haber tomado esta decisión es que, en la mayoría de los casos, es el productor quien termina llevando a costas la mayor carga de la lucha contra las enfermedades de su cultivo, además de tomar la decisión de actuar o no.

Este trabajo se basa en el estudio realizado por Mosquera y colaboradores (2013), en el cual se construyó un modelo capaz de determinar el momento en el cual los cultivos de aguacate del sur de la Florida dejan de ser rentables después de que son atacados por una enfermedad letal y contagiosa conocida como *laurel wilt*. Dado que aún no se conoce una estrategia de control eficiente desde el punto de vista económico para esta enfermedad, el trabajo en mención asume como única alternativa para su con-

trol, la eliminación de todos los árboles infectados. El objetivo de dicha práctica es disminuir la tasa de desarrollo de la enfermedad desde árboles de aguacate infectados hacia árboles sanos (Mosquera, Evans, Ploetz, Grogan, & Spreen, 2013).

Modelo

El modelo que se presenta aquí es una aplicación del método utilizado por Mosquera *et al.*, (2013), para el caso de cultivos de palma aceitera de Colombia amenazados por la Pudrición del cogollo (PC). Lo anterior implica que se busca determinar el momento en el cual un cultivo de palma aceitera atacado por la PC deja de ser rentable, y por ende, debe ser erradicado.

Este modelo se caracteriza por tener dos componentes que interactúan y que son base de la simulación del flujo de caja del productor, a saber, un componente de tipo económico y el otro, biológico, idea desarrollada por Salifu y colaboradores (2012). Nuestro modelo, mejora el de Salifu y colaboradores, en el sentido de que se considera que el productor se retira del negocio en el momento en el cual el costo de producción excede el ingreso.

Componente económico

El componente económico del modelo planteado asume que el cultivo de palma de aceite es un activo y como tal, genera flujos de dinero a lo largo del tiempo (Spreen, Zansler & Muraro, 2003). Dichos flujos de efectivo corresponden al ingreso neto (ingreso total menos costo de producción). Naturalmente, el ingreso está asociado a la venta de racimos de fruta fresca (RFF) y los costos corresponden a establecimiento, mantenimiento del cultivo, cosecha y transporte. El costo de producción y la producción de RFF se basan en información del Campo Experimental Palmar de la Vizcaína (CEPV). En lo que concierne a unidades del modelo, se asumió la hectárea de palma de aceite como unidad de área y, como unidad en el tiempo, se asumió el año.

El flujo de ingreso neto a lo largo del tiempo se consideró para un proyecto de 30 años, flujo que debe ser descontado mediante el uso de una tasa (de descuento) que permita comparar los recursos invertidos en la palma de aceite con respecto a una inversión alternati-

va que se considere segura, como por ejemplo, certificados de depósito a término fijo a 30 años, o bonos del tesoro a 30 años. Para el caso de Colombia, se asumió una tasa de descuento de 10 % con el fin de ilustrar al lector acerca del funcionamiento de este modelo. Como precio de RFF se tomó el promedio de los últimos 10 años. Nótese que tanto el precio como la tasa de descuento son sujetos a ser modificados a discreción del analista. En síntesis, el componente económico del modelo se expresa de acuerdo con la fórmula del valor presente neto (VPN), reflejada en la Ecuación 1:

Ecuación 1.

$$VPN = \frac{R_1}{(1+r)^{1-1}} + \frac{R_2}{(1+r)^{2-1}} + \dots + \frac{R_{30}}{(1+r)^{30-1}}$$

Donde R_1 corresponde al ingreso neto y el subíndice del término R es la edad del cultivo, es decir, R_1 corresponde al ingreso neto del año de siembra de la palma en el campo. $r = 10\%$ es la tasa de descuento utilizada. La Ecuación 1 se expresa de manera simplificada mediante la Ecuación 2:

Ecuación 2.

$$VPN = \sum_{t=1}^T \frac{R_t}{(1+r)^{t-1}}$$

Componente biológico

Este componente del modelo indica el comportamiento de la incidencia de la PC en el tiempo y es denotada por el término D_t . Muchos modelos pueden ser ajustados a los datos de incidencia de enfermedad en tiempo, entre ellos sobresalen modelos de tipo logístico, monomolecular, exponencial y Gompertz. Se utilizó un modelo tipo Gompertz entendiendo que si no se controla la PC, esta es capaz de llegar a niveles cercanos al 100 % de infección, es decir, salvo por algunos individuos, la totalidad de un lote puede ser infectada por la enfermedad. Algunos modelos pueden llevar a niveles de infección superiores al 100 %, como por ejemplo el exponencial. Otros modelos son más útiles para modelar la capacidad de carga de un ecosistema para alguna especie en particular, como es el caso del logístico. Sin embargo, la selección del modelo de incidencia de la enfermedad es discrecional del analista, aunque debe cumplir con el requisito de ajustarse a los datos de incidencia.

El modelo Gompertz, que se eligió para este trabajo, tiene dos parámetros de importancia en lo que se refiere al comportamiento de la incidencia de la enfermedad en el tiempo (D_t). Son ellos, la incidencia de la PC al momento de detección inicial de la enfermedad D_0 (año 0) y la tasa de contagio β . Esta última corresponde a la tasa a la cual los individuos enfermos infectan a los individuos sanos. Es importante destacar que el valor de β se asume fijo en el tiempo con el fin de simplificar los cálculos, ya de por sí complejos. El modelo que se utilizó en este trabajo corresponde a la Ecuación 3.

Ecuación 3.

$$D_t = e^{\ln(D_0)e^{-\beta t}}$$

La Figura 1 ilustra el comportamiento de la incidencia acumulada de la PC a lo largo del tiempo. Nótese que se consideran 30 años en el tiempo, dado que la PC puede atacar cultivos desde el primer año de siembra en campo y en ese caso interesa saber el comportamiento de la incidencia para 30 años. El carácter epidémico de la PC en la zona de Tumaco se ajusta a una tasa de contagio $\beta = 100\%$, comenzando con una incidencia inicial $D_0 = 1\%$. El cálculo de estos parámetros se llevó a cabo considerando los datos recogidos durante la epidemia de la PC en Tumaco, del Programa de Validación de Cenipalma. Bajo los anteriores supuestos, la PC evoluciona de manera tal que en seis años está presente en todo el lote, para efectos del modelo se simula la evolución de la incidencia para una hectárea y como unidad de tiempo se utilizó un año. Naturalmente, el palmicultor toma la

decisión de retirarse del negocio mucho antes de que la incidencia de la PC sea del 100%. Es decir, el modelo para la D_t en el tiempo solo considera la dinámica de la incidencia de la enfermedad.

En la Figura 1 también se muestran los escenarios en los cuales la tasa de contagio de la PC es $\beta = 50\%$ y $\beta = 2\%$. En el primer caso, a la PC le toma once años infestar la totalidad del lote, mientras que en el segundo, la incidencia acumulada nunca excede niveles superiores al 10%, además de asumir que las palmas que alguna vez estuvieron enfermas se recuperaron y volvieron a producir.

Interacción de los componentes económico y biológico

Esta interacción asume que la enfermedad es capaz de atacar los cultivos de palma de aceite a cualquier edad (a_j). Por ello, inicialmente es importante simular un escenario sin la PC. Es decir, es importante tener el *benchmark* correspondiente al caso en el cual la PC no ataca al cultivo (Figura 2, serie en barras). La información utilizada para la construcción de este escenario, corresponde a la de producción y costos del Campo Experimental Palmar de la Vizcaína. Allí se asume que para el año 25 del cultivo de palma, las labores de cosecha se dificultan (detección y corte de racimo maduro) lo que conlleva a una disminución progresiva en la producción del cultivo a partir del año 25 de edad. Lo anterior implica que el palmicultor considera la erradicación de una siembra en el año 30.

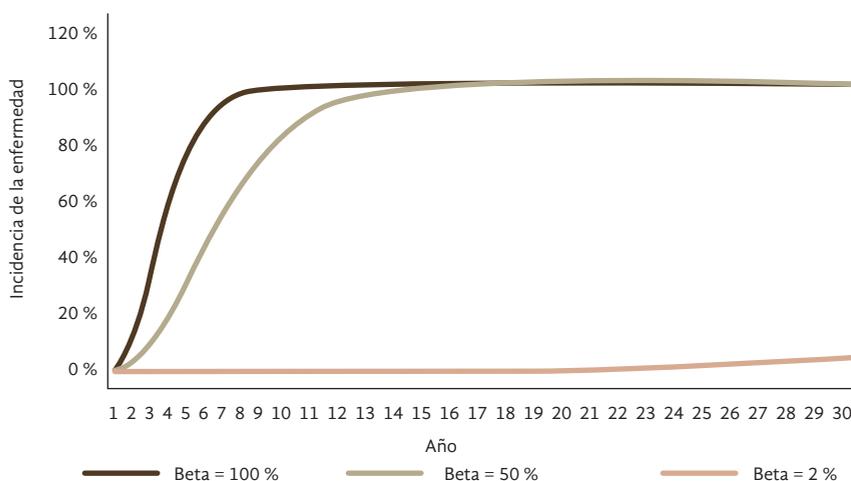


Figura 1. Comportamiento de la incidencia en el tiempo según tasa de contagio (beta).

Dado que se trata de la Pudrición del cogollo en condiciones similares a las de Tumaco o Puerto Wilches, es decir, de carácter letal, la caída en la producción asociada a la evolución de la PC se representa como una caída en la producción por hectárea, equivalente a la producción correspondiente a las palmas que han muerto por efecto de la PC. La incidencia de la enfermedad en el tiempo se simuló con la información de la epidemia de Tumaco, para el caso de no control (en este caso no hay costos asociados al control). Para el caso de control de la PC, se consideró el costo de control de la PC del CEPV al igual que las tasas de evolución de la enfermedad en el tiempo.

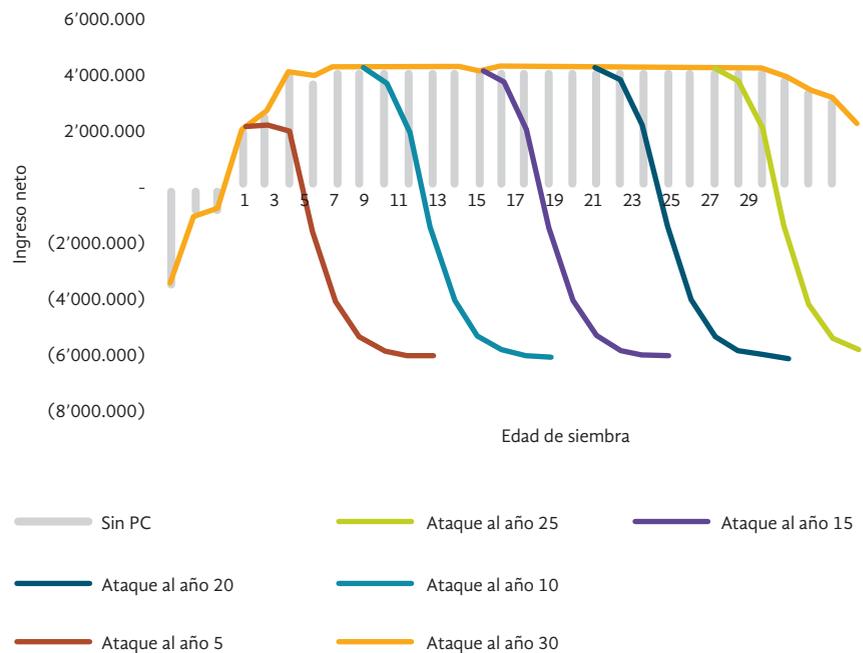
En otras palabras, el escenario sin la PC, se contrasta con escenarios en los cuales la PC ataca en cada posible edad del cultivo. Es decir, la PC ataca en el año 1 (primer escenario $a_0=1$), en el 2 (segundo escenario $a_0=2$), en el 3 (tercer escenario $a_0=3$) y así sucesivamente, hasta llegar a un escenario en el cual la PC ataca en el año 30 (trigésimo escenario $a_0=30$), que a su vez, es el año en el cual se tenía prevista la resiembra. La Figura 2 ilustra el escenario de flujo de caja sin ataque de la PC y seis de los 30 escenarios posibles de ataque de la PC según edad del cultivo, son ellos $a_0=5$, $a_0=10$, $a_0=15$, $a_0=20$, $a_0=25$, $a_0=30$. Así como los escenarios con ataque de la PC asumen que el cultivador decide no tomar acción alguna con miras a controlar la PC, y por ende, se disemina en el campo. Natural-

mente, el hecho de no tomar acción para controlar la PC, implica no tener costos adicionales por concepto de manejo de la enfermedad en cuestión.

Los escenarios planteados en la Figura 2 permiten entender mejor el modelo. Las barras que representan el caso sin la PC corresponden al escenario ideal, es decir, no tener presencia de la enfermedad. Véase que la curva de ingreso neto del escenario en donde la PC ataca al cultivo en el año 30, es prácticamente idéntica a la del escenario de no tener la PC. Esto indica que en la medida que la PC ataca al cultivo a mayor edad, se está más cerca del escenario ideal de no haber tenido la enfermedad en el proyecto.

A continuación se analiza en detalle el caso de la PC atacando al cultivo en el año 5 (primera curva de la izquierda en mostrar una tendencia decreciente después del año 5). En este caso, se asume que el productor no lleva a cabo actividades tendientes a detener el avance de la PC, por lo cual evoluciona, de tal manera que, al cabo de dos años, el productor encuentra que su costo es mayor que su ingreso y erradica el lote. En otras palabras, se consideró una incidencia inicial del 1 % en el año 5 y al asumir que el productor decidió no controlar la PC, la tasa de contagio fue de 100 % anual (es decir $\beta = 100\%$). Ambos valores $D_0 = 1\%$ y $\beta = 100\%$ son los que entran en la Ecuación 3, correspondiente al modelo tipo Gompertz utilizado para describir el comportamiento de la incidencia de la PC en el tiempo.

Figura 2. Algunos escenarios de flujo de caja del cultivo según edad de ataque de la PC.



Cabe anotar que los valores recién mencionados se ajustan a los reportados para la incidencia de la PC durante la epidemia de Tumaco de los años 2005-2009 (Información del Programa de Validación tomada durante la epidemia de Tumaco), cuando no se disponía de una estrategia de control de la enfermedad. En este orden de ideas, el cultivo atacado al año 5 y que no tuvo manejo alcanzó su punto de rentabilidad negativa dos años después de la detección del primer caso de enfermedad; momento que arroja como resultado el período óptimo en el cual el cultivador debe tomar la decisión de erradicar la totalidad del lote, puesto que las palmas en producción no son capaces de mantener el negocio a flote. A su vez se erige como el primer tipo de resultado que se obtiene de este modelo.

Un segundo resultado proviene de calcular el VPN de cada proyecto. Para el ejemplo del cultivo atacado por la PC en el año 5, se considera el flujo de ingreso neto desde la siembra, hasta el momento en el cual alcanzó la rentabilidad negativa, naturalmente descontado en el tiempo. Si este cálculo arroja un valor positivo puede afirmarse que el proyecto es viable. Un VPN negativo debe interpretarse como un proyecto no viable y desde el punto de vista económico es recomendable no continuar en el negocio.

La combinación de los resultados recién mencionados permite generar criterios de erradicación de los lotes enfermos con la PC según manejo. Dichos criterios incluyen, por una parte, la edad en la cual la PC ataca al cultivo y el tiempo que le toma a un cultivo afectado por la PC para que su costo de pro-

ducción exceda el ingreso (por ende, deba erradicarse). A este primer criterio se le denomina tiempo a ingreso neto negativo y depende de la edad en la que la enfermedad ataca la palma suponiendo beta fijo y constante en el tiempo.

Por otra parte, este modelo permite evaluar si el proyecto comprendido entre el momento de siembra y el momento de erradicación es una inversión viable. Lo anterior se lleva a cabo mediante el cálculo del valor presente neto (VPN) de la inversión. Si es negativo, indica que es mejor no llevar a cabo el proyecto.

Escenarios considerados

Se parte del supuesto de que el proyecto productivo inicialmente es idéntico para todos los casos. De nuevo se utiliza como *benchmark* el caso del cultivo sin la PC. Se utilizaron los costos de producción y la productividad proyectada, ambos estimados con datos del cultivo comercial del CEPV. Se asume que el cultivador planea resembrar cuando las palmas lleguen al año 30 de edad. Adicionalmente, se asume que las medidas de manejo de plantación que aminoran el riesgo de ataque de la PC se llevaron a cabo (manejo adecuado de los viveros, adecuación física y química del suelo, niveles óptimos de humedad del suelo para el cultivo de la palma, adecuado manejo nutricional y manejo sanitario). En síntesis, este modelo permite visualizar de manera aislada el posible impacto de la PC en el cultivo, para diferentes escenarios de manejo de la misma (Tabla 1).

Tabla 1. Escenarios considerados de acuerdo con estrategia de manejo de la PC.

Escenarios	Costo de control*	Tasa de contagio
Cultivo sin la PC	Ninguno	0 %
Recomendaciones Cenipalma	$315.000+(7000*\text{Casos PC})^{**}$	2 %
Falso ahorro	$(315.000+(7000*\text{Casos PC}))*(1/2)$	50 %
No tomar acción	Ninguno	100 %

* El costo de control de la PC originado al utilizar la estrategia de control de Cenipalma, tiene un componente fijo, correspondiente a los censos (mano de obra) y un componente variable (mano de obra, insumos y herramientas para cirugías; rondas de aplicación al anillo circundante de las palmas enfermas).

** Resultado de un modelo de mínimos cuadrados ordinarios en el cual el costo por hectárea se regresa con respecto al número de casos por hectárea. Los valores utilizados tienen como fuente el Campo Experimental Palmar de la Vizcaína.

En segundo lugar, se asume que en el mismo cultivo hay detección oportuna de palmas infectadas por la PC y que el productor decide implementar al pie de la letra las recomendaciones de Cenipalma para el manejo de la PC; por ende, logra disminuir la tasa de contagio de la enfermedad, de manera que $\beta = 2\%$ y $D_0 = 1\%$, resultantes del ajuste de la información del CEPV al modelo de la incidencia en el tiempo (Gompertz). Que la tasa de contagio no se considere igual a cero, aun con control, ilustra el hecho de que una vez la PC está presente en el campo se queda para siempre. Por ello, no es posible bajar la guardia y continuar con la estrategia de control. En el CEPV se ha evidenciado que una vez se controló el ataque inicial de la PC, siguieron apareciendo alrededor de dos a tres casos por hectárea al año. Este escenario permite evaluar de manera objetiva la viabilidad económica del paquete ofrecido por Cenipalma. La información de este escenario corresponde a la del manejo comercial del cultivo del CEPV, en donde se puso a prueba la eficacia del paquete tras sufrir el embate de la PC.

El tercer escenario corresponde al de un productor que considera muy alto el costo del paquete de manejo de la PC propuesto por Cenipalma, y por ello, decide manejar la enfermedad recortando actividades o insumos y, por ende, bajando los costos de control. Este es un escenario hipotético en el cual se asume, de manera arbitraria, que el productor disminuye el costo de control de la PC a la mitad y también que la estrategia reduce la tasa de contagio de la PC a la mitad. Podrían haberse asumido otros valores para β y D_0 , este ejemplo es planteado con miras a ilustrar el funcionamiento del modelo y puede ser optimista o pesimista en términos del control que sobre la tasa de dispersión de la enfermedad tiene el uso deficiente del paquete tecnológico. Para este escenario se hizo el supuesto de que los valores de los parámetros son $\beta = 50\%$ y $D_0 = 1\%$ y lo hemos denominado como el escenario del falso ahorro.

Finalmente, tenemos el escenario en el cual el productor decide no tomar medidas en contra de la PC, con la esperanza de que la enfermedad se comporte, en su región, tal y como lo hace en los Llanos Orientales de Colombia; en donde el avance en la infección del patógeno se detiene por condiciones ambientales, tales como periodos de sequía de hasta seis meses. Tal posición frente al ataque de la PC mostró sus consecuencias en la zona de Puerto Wilches. En este escenario, los su-

puestos de comportamiento de la incidencia de la PC son $\beta = 100\%$ y $D_0 = 1\%$; correspondientes a la tasa de contagio (β) que ajusta para los datos de la epidemia de la PC de Tumaco, asumimos que este valor es válido para Puerto Wilches, pero sería ideal realizar el ejercicio para la información recolectada en este último.

Resultados

Como se mencionó previamente, este modelo arroja dos resultados. El modelo es capaz de generar resultados a partir de diferentes valores para diversas combinaciones de tres parámetros, son ellos la edad en la que la PC ataca al cultivo (a_0), la incidencia en el momento de detección de la PC (D_0) y lo que se definió como la tasa de contagio de la PC (β). Los parámetros β y D_0 entran en la función Gompertz de la incidencia en el tiempo. Adicionalmente, se asume que la tasa de contagio es función de la estrategia de manejo de la PC. Lo anterior indica que hay un resultado para cada edad en la cual la PC puede atacar al cultivo. Todos los escenarios aquí expuestos se desarrollan partiendo de una incidencia inicial $D_0 = 1\%$, pero el modelo se presta para estudiar cualquier valor D_0 . Aquí se suponen tres valores para el parámetro β (tasa de contagio: 0% - Sin PC, 2% - Recomendación Cenipalma, 50% - Falso ahorro y, 100% - no tomar medidas en contra de la PC), pero al igual que en el caso anterior, puede utilizarse cualquier valor entre 0% y la máxima tasa de contagio que para el caso se equiparó a la experimentada en la epidemia de la PC en Tumaco del 100% . Los resultados se presentan para cada año en el cual la PC puede atacar al cultivo.

Tiempo a ingreso neto negativo (T)

Los resultados indican que si el productor decide no llevar a cabo ninguna medida de control de la PC, esperando que la enfermedad se comporte de la misma manera como lo hace en los Llanos Orientales de Colombia, y que el escenario verdadero sea que la PC se comporta como lo hizo en Tumaco o en Puerto Wilches; las siembras de edades entre los 3 a los 29 años no tendrán más de dos años de vida económica, a pesar de que desde el punto de vista del avance de la enfermedad el lote se infesta totalmente con la PC al cabo de seis años. Es decir, si se detecta la enfermedad en un lote de tres años y se decide no tomar acción,

dos años después, a los 5 años de edad, no tendrá sentido económico seguir con este lote como negocio pues sus costos serán mayores a los ingresos. Otro ejemplo, si el lote se enferma al año 20 y se decide no tomar acción para detener el avance de la PC, dos años más tarde, cuando el lote tenga 22 años de edad, se llegará a la misma situación, en la cual los costos exceden el ingreso (ingreso neto negativo) (Figura 3). Hasta aquí no se ha considerado el nefasto efecto que esta actitud genera sobre la región a la cual pertenece el productor, dada la cantidad de inóculo de la enfermedad que queda en el campo y que amenaza no solo sus propios lotes aún no contaminados, sino también los de sus vecinos.

En segundo lugar se presenta el caso en el cual el productor dedica la mitad de los esfuerzos recomendados por Cenipalma para el control de la PC. Por ejemplo, censos a intervalo de tiempo más largos de lo recomendado, cirugías en las cuales no se retira la totalidad del tejido enfermo o ahorro en la aplicación de los pesticidas recomendados. Naturalmente, el costo de las actividades de control de la PC se asume que se reduce a la mitad, en lo que hemos denominado una estrategia de falso ahorro. Se asumió que la consecuencia de esta decisión es que se logra reducir la tasa de contagio de la PC a 50 %. De nuevo, si lo que realmente ocurre es que la PC se comporta como en la epidemia de Tumaco, las siembras entre 3 y 25 años tendrán únicamente cuatro años de vida económica, a pesar de que, desde el punto de vista del avance de la enfermedad, esta tomaría once años en infestar todo el lote. En resumen, con respecto a la estrategia de no tomar medidas de control de la PC, lo único que se logra es alargar la vida económica del lote por dos años más, para siembras entre los 3 y los 25 años. Para siembras mayores de 25 años se alarga la vida económica del

cultivo por tres años (Figura 3). De nuevo, la presión de inóculo en el campo es un tema a considerar, ya que puede terminar por transmitir la PC a lotes sanos, ya sea en su propia plantación o a plantaciones vecinas.

Finalmente, se asume que el productor sigue las recomendaciones de Cenipalma para el manejo de la PC. En este caso, los censos se hacen de manera oportuna, ante casos de la enfermedad en el campo se procede a hacer las cirugías en estados tempranos de severidad (Grado 1 y Grado 2), lo que garantiza una tasa de recuperación de las palmas superior al 90 %. Es decir que de cada 100 palmas enfermas, que se trataron de manera oportuna, 90 palmas se recuperaron de la PC. Bajo este escenario, se encuentra que es posible convivir con la PC. En otras palabras, se le puede dar el manejo pertinente y evitar brotes con carácter epidémico tales como los de Tumaco y Puerto Wilches. Lo anterior se evidencia en el hecho de que según la edad en la cual la PC ataca, se identifica que el tiempo a ingreso neto negativo, corresponde al valor en años que hace falta para completar el ciclo de vida del cultivo, planteado de antemano en 30 años. Así, si la PC ataca el cultivo a los 3 años y el productor procede a implementar el paquete de control de Cenipalma, aún le quedan 27 años de vida económica que coincide con los 30 años preestablecidos como la vida de un lote de palma (Figura 3).

Edad óptima de erradicación ($a_0 + T$)

Cuando al resultado anterior, es decir, el tiempo a ingreso neto negativo (T), se le suma la edad de la palma cuando fue atacada por la PC (a_0), se obtiene la edad óptima de erradicación del lote ante la presencia de la enfermedad, según la estrategia de manejo (Figura 4).

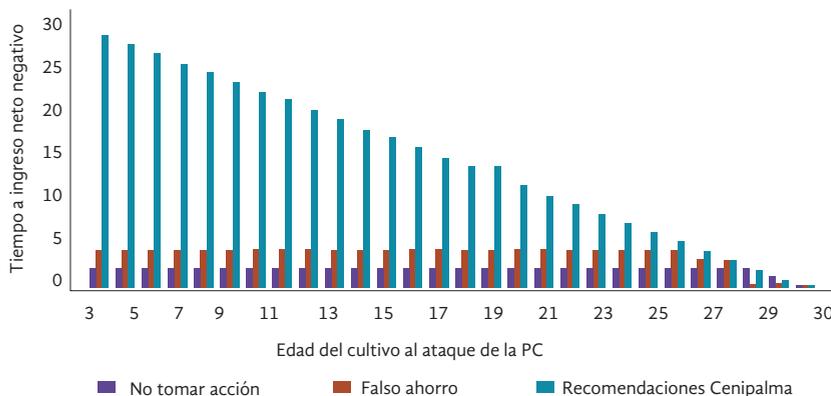
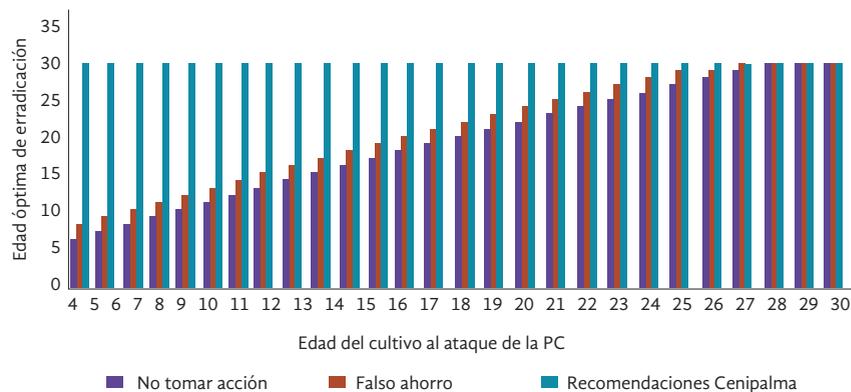


Figura 3. Tiempo transcurrido después del ataque de la PC para llegar al punto de ingreso neto negativo, según estrategia de manejo.

Figura 4. Edad óptima de erradicación de un lote de palma atacado por PC, según estrategia de manejo de la misma. Incidencia inicial del 1 %.



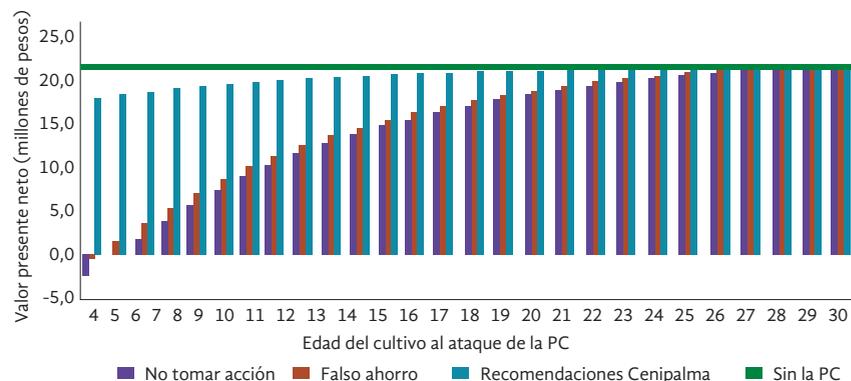
Para ilustrar los resultados expuestos en la Figura 4, puede tomarse un caso particular, como por ejemplo asumir que la PC atacó un lote de palma en el año 15. La barra más oscura a la izquierda, que corresponde a la estrategia de no tomar acción, indica que dos años después del ataque de la PC, específicamente en el 17, el negocio deja de ser rentable y el costo excede al ingreso por lo que se debe erradicar el lote. La barra más clara, en el mismo año 15, indica que si la PC ataca en este año y el productor usa la estrategia de control falso ahorro, la vida económica del lote termina en el año 19, dado que solo fue posible disminuir la tasa de contagio a la mitad (Figura 4). Al comparar este resultado con el anterior, se constata que la diferencia entre no tomar acción y falso ahorro es únicamente de dos años, en lo que concierne a la vida económica del cultivo. Finalmente, cuando se lleva a cabo, y de manera rigurosa, la estrategia de control recomendada por Cenipalma, es posible llevar el cultivo a los 30 años que se habían presupuestado, antes del ataque de la PC. En otras palabras, el productor puede convivir con la PC.

Valor presente neto (VPN) según estrategia de manejo

La presencia de la PC en un lote genera costos de control de la misma, en el caso de que esa sea la decisión, al igual que pérdidas de producción de RFF, fundamentalmente porque la PC sin manejo, a la larga, resulta en la muerte de la palma. Bien sea por el efecto de la propia enfermedad, o en un lapso menor si hay presencia de insectos como el *Rhynchophorus palmarum*, que son atraídos por los tejidos en descomposición y pueden llegar a dañar el tejido meristemático (Martínez, 2010).

Ambos efectos inciden en el flujo de caja de las empresas cuyos lotes han sido afectados por la PC. Por ello se llevó a cabo una evaluación de las alternativas de manejo mediante el cálculo del VPN. Para el ejercicio que se presenta en este documento, se utilizó una tasa de descuento del 10 %. La Figura 5 presenta el comparativo del VPN para cada posible año de ataque de la PC según la estrategia de manejo.

Figura 5. Valor presente neto (VPN) según la estrategia de manejo. Incidencia inicial del 1 %.



Suponga que el lote es atacado por la PC al año 4 de siembra. En este caso se evalúa el flujo de caja (descontado en el tiempo) para cada una de las estrategias de manejo, desde la siembra hasta la edad óptima de erradicación. Por ejemplo, en la estrategia de no tomar acción se evalúa el flujo de ingreso neto desde la siembra hasta el año seis que es cuando el ingreso neto se vuelve negativo. El VPN arroja un valor negativo y esto implica que ese proyecto no es viable y que los recursos financieros a utilizar en esa inversión están mucho mejor en una actividad alternativa (a la tasa de descuento del 10 %). En resumen, debe erradicarse la siembra de 4 años de edad atacada por la PC. Si el palmicultor decide utilizar la estrategia falso ahorro se genera una situación similar ya que el VPN también es negativo. Es decir, si se va a seguir la estrategia del falso ahorro, no hay diferencia con respecto a la de no tomar acción para siembras de 4 años.

Siguiendo con el ejemplo del ataque de la PC al año 4, si el palmicultor decide seguir las recomendaciones de Cenipalma es claro que la edad óptima de erradicación es igual a la que se había planeado originalmente, es decir, 30 años. En ese caso se calcula el VPN sobre el flujo de ingreso neto desde la siembra hasta el año 30. Naturalmente, se contabiliza el costo adicional de la estrategia de control y la pérdida en producción generada

por las palmas que mientras están siendo tratadas dejan de producir RFF y las que nunca se recuperan (aproximadamente 10 %). Note que el VPN para este caso es de 17.7 millones de pesos colombianos, mientras que para el caso en el cual no hay enfermedad, el VPN es de 21,3. Esa diferencia de 3,6 millones de pesos en contra del escenario de la PC manejada según las recomendaciones de Cenipalma, contrastado con el ideal de no tenerla, permite estimar el impacto de la PC en la rentabilidad de la actividad palmera, cercano al 20 %.

Es importante destacar que el análisis recién realizado, puede llevarse a cabo para cada una de las posibles edades de ataque de la PC (desde el primer año hasta el 30). No se presentaron los resultados para los primeros tres años porque los flujos de ingreso neto son negativos.

Análisis de sensibilidad con respecto a la incidencia inicial

Debe recordarse que uno de los parámetros claves del modelo de la incidencia de la enfermedad en el tiempo es la incidencia inicial. Si se repite el análisis llevado a cabo cambiando solo ese parámetro por el 20 % de incidencia, se llega a los resultados expuestos en las Figuras 6 y 7.

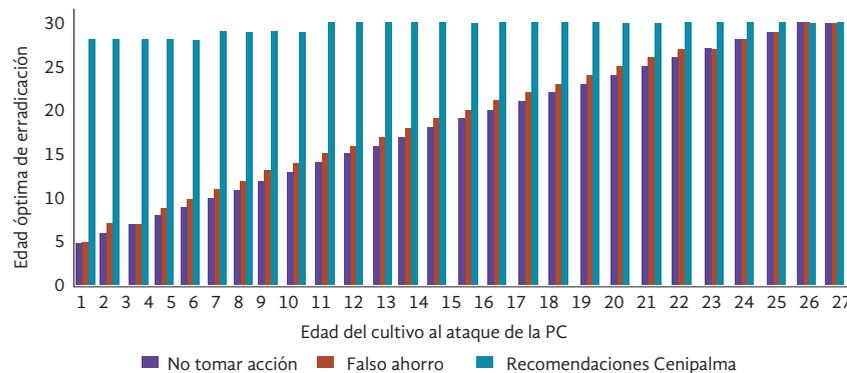


Figura 6. Edad óptima de erradicación de un lote de palma atacado por la PC, según estrategia de manejo de la misma, con incidencia inicial del 20 %.

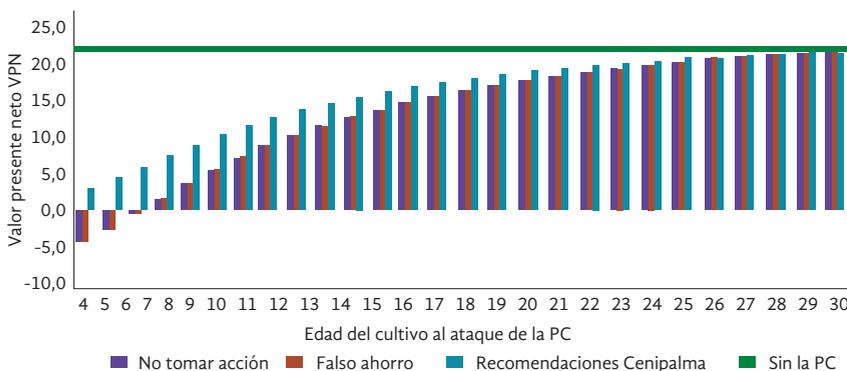


Figura 7. Valor presente neto (VPN) según estrategia de manejo, con incidencia inicial del 20 %.

Entre las hipótesis que podrían plantearse para que $D_0 = 20\%$, pueden presentarse: estar rodeado por plantaciones vecinas que no están haciendo manejo de la PC, y por lo tanto, la cantidad de casos en el momento en el cual se detecta la PC es elevada. Otra hipótesis podría ser descuido en la realización de censos de la PC y reporte de la enfermedad cuando ya se encuentra en estado avanzado de infección del lote.

El impacto de tener una incidencia inicial sobre la edad óptima de erradicación es muy importante. Por ejemplo, en el escenario de no tomar acción implica que una vez se detecta la enfermedad solo queda un año de vida económica del cultivo, para siembras de cualquier edad. Para la estrategia de falso ahorro, la consecuencia es que solo quedan dos años de vida económica del cultivo, para siembras de cualquier edad. Al considerar la estrategia de recomendaciones de Cenipalma se evidencia que siembras menores a los doce años no alcanzarán a llegar a los 30 años, sino que llegarán al punto de ingreso neto negativo en edades que oscilan entre los 28 y los 29 años.

Desde el punto de vista del VPN de los proyectos, es claro que si se siguen las estrategias de no tomar acción o falso ahorro, las siembras menores o igual a 6 años, deberán ser erradicadas tan pronto se detecte la enfermedad pues el valor negativo de sus VPN implican que no son proyectos viables. Igualmente, note el impacto tan severo que tiene sobre la rentabilidad del negocio, si se comparan los VPN de la Figura 7 con los de la Figura 5.

A esta altura cabe la pregunta de si es una buena idea dejar palmas enfermas en el campo para aprovechar los últimos racimos que puedan producir, a costa de permitir altas presiones de inóculo y de mantener elevadas tasas de contagio de la enfermedad. Ese tipo de decisiones tienen un alto impacto sobre los lotes más jóvenes de la propia plantación. Por ejemplo, erradicar un lote de 29 años, enfermo con la PC, reporta un VPN de 21.2 millones de pesos, en tanto que el escenario sin la PC reporta un VPN de 21.3 millones de pesos. Sin embargo la presión de inóculo sobre los lotes jóvenes puede llegar a tener que lidiar con niveles de incidencia del 20 %, en cuyo caso, aun manejando la PC bajo recomendaciones de Cenipalma, tendrá un impacto mucho mayor sobre el VPN de ese lote joven.

Si se erradicara el lote infestado de 29 años de edad oportunamente, la presión del inóculo sobre el lote

joven sería, por ejemplo, del 1 % de incidencia inicial, en tanto que si se decide cosechar el lote infestado por dos años, la presión de inóculo para el lote joven sería alta y se podría representar por una incidencia inicial del 20 %. La comparación entre los VPN para un lote de 7 años, tratado con recomendaciones de Cenipalma, bajo diferentes escenarios de incidencia inicial (1 y 20 %), resulta en una diferencia del 60 % en términos de rentabilidad, a favor del lote que tuvo una incidencia inicial del 1 %. Es decir, en ese lote adulto infestado por la PC, el palmicultor puede tener una ganancia marginal por mantenerlo en pie, en tanto que genera una pérdida muy importante en la rentabilidad de las siembras más jóvenes por conservar la presión del inóculo en el campo. Por un momento, se debe considerar si ese tipo de impacto es el que se quiere generar sobre lotes propios o incluso sobre plantaciones vecinas. Este análisis deja claro que no hay otra manera de luchar contra la PC, que tratar el problema desde una perspectiva regional.

Igualmente, estas simulaciones permiten entrever el peligro inminente de asumir que el problema de la PC se va a comportar como lo hace en los Llanos Orientales de Colombia y adoptar la estrategia de no tomar acción. Los autores consideran que la expectativa correcta para el manejo de la PC debe ser asumir que se comporte como lo hizo en Tumaco y proceder a un tratamiento rápido y oportuno, consistente en eliminar tejidos enfermos del campo.

Conclusiones

El modelo presentado en este documento permite concluir que a menos de que se logre disminuir la tasa de desarrollo de la enfermedad a niveles cercanos a cero por ciento, va a ser muy complejo que la palmicultura basada en materiales *E. guineensis* siga siendo sostenible. Lo anterior implica implementar de manera decidida las medidas de manejo de la PC propuestas por Cenipalma.

Es importante advertir que las medidas para el manejo de la PC propuestas por el Centro de Investigación de los palmicultores de Colombia, no se limitan a detección oportuna de casos de la PC y eliminación de tejidos enfermos del campo. Al contrario, constituye un paquete integral de manejo que puede resumirse en hacer buena agronomía desde el momento

de preparación de los suelos para la siembra (física, química, drenajes y riego), pasando por un manejo del vivero en condiciones de inocuidad que garanticen la ausencia total de *Phytophthora palmivora* en los materiales que van a llegar al campo, y concluye con un manejo del cultivo apropiado desde el punto de vista de la fertilización, la disponibilidad del agua y la sanidad. De hecho, los resultados que se presentaron aquí suponen un cultivo manejado de manera idónea, es decir, permiten estudiar el impacto económico de la enfermedad de manera aislada.

En efecto, el escenario hipotético presentado, en el cual la tasa de contagio de la enfermedad solo se logra llevar a 50 %, tras “ahorrar” la mitad del costo de control, arroja un resultado muy importante y es que el control de la PC no admite ahorros en términos de detección oportuna, ni de los insumos que se deben utilizar.

Otro de los temas que salta a la vista es el de modificar la tasa de incidencia inicial de la enfermedad con el fin de simular un escenario en el cual un productor decide suponer que la PC se va a comportar como lo hace en los Llanos Orientales de Colombia. Si ese supuesto es incorrecto, como ocurrió en Tumaco y después en Puerto Wilches, el problema es que ese productor se constituyó en una fuente de inóculo, primero para las siembras más jóvenes de su plantación y después para sus vecinos. La evidencia es clara, es preferible suponer que la enfermedad se va a comportar como lo ha hecho en Tumaco y en Puerto Wilches, atacarla oportunamente y abogar por estrategias de manejo regional de la misma.

Otra actitud muy peligrosa consiste en dejar en pie lotes infestados, con alta incidencia de la PC y

que tienen sus días contados, con el fin de extraer los últimos racimos. Esta es una actitud que no va a tener mayor impacto sobre el VPN del proyecto que ya está condenado a la muerte y, al contrario, favorece el comportamiento epidémico de la enfermedad. Note que la simulación realizada impone un escenario de incidencia inicial del 20 % y ya a ese nivel el impacto sobre la rentabilidad del negocio es devastador.

Este modelo debe considerarse como una herramienta que se puede implementar para evaluar el impacto de las enfermedades en palma, e incluso extenderse a otros cultivos perennes. Desde el punto de vista de la palmicultura, puede implementarse para productores que tengan diferente adopción de tecnología, lo cual cambiaría los flujos e ingreso neto y, desde luego, alteraría los resultados de edad óptima de erradicación. Adicionalmente, pueden estudiarse a nivel detallado los comportamientos de la incidencia en zonas determinadas y aplicar el modelo a esa información. Sin duda que puede llegar a constituirse en una herramienta muy importante para la toma de decisiones.

Para este ejercicio se utilizó información de producción, costos de producción, costos de control de la PC e incidencia de la enfermedad para el escenario de recomendaciones de Cenipalma. Entretanto, para el de no tomar acción, se utilizó información de producción y costos de producción del CEPV, mientras que la incidencia de la enfermedad en el tiempo se tomó de los datos de Tumaco. Lo anterior con fines meramente ilustrativos. Naturalmente, la aplicación de este modelo implica contar con información ajustada a las condiciones de producción, costos y evolución de la enfermedad, acorde con cada zona.

Bibliografía

- Alamo, C., Evans, E., Bruguera, A. y Nalapang, S. (2007) Economic impact and trade implications of the introduction of Black Sigatoka (*Mycosphaerella fijiensis*) into Puerto Rico. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 39, 5-17.
- Bardhan, P. y Udry, C. (1999) *Risk and insurance in an agricultural economy*. En P. Bardhan, & C. Udry, *Development microeconomics* (pp. 94-109). New York: Oxford University Press.
- Cobourn, K. M., Goodhue, R., Williams, J. C. y Zalom, F. G. (2008) Pest and agricultural commodity losses: evaluating alternative approaches to damage function estimation. *Agricultural and Applied Economics Association Annual Meeting*, Orlando, FL, July 27-29, 2008 (pp. 1-38). AgEconSearch. Recuperado el 1 de 10 de 2010, de AgEconSearch: <http://www.ageconsearch.com>

Evans, E. A. (2003) Economic dimensions of invasive species. *Choices*, 2, 5-9.

Jetter, K. M., Sumner, D. A. y Civerolo, E. L. (2000) Ex ante economics of exotic disease policy: Citrus Canker in California. . "Integrating risk assessment and Economics for regulatory decisions" (pp. 1-57). Washington D.C. USDA.

Marsh, T. L., Huffaker, R. G. y Long, G. E. (2000) Optimal control of vector-virus-plant interactions: the case of potato leafroll virus net necrosis. *American Journal of Agricultural Economics*, 83, 556-569.

Martinez, G., Arias, N., Sarria, G., Torres, G., Varon, F., Noreña, C., ... Burgos, C. (2009) *Manejo Integrado de la Pudricion del cogollo*. Bogota: Cenipalma.

Mosquera, M. (2013) Assesing the profitability of a South Florida avocado orchard in the presence of laurel wilt. Capítulo de la tesis, *Three Essays On The Economics Of Disease Management In Perennial Crops: A Framework For Assessing The Optimal Period Of Orchard Removal After An OutbreakKk*, (Tesis Doctoral sin publicar). Universidad de Florida, Gainesville.

Mosquera, M., Grogan, K., Evans, E. y Spreen, T. (2013) A framework for determining the period when a perennial crop is no longer profitable after a disease outbreak. *Theoretical Economics Letters*, 3(3), 171-181.

Salifu, A., Grogan, K., Spreen, T. y Roka, F. (2012) *Economic Analysis of Strategies to Combat HLB in Florida Citrus*. Southern Agricultural Economics Association Meetings at Birmingham Alabama, February 4-7, (pp. 1-13).

Spreen, T. H., Zansler, M. L. y Muraro, R. P. (2003) *The costs and value loss associated with Florida citrus groves exposed to citrus canker*. *Proceedings of the Florida State horticultural society* (pp. 289-294). Florida State Horticultural Society.

ABOCOL
Abonos Colombianos S.A.



**COMPUESTOS
QUÍMICOS NPK
FERTILIZANTES
SUPERIORES PARA
RESULTADOS
SUPERIORES**

¡Compruébalo tú mismo en tu cultivo!