

MANEJO AGROTÉCNICO PARA EL ANÁLISIS DE COSTO DEL CONTROL DE LA SIGATOKA NEGRA AL CULTIVO DEL PLÁTANO EN ECUADOR

Segress García Hevia ^{*1}, Carlos J. Ramírez Aguirre ^{*}, Jorge E. Viera Pico ^{*}, María L. Vivas Vivas ^{*}, Nicolás A. Vasconcellos Fernández ^{*}, Eison W. Valdiviezo Freire ^{*}

^{*}Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

ABSTRACT

The banana cultivation is especially important for the economy of Ecuador. Black Sigatoka in bananas is a disease caused by a fungus, which attacks the foliate system. When Black Sigatoka is not adequately controlled, the plants could suffer serious damages for themselves and their growth. To analyze the cost necessary to Black Sigatoka control, we gathered information about the banana production and the number of times that fungicides were applied. In the present paper we study the efficiency of the banana production, once they were fumigated after an infection by this fungus. Here it is considered that more efficient is banana production, when bigger is this fruit production, smaller is the quantity of resources used and smaller are the unwanted consequences. To calculate such efficiency and shadow prices we applied a mathematical method designed by R. Färe and based on a distance and Linear Programming.

KEYWORDS: Banana cultivation, Black Sigatoka, Shadow prices, Linear programming.

MSC: 90B30, 91B82, 90C05

RESUMEN

El cultivo del plátano es de gran importancia económica para el Ecuador. La Sigatoka Negra en plátanos, es una enfermedad causada por hongos que atacan el sistema foliar, causando daños graves en el mismo y en todo su desarrollo si no se controla convenientemente. Para el análisis de costo del control de la Sigatoka Negra se recopiló información sobre las producciones de plátanos y el número de aplicaciones de fungicida. En el presente artículo se estudia la eficiencia después de ser fumigados los cultivos de plantaciones bananeras infectadas de la Sigatoka Negra en el Ecuador. La producción de plátanos se considera más eficiente mientras mayor sea la cantidad producida de este producto, con la menor cantidad de recursos y la menor cantidad de consecuencias no deseadas. Para el cálculo de la eficiencia y los precios sombra se utilizó un método matemático creado por R. Färe basado en una distancia y que utiliza la Programación Lineal.

PALABRAS CLAVES: Cultivo de plátano, Sigatoka Negra, Precios sombra, Programación Lineal.

1. INTRODUCCIÓN

El plátano es un fruto que se produce y consume principalmente en los países en vía de desarrollo. En el comercio internacional sólo se transa el 1% de la producción mundial. Estados Unidos y la Unión Europea son los principales importadores de plátano fresco. El plátano y banano (*Musa spp.*), son el cuarto cultivo más importante a nivel mundial luego del trigo, el arroz y el maíz [5]. Son considerados en conjunto como productos básicos y de exportación, fuentes de empleo e ingresos en numerosos países en desarrollo [1].

Los agentes patógenos que causan la enfermedad de Sigatoka Negra es otro elemento a tener en cuenta como parte del manejo agrotécnico para la producción de este cultivo, teniendo en cuenta que la Sigatoka Negra es una enfermedad que es causada por hongos, los cuáles atacan el sistema foliar, causando daños graves en el mismo y en todo su desarrollo si no se controla convenientemente. Para el control de la Sigatoka Negra se tiene como práctica principal la aplicación de fungicidas, los cuales son útiles para proteger las hojas jóvenes y mantenerlas sanas y funcionales la mayor parte del tiempo.

El costo de las aplicaciones aéreas de fungicidas para controlar la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*), es el indicador más alto en la producción de plátano y cada año se incrementa porque la aplicación continua de lo fungicidas produce el efecto de pérdida de sensibilidad de este patógeno a los fungicidas sistémicos [6]. La enfermedad cuando está presente, constituye uno de los principales problemas fitopatológicos de la producción de plátanos. Su incidencia ocasiona, bajos o ningún rendimiento [15].

¹ Email: segress.garciah@ug.edu.ec

En el Ecuador, para controlar el ataque de la Sigatoka, se efectúan fumigaciones aéreas y terrestres con una amplia gama de fungicidas, con una frecuencia de alrededor de 24 ciclos/año, con la creencia de que mientras más aplicaciones de éste tipo se hagan se va a conseguir la protección de los cultivos, constituyendo esto un error, pues las plantas tienden a debilitarse cada vez más, pierden sus defensas naturales y quedan expuestas a ataques más severos y agresivos del patógeno. Como consecuencia de las fumigaciones sostenidas en las áreas de plátano, los impactos sobre el medio ambiente y la salud no son fáciles de corregir [8].

El objetivo principal que persigue el manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra al cultivo de plátano en Ecuador es la obtención de técnicas que no provoquen impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud. Es por ello, que un adecuado manejo agrotécnico para el control de esta enfermedad constituye una de las principales medidas adoptadas para mejorar la calidad del medio receptor.

Teniendo en cuenta los requisitos medioambientales y económicos, así como la importancia para el control de la Sigatoka Negra al cultivo de plátano, resulta necesario evaluar la viabilidad económica del control de la Sigatoka. Por tal motivo en el presente trabajo se realiza un análisis de costo beneficio, en el que los beneficios derivados del tratamiento de la Sigatoka Negra son comparados con los costos de explotación de las plantaciones del cultivo de plátano.

Para ejecutar un análisis de costo beneficio, se requiere que los beneficios y los costos estén expresados en las mismas unidades, los beneficios generalmente se miden en diferentes unidades físicas, mientras que los costos se miden en unidades monetarias; de ahí que el análisis de costo beneficio requiere de la valoración monetaria como método de homogeneización de las unidades de medida, [11].

Basado en lo antes referido, desde la teoría económica se han desarrollado diversas metodologías para la cuantificación e internalización de las externalidades derivadas de los proyectos de inversión. En la literatura especializada se define la cuantificación de las externalidades mediante el Método de Valoración Contingente (MVC), véase por ejemplo [4, 12, 14, 3].

El objetivo del MVC es cuantificar en términos monetarios el incremento o disminución de bienestar que se deriva de una actuación. A pesar de que muchos autores consideran el MVC como una técnica consolidada debido a que se encuentra avalada por numerosas aplicaciones prácticas, en la comunidad científica no existe un consenso unánime sobre la validez de esta metodología como herramienta de valoración de bienes. Este debate, unido al elevado costo monetario de este tipo de estudios, ha despertado un cierto interés en la búsqueda de alternativas a la valoración contingente en el contexto ambiental y especialmente en el ámbito del control de enfermedades en cultivos, dado diferentes manejos agrotécnicos y en particular en el control de la Sigatoka Negra al cultivo de plátano.

En este sentido y, a partir del trabajo pionero de Färe y otros [9], surge una corriente de investigación que aporta una metodología de valoración de los llamados outputs no deseables, en el marco de los estudios de eficiencia. Haciendo uso del concepto de función distancia se logra calcular un precio sombra para aquellos bienes derivados de actividades humanas y productivas para los que no se otorga ningún valor y que cuentan con importantes efectos.

Según el Banco Mundial: el precio sombra es el valor empleado en el análisis económico con respecto a un costo o beneficio de un proyecto cuando se considera que el precio de mercado es una estimación deficiente del valor económico real. El precio sombra implica técnicamente un precio que se ha obtenido de un modelo matemático complejo.

En el contexto de manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra en el cultivo de plátano, se considera el control como un proceso productivo; en el que se obtiene un output deseable junto con una serie de outputs no deseables, pudiéndose así plantear el cálculo de los precios sombra para los outputs no deseables, lo que es equivalente al valor del daño evitado o beneficiado para el control de la enfermedad, lo que es equivalente a obtener el valor de las externalidades positivas asociadas al manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra al cultivo de plátano que provoca la fumigaciones aéreas y terrestres con una amplia gama de fungicidas, es decir, mediante el manejo agrotécnico es posible evitar daños medioambientales y de salud que tienen un evidente efecto negativo.

Con el objetivo de obtener un indicador útil sobre la viabilidad económica del control de la Sigatoka Negra al cultivo de plátano, en el presente artículo se realiza un análisis costo beneficio para cada área sembrada de plátano en el Ecuador basado en el método de R. Färe, que mantiene su vigencia aún hoy día, véase [17, 18, 13]. Para ello, la cuantificación de los beneficios ambientales derivados del proceso de manejo agrotécnico se realiza mediante el cálculo de los precios sombra asociados a los outputs no deseables obtenidos en el proceso de control de la Sigatoka Negra al cultivo de plátano. Estimado el beneficio ambiental de la depuración en términos monetarios y conocido el costo económico del control de la enfermedad se obtiene el indicador de viabilidad económica para cada una de las áreas sembrada de plátano en análisis.

El presente artículo está estructurado de la siguiente forma: la Sección 2 de Materiales y Métodos esboza el método de Färe sobre la función distancia para calcular los precios sombra incluyendo los de los outputs no deseados. En la Sección 3 se efectúan los cálculos y se dan los resultados de aplicar esta técnica al problema del cultivo de plátanos. La Sección 4 se dedica a exponer las conclusiones. Finalmente se detallan las referencias utilizadas para desarrollar esta investigación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En la presente investigación se utiliza la metodología para la cuantificación de outputs no deseables desarrollada por Färe y otros en 1993, en el marco de los estudios de eficiencia. Bajo la perspectiva económica, el término eficiencia hace referencia al uso racional de los recursos disponibles, es decir, la eficiencia describe aquel proceso productivo que, según la tecnología existente, emplea de manera óptima todos los factores de producción. En este contexto, la llamada función distancia se utiliza como referente para la obtención de los precios sombra de cada área sembrada de plátano, seleccionada para el análisis. Las funciones distancia fueron introducidas por primera vez por Färe y otros, haciendo uso del teorema de la dualidad de Shephard [16]. Conceptualmente, la función distancia generaliza el concepto de las funciones de producción convencionales y mide la diferencia entre los outputs producidos por el proceso objeto de estudio (control de la Sigatoka Negra al cultivo de plátano) y los outputs producidos por el proceso más eficiente. Se considera que el proceso más eficiente es aquel que minimiza el consumo de inputs y también minimiza la generación de outputs no deseables para maximizar la obtención de outputs deseables. Esta función mide la distancia en el espacio desde el vector de outputs del proceso analizado hasta la frontera definida por el proceso más eficiente considerando que el vector de inputs es constante. Suponiendo que el proceso de producción utiliza un vector de N inputs $x \in \mathbb{R}_+^N$ para producir un vector de M outputs $u \in \mathbb{R}_+^M$, la función distancia se define como se muestra en la Ecuación 1.

$$D_0(x, u) = \inf \left\{ \theta : \left(\frac{u}{\theta} \right) \in P(x) \right\} \quad (1)$$

Donde, $P: \mathbb{R}_+^N \rightarrow 2^{\mathbb{R}_+^M}$ es tal que $P(x)$ representa todos los vectores outputs que son técnicamente factibles de ser producidos a partir del vector input x , o sea, $P(x) = \{u \in \mathbb{R}_+^M : x \text{ puede producir } u\}$, nótese que $2^{\mathbb{R}_+^M}$ denota el conjunto potencia de \mathbb{R}_+^M . Se utilizan también los vectores de inputs x , mientras que $\frac{u}{\theta}$ es la relación de outputs en la frontera de producción, con ello se tiene que: $D_0(x, u) \in [0, 1]$. Asimismo, se tiene que $D_0(x, 0) = 0$ y $D_0(x, u) = 1$ si u pertenece a la producción frontera, es decir la más eficiente.

Valores elevados de D_0 indican una buena aproximación a la frontera de producción y, por tanto, alta eficiencia. De forma que, cuando se utilice un mínimo de inputs para producir un determinado output, (en nuestro caso adecuado tratamiento de la Sigatoka Negra) se situará en la frontera de producción [10].

La función distancia tiene las siguientes propiedades [7]:

- i. $D_0(x, u)$ es una función semicontinua inferior.
- ii. $D_0(x, u)$ es no decreciente en u y no creciente en x .
- iii. $D_0(x, u)$ es homogénea de grado 1 en outputs u .

El método más usado para la estimación empírica de las funciones distancia es el de programación lineal, aunque algunos estudios utilizan métodos econométricos. Este tipo de programación matemática fue utilizada en primera instancia por Aigner y Chu [2], para estimar los parámetros de la función de producción, y desde entonces se ha convertido en un poderoso instrumento para estimar las funciones distancia. Una de las ventajas de esta metodología es que no requiere ningún supuesto sobre la forma funcional. Un posible inconveniente es que los parámetros calculados no tienen propiedades estadísticas.

La función que ofrece mayor flexibilidad y, por ello, la más usada en este ámbito es la función translog, aplicada a un problema con k unidades de producción, n inputs y m outputs, siendo respectivamente x^k y u^k los inputs y outputs de la unidad de producción k -ésima, se formula como se muestra en la Ecuación 2.

$$\ln D_0(x^k, u^k) = \alpha_0 + \sum_{n=1}^N \beta_n \ln x_n^k + \sum_{m=1}^M \alpha_m \ln u_m^k + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N \sum_{n'=1}^N \beta_{nn'} (\ln x_n^k) (\ln x_{n'}^k) + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^M \sum_{m'=1}^M \alpha_{mm'} (\ln u_m^k) (\ln u_{m'}^k) + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \gamma_{nm} (\ln x_n^k) (\ln u_m^k) \quad (2)$$

Para calcular los parámetros (α, β, γ) de la ecuación se usa el problema de programación lineal que se define en la Ecuación 3

$$\text{Max } Z = \sum_{k=1}^K [\ln D_0(x^k, u^k) - \ln 1] \quad (3)$$

tal que:

- (i) $\ln D_0(x^k, u^k) \leq 0, (k = 1, 2, \dots, K)$
- (ii) $\frac{\partial \ln D_0(x^k, u^k)}{\partial \ln u_1^k} \geq 0$
- (iii) $\frac{\partial \ln D_0(x^k, u^k)}{\partial \ln u_m^k} \leq 0, (m' = 2, 3, \dots, M; k = 1, 2, \dots, K)$
- (iv) $\sum_{m=1}^M \alpha_m = 1; \sum_{n=1}^N \beta_{nn'} = \sum_{n=1}^N \gamma_{nn} = 0 \quad (m = 1, 2, \dots, M; N = 1, 2, \dots, N)$
- (v) $\alpha_{mm'} = \alpha_{m'm}; m = 1, 2, \dots, M; m' = 1, 2, \dots, M$
- (vi) $\beta_{nn'} = \beta_{n'n}; n = 1, 2, \dots, N; n' = 1, 2, \dots, N$

El problema lineal a resolver se plantea como: maximizar la suma de las distancias de cada unidad respecto de la frontera sabiendo que $\ln 1 = 0$, y sujeto a las restricciones de:

- (i) Todas las observaciones deben ser menores o iguales que 0.
- (ii) La derivada de la función distancia es no decreciente con el output deseable. En este caso, el denominador u_1^k representa el único output deseable del problema.
- (iii) La derivada de la función distancia con relación a los outputs no deseables, asegura que éstos tienen precios negativos. En este caso $u_m^k (m = 2, 3)$ son los outputs no deseables del problema.
- (iv) Homogeneidad de grado 1 de la función respecto a los outputs.
- (v) Simetría de los parámetros α .
- (vi) Simetría de los parámetros β .

Calculada la función de distancia para cada área de plátano sembrada, en análisis, el siguiente paso consiste en la aplicación del Lema de Shephard, que nos permite pasar de unidades físicas a unidades monetarias. El citado Lema, está relacionado con la teoría del consumidor, de forma que para una función de costo de un determinado bien, esta tiene un único mínimo (siempre y cuando se cumplan condiciones de las funciones, como por ejemplo que sea estrictamente convexa) para un precio determinado. Es decir, un consumidor puede comprar una cantidad única de un bien (para un precio dado por el mercado) que le permite alcanzar un cierto nivel de utilidad o bienestar. Shephard en 1970, [16] y posteriormente Färe y Primont en 1995 establecieron la dualidad entre la función distancia y la de ingresos.

La aplicación del Lema de Shephard para calcular los precios de los outputs no deseables requiere asumir que tanto la función de distancia como la de ingresos son diferenciables. Las relaciones entre las funciones de ingreso y las funciones distancia se expresan a través de las Ecuaciones 4 y 5, respectivamente.

$$R(x, u) = \sup_u \{ru: D_0(x, u) \leq 1\} \quad (4)$$

$$D_0(x, u) = \sup_r \{ru: R(x, u) \leq 1\} \quad (5)$$

Donde, $R(x, u)$ es la función de ingresos y $r = (r_1, r_2, \dots, r_M)$ representa los precios de los outputs, asumiendo que $r \neq 0$. Mientras que ru es el producto escalar entre el vector de precios por el vector de outputs. El Teorema de Dualidad de Shephard permite establecer la siguiente relación a través de la Ecuación 6.

$$\nabla_u D_0(x, u) = r^*(x, u) \quad (6)$$

Donde, $r^*(x, u)$ representa el máximo de la función de ingreso para un vector determinado de precios de los outputs. La deducción de los precios sombra absolutos para los outputs no deseables usando la función distancia requiere asumir que el precio sombra absoluto de un output deseable coincide con el precio de mercado. Bajo la aplicación que se está realizando, el precio sombra del manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra es igual al precio de mercado de este output.

Sea m' un output deseable cuyo precio de mercado es $r_{m'}$ igual a su precio sombra absoluto $r_{m'}^0$ cada uno de los outputs no deseables y el precio sombra de cada uno de los outputs no deseables, para todo $m' \neq m$ los precios sombra absolutos viene dados como se muestra en la Ecuación 7, [9].

$$r_{m'} = r_m^0 \frac{\partial D_0(x, u) / \partial u_{m'}}{\partial D_0(x, u) / \partial u_m} \quad (7)$$

De ahí, el precio sombra relativo del output m' (no deseable) se define como el cociente entre la derivada de la función de distancia con respecto al output no deseable y la derivada de la función de distancia con respecto al output deseable, y todo ello multiplicado por el precio sombra absoluto del output deseable.

En el presente trabajo se propone la aplicación de la metodología anteriormente descrita en el ámbito del manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra en el cultivo de plátano, con el objetivo de llevar a cabo un análisis costo beneficio que incluya las externalidades ambientales.

3. RESULTADOS

En esta sección se desarrolla el estudio del caso que nos ocupa, aplicando la teoría explicada anteriormente. Para ello se parte de los costos para el control de la Sigatoka Negra al cultivo de plátano.

La muestra utilizada en esta aplicación empírica fue tomada a partir de los tres meses de la siembra, hasta el momento de floración de la planta, el trabajo de campo estuvo comprendido en los meses de agosto hasta julio, por lo que se tuvo en cuenta 45 plantaciones de plátano con una prevalencia de un 75 % de presencia de Sigatoka Negra. Las evaluaciones a estas 45 plantaciones se realizaron semanalmente, para determinar los estados infecciosos de la enfermedad con los dos métodos de evaluación y quincenales para las variables de comportamiento agronómico.

El proceso de control de la enfermedad se caracterizó por la producción de un output deseable, *tratamiento de la enfermedad* (u_1) y dos outputs no deseados relacionados con el *costo de las aplicaciones aéreas de fungicidas que repercute en afectaciones ambientales* (u_2) y *afectaciones de salud* (u_3). Los inputs necesarios para llevar a cabo el tratamiento son: *personal* (x_1), *mantenimiento* (x_2) y *varios* (x_3).

Es por ello que la función translog de la función distancia representada en la Ecuación 2, en este problema se reduce a la Ecuación 8:

$$\ln D_0(x^k, u^k) = \alpha_0 + \sum_{n=1}^3 \beta_n \ln x_n^k + \alpha_1 \ln u_1^k + \frac{1}{2} \ln u_1^k \sum_{m=2}^3 \alpha_{1m} \ln u_m^k + \ln u_1^k \sum_{n=1}^3 \gamma_{n1} \ln x_n^k, \quad k = 1, 2, \dots, 45. \quad (8)$$

Las tablas 1 y 2 muestran los costos de explotación. Dichos costos se han agrupado en tres categorías: personal, mantenimiento y varios. La media ponderada de las 45 plantaciones objeto de estudio que aparece en la Tabla 2, muestra que el costo más importante está asociado al mantenimiento de las áreas plantadas con un $0,0745\$/m^2$, lo que supone aproximadamente un tercio del total de los costos. Un resultado similar, $0,0776\$/m^2$, está asociado a los gastos de personal. Los costos varios (varios indicadores de manejo agrotécnicos que influyen en la presencia de la enfermedad) tienen un peso porcentual similar en el costo total, contribuyendo cada uno de ellos con un $0,0421\$/m^2$.

Plantaciones	Personal	Mantenimiento	Varios	Total
1	0,08	0,079	0,026	0,185
2	0,044	0,05	0,013	0,107
3	0,062	0,062	0,044	0,168
4	0,056	0,039	0,048	0,143
5	0,061	0,046	0,024	0,131
6	0,042	0,035	0,014	0,091
7	0,049	0,03	0,014	0,093
8	0,085	0,05	0,029	0,164
9	0,069	0,069	0,054	0,192
10	0,124	0,25	0,278	0,652
11	0,095	0,113	0,014	0,222
12	0,103	0,094	0,066	0,263
13	0,048	0,031	0,02	0,099

14	0,089	0,023	0,072	0,184
15	0,127	0,092	0,035	0,254
16	0,055	0,136	0,032	0,223
17	0,175	0,2	0,171	0,546
18	0,244	0,193	0,081	0,518
19	0,114	0,168	0,067	0,349
20	0,071	0,067	0,105	0,243
21	0,047	0,039	0,029	0,115
22	0,043	0,033	0,011	0,087
23	0,031	0,033	0,02	0,084
24	0,047	0,1	0,105	0,252
25	0,025	0,032	0,012	0,069
26	0,133	0,083	0,06	0,276
27	0,064	0,051	0,035	0,15
28	0,08	0,076	0,015	0,171
29	0,024	0,054	0,015	0,093
30	0,072	0,044	0,026	0,142
31	0,053	0,062	0,03	0,145

Tabla1 Costos de explotación de las plantaciones de mayor prevalencia con Sigatoka Negra. Valores expresados en \$/m². Fuente: Elaboración propia.

Plantacio	Personal	Mantenimiento	Varios	Total
32	0,073	0,026	0,011	0,11
33	0,107	0,072	0,029	0,208
34	0,038	0,045	0,034	0,117
35	0,07	0,115	0,04	0,225
36	0,045	0,083	0,017	0,145
37	0,061	0,024	0,007	0,092
38	0,023	0,021	0,003	0,047
39	0,036	0,11	0,016	0,162
40	0,101	0,055	0,017	0,173
41	0,114	0,089	0,045	0,248
42	0,17	0,153	0,047	0,37
43	0,08	0,041	0,024	0,145
44	0,07	0,039	0,019	0,128
45	0,09	0,045	0,02	0,155
MEDIA	0,077	0,0745	0,0421	0,1941

Tabla2 Costos de explotación de las plantaciones de mayor prevalencia con Sigatoka Negra. Valores expresados en \$/m² (Continuación). Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de la distribución de costos, se estimó la media ponderada según la cantidad total de plantaciones afectados por Sigatoka Negra. Las plantaciones cuyo manejo agrotécnico requiere de fumigaciones áreas son las que presentan un mayor costo, seguidas de las plantaciones que son tratadas con fungicidas no apropiados para disminuir la enfermedad. Por otra parte, las plantaciones que utilizan agua limpia, para el manejo agrotécnico que requiere el cultivo de plátano, en particular para tratar los suelos, son las que tienen un menor coste de explotación.

Cuantificados los costos de explotación de las plantaciones objeto de estudio (tablas 1 y 2), es posible realizar el análisis de costo beneficio, para ello es necesario determinar los beneficios ambientales y de salud del proceso de control de plantaciones con mayor prevalencia de Sigatoka Negra.

Los beneficios ambientales y de salud del proceso de control de plantaciones con mayor prevalencia de Sigatoka Negra expresados en términos monetarios, han sido estimados mediante el cálculo de los precios sombra de los outputs no deseables obtenidos en el manejo agrotécnico para el control de la referida enfermedad en el cultivo de plátano. Estos precios sombra expresan el valor del daño ambiental con respecto a los contaminantes que provocan al medio las fumigaciones que se realizan para contrarrestar la enfermedad, es decir, el beneficio ambiental derivado del proceso de manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra en el cultivo de plátano.

La Tabla 3 muestra los beneficios ambientales, expresados en términos monetarios, de las 45 plantaciones con mayor prevalencia de la Sigatoka Negra. El beneficio total se desglosó según los contaminantes eliminados al realizar las fumigaciones como el Dióxido de Carbono (CO₂) y las micropartículas que contaminan el medio ambiente (PM₁₀).

El beneficio ambiental, se obtiene de multiplicar el precio sombra del contaminante en cuestión por la cantidad de dicho contaminante eliminado por metro cúbico de plantaciones en el proceso de manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra.

En la Tabla 3, la media ponderada de las áreas plantadas en análisis es de 0,6723\$/m².

Áreas de plantaciones	CO ₂	PM ₁₀	BEN. TOTAL	Áreas de plantaciones	CO ₂	PM ₁₀	BEN. TOTAL
1	0,0145	0,0033	0,0178	24	0,1296	0,0233	0,1529
2	0,1965	0,1628	0,3593	25	0,1048	0,0334	0,1382
3	0,0292	0,0483	0,0775	26	0,0557	0,0097	0,0654
4	0,0171	0,0058	0,0229	27	0,1153	0,0342	0,1495
5	0,3898	0,1403	0,5301	28	0,0164	0,0111	0,0275
6	0,6671	0,1945	0,8616	29	0,0631	0,038	0,1011
7	0,1068	0,0228	0,1296	30	0,0818	0,0463	0,1281
8	0,0358	0,0045	0,0403	31	0,739	0,3085	1,0475
9	0,5941	0,1982	0,7923	32	0,9878	0,1142	1,102
10	0,1384	0,3401	0,4785	33	2,0608	0,4034	2,4642
11	0,1314	0,0332	0,1646	34	0,2572	0,4487	0,7059
12	0,588	0,0915	0,6795	35	0,0361	0,0837	0,1198
13	1,5785	0,3931	1,9716	36	1,9958	0,313	2,3088
14	0,0086	0,0085	0,0171	37	0,0792	0,015	0,0942
15	0,1202	0,2691	0,3893	38	0,7465	0,1635	0,91
16	1,0519	0,2466	1,2985	39	0,3192	0,5404	0,8596
17	0,4968	0,2333	0,7301	40	0,0954	0,0455	0,1409
18	0,1347	0,0713	0,206	41	0,8213	0,1668	0,9881
19	0,8153	0,5215	1,3368	42	0,306	0,3398	0,6458
20	1,6409	0,2746	1,9155	43	0,7351	0,5665	1,3016
21	0,7138	0,0558	0,7696	44	0,7554	0,5785	1,3339
22	1,1984	0,0937	1,2921	45	0,752	0,5752	1,3272
23	0,0528	0,0086	0,0614	MEDIA	0,4883	0,184	0,6723

Tabla 3 Beneficios ambientales relacionados con los contaminantes eliminados al realizar las fumigaciones que contaminan el medio ambiente (Pm₁₀), valores expresados en \$/m². Fuente: Elaboración propia.

La Figura 1, muestra los beneficios ambientales asociados a la eliminación de los contaminantes CO₂ y PM₁₀. En el mismo se observa que evitar la contaminación por micropartículas PM₁₀, supone la mayor contribución al beneficio total del proceso de manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra en las plantaciones de plátano, la eliminación de este contaminante representa el 81 % del beneficio total. La eliminación de Dióxido de Carbono (CO₂), contribuye (0,18 %) al beneficio ambiental. A pesar de que este contaminante es

eliminado en grandes cantidades, su bajo precio sombra implica que su contribución al beneficio total sea la más baja de todos los contaminantes.

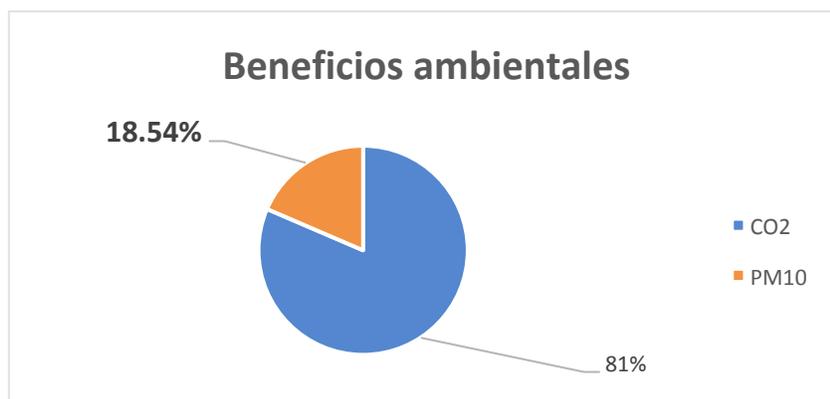


Figura 1 Beneficio ambiental en función del contaminante eliminados en el proceso de manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra en el cultivo de plátano. Fuente: Elaboración propia.

Identificados y cuantificados los costos y los beneficios derivados del proceso de depuración de manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra al cultivo de plátano, se calcula el beneficio neto asociado al proceso de depuración en cada una de las áreas plantaciones objeto de estudio.

El beneficio neto de cada una de las áreas de plantaciones objeto de estudio, se calcula teniendo en cuenta los beneficios brutos del proceso de manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra en el cultivo de plátano, de cada una de las áreas de plantaciones y luego se comparan con su costo de explotación. Las tablas 4 y 5, muestran que 16 de las 45 (34%) de las áreas de plantaciones, presentan un beneficio neto negativo, es decir, que su explotación no es viable desde el punto de vista económico.

El análisis de costo beneficio realizado muestra que existen 16 áreas de plantaciones que no son económicamente viables. La media del beneficio total de los contaminantes que se eliminan en el proceso de manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra en el cultivo de plátano poseen un resultado positivo, 0,6723 \$/m², lo que demuestra que dicho manejo es un proceso positivo no sólo desde el punto de vista ambiental sino también económico.

Áreas de plantaciones	BEN. TOTAL	Costo	Beneficio Neto
1	0,0178	0,185	-0,1672
2	0,3593	0,107	0,2523
3	0,0775	0,168	-0,0905
4	0,0229	0,143	-0,1201
5	0,5301	0,131	0,3991
6	0,8616	0,091	0,7706
7	0,1296	0,093	0,0366
8	0,0403	0,164	-0,1237
9	0,7923	0,192	0,6003
10	0,4785	0,652	-0,1735
11	0,1646	0,222	-0,0574
12	0,6795	0,263	0,4165
13	1,9716	0,099	1,8726
14	0,0171	0,184	-0,1669
15	0,3893	0,254	0,1353
16	1,2985	0,223	1,0755

Tabla 4 Beneficio neto del proceso de manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra al cultivo de plátano expresado en \$/m². Fuente: Elaboración propia.

Áreas de	BEN. TOTAL	Costo	Beneficio Neto
----------	------------	-------	----------------

plantaciones			
17	0,7301	0,546	0,1841
18	0,206	0,518	-0,312
19	1,3368	0,349	0,9878
20	1,9155	0,243	1,6725
21	0,7696	0,115	0,6546
22	1,2921	0,087	1,2051
23	0,0614	0,084	-0,0226
24	0,1529	0,252	-0,0991
25	0,1382	0,069	0,0692
26	0,0654	0,276	-0,2106
27	0,1495	0,15	-0,0005
28	0,0275	0,171	-0,1435
29	0,1011	0,093	0,0081
30	0,1281	0,142	-0,0139
31	1,0475	0,145	0,9025
32	1,102	0,11	0,992
33	2,4642	0,208	2,2562
34	0,7059	0,117	0,5889
35	0,1198	0,225	-0,1052
36	2,3088	0,145	2,1638
37	0,0942	0,092	0,0022
38	0,91	0,047	0,863
39	0,8596	0,162	0,6976
40	0,1409	0,173	-0,0321
41	0,9881	0,248	0,7401
42	0,6458	0,37	0,2758
43	1,3016	0,145	1,1566
44	1,3339	0,128	1,2059
45	1,3272	0,155	1,1722
Media	0,67232	0,1941	0,47818

Tabla 5 Beneficio neto del proceso de manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra al cultivo de plátano expresado en \$/m² (Continuación). Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realiza una caracterización de la enfermedad de la Sigatoka Negra al cultivo de plátano en el Ecuador, con el propósito de percibir cuan costoso y beneficioso es el manejo agrotécnico para controlar la enfermedad. En el análisis de costo beneficio se realizó una valoración de los beneficios ambientales, permitiendo llevar a cabo estudios de viabilidad económica para proyecciones sobre el control de la enfermedad objeto de estudio.

En el análisis se tuvo en cuenta el valor monetario de las externalidades positivas asociadas al manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra al cultivo de plátano que provoca la fumigaciones aéreas y terrestres con una amplia gama de fungicidas. Bajo la consideración de que el manejo agrotécnico representa un proceso productivo en el que se obtiene un output deseable, tratamiento de la enfermedad junto con una serie de outputs no deseables relacionados con el costo de las aplicaciones aéreas de fungicidas que repercute en afectaciones ambientales y afectaciones de salud.

Basado en lo antes referido se realizó el cálculo de un precio sombra para estos últimos que representa el valor del daño ambiental evitado o beneficio ambiental derivado del proceso de manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra. Se presenta una aplicación empírica para una muestra de 45 áreas de plantaciones de mayor afectación por la enfermedad caso de estudio teniendo en cuenta la generación de dos outputs no deseables.

Los resultados obtenidos son variables en función de los contaminantes eliminados. El mayor beneficio está asociado al mantenimiento de las áreas plantadas con un 77%. La contaminación por micropartículas PM₁₀, posee la mayor contribución al beneficio total del proceso de manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra en las plantaciones de plátano, la eliminación de este contaminante representa el 81 % del beneficio total.

Los resultados del análisis de costo beneficio, en general proporcionaron información sobre la viabilidad económica del manejo agrotécnico para el control de la Sigatoka Negra al cultivo de plátano. Por otra parte, se demostró que el beneficio neto está directamente relacionado con el beneficio bruto del proceso objeto de estudio.

REFERENCIAS

- [1] AFANADOR, A.M. (2013): El banano verde de rechazo en la producción de alcohol carburante. **Revista EIA**, 2005, 51-68.
- [2] AIGNER D.J. y CHU, S.F. (1968). Estimating industry production function. **American Economic Review**, 58, 826-839.
- [3] ALMENDAREZ HERNÁNDEZ, M. A., SÁNCHEZ BRITO, I., MORALES ZÁRATE, M. V. y SALINAS ZAVALA, C. A. (2016). Propuesta de cuotas para conservación de un área natural protegida de México. **Perfiles latinoamericanos**, 24, 95-120.
- [4] ARDILA, S. (1993). **Guía para la utilización de modelos econométricos en aplicaciones del método de valoración contingente**, Banco Interamericano de Desarrollo.
- [5] ARISTIZÁBAL, M., OROZCO, M. y OSTOS, M. (2012). Efectos del sistema de manejo de las sigatoka y la frecuencia de fertilización sobre el crecimiento y producción del plátano Dominic Hartón (Musa AAB). **Revista de Ciencias Agrícolas**, 23, 74-93.
- [6] CHERREZ, J., FRÍAS, G., YAGUAL, M. (2008). Tesis de Grado de la Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. **Análisis del control de la Sigatoka negra (*Micosphaerella Fijiensis*) en el cultivo de banano**. Guayaquil, Guayas, Ecuador. URL: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/5263>
- [7] COELLI, T. (1998). A multi-stage methodology for the solution of orientated DEA models. **Operations Research Letters**, 23, 143-149.
- [8] COELLO, R. (2008). Tesis. **Evaluación de tres productos de bajo impacto ambiental para el control integrado de Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en plantaciones de banano orgánico**. Guayaquil, Guayas, Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.
- [9] FÄRE, R., GROSSKOPF, S., LOVELL, C.A. y YAISAWARNG, S. (1993). Derivation of shadow prices for undesirable outputs: a distance function approach, **Review of Economics and Statistics**, 75, 374-380.
- [10] HERNÁNDEZ, F. y SALA, R. (2006): Economic and technical efficiency of wastewater plants: A basic requisite to the feasibility of water reuse projects. En: Hlavinek, P. et al. (Eds) **Integrated Urban Water Resources Management**. 219-230.
- [11] HERNÁNDEZ, N. B. y RICARDO, J.E. (2018) **Gestión empresarial y posmodernidad**, Infinite Study, Bruselas, Belgica.
- [12] KISTRÖM, B. y RIERA, P. (1997). El método de la valoración contingente. Aplicaciones al medio rural español. **Revista española de economía agraria**, 179, 133-166.
- [13] MOLINOS SENANTE, M., HANLEY, N. y SALA GARRIDO, R. (2015). Measuring the CO2 shadow price for wastewater treatment: a directional distance function approach. **Applied Energy**, 144, 241-249.
- [14] OSORIO MÚNERA, J.D. y CORREA RESTREPO, F.J. (2009) Un análisis de la aplicación empírica del método de valoración contingente. **Semestre Económico**, 12, 11-30.
- [15] SAAVEDRA GALLO, C.G. (2012). **Identificación de genes candidatos de resistencia a sigatoka negra en variedades de banano y plátano**. Trabajo final para la obtención del título: Ingeniero Agrícola y Biológico Espol. Fimep, Guayaquil. 100.
- [16] SHEPHARD, R.W. (1970). **Theory of Cost and Production Functions**. Princeton: Princeton University Press.
- [17] WANG, Z. y FENG, C. (2015) Sources of production inefficiency and productivity growth in China: a global data envelopment analysis. **Energy Economics**, 49, 380-389.
- [18] ZHOU, X., FAN, L.W. y ZHOU, P. (2015). Marginal CO2 abatement costs: Findings from alternative shadow price estimates for Shanghai industrial sectors. **Energy Policy**, 77, 109-117.