

20. Combate de enfermedades de plantas: aspectos económicos de la toma de decisiones

Las decisiones que toma el productor sobre actividades de combate de enfermedades son de índole económica, y se basan en consideraciones biológicas, económicas, sociales y culturales. Como cualquier otro problema económico, la toma de decisiones conlleva la asignación de recursos limitados a la satisfacción de una necesidad humana, en este caso la reducción de los daños ocasionados por las enfermedades. Entre los factores que afectan la decisión están la gravedad del problema (cuánto daño puede esperarse para un nivel dado de enfermedad), las opciones de manejo de que se disponga en un momento dado (rentabilidad, factibilidad de su aplicación), la percepción del problema por parte del agricultor en términos de los dos factores anteriores y los objetivos del agricultor (maximizar ganancias vs. disminuir riesgos). Con base en sus objetivos y percepciones, el agricultor evaluará la situación, escogerá una acción a seguir, y obtendrá un resultado el cual a su vez influirá en sus percepciones para próximas decisiones (Figura 20.1). En la práctica, las decisiones sobre actividades de fitoprotección deben tomarse, en la mayoría de los casos, con base en información incompleta sobre los diferentes factores que afectan el desarrollo de enfermedades y su combate. Muchas veces, a falta de información, ésta se sustituye por aplicaciones innecesarias de fungicidas las cuales aumentan los costos y causan daños ambientales. A fin de ayudar en el proceso de toma de decisiones en el manejo de enfermedades, se han desarrollado numerosas técnicas de análisis, basadas en diferentes tipos de información, algunas de las cuales se describen en el presente capítulo. Es necesario aclarar que estas técnicas son herramientas que pueden ayudar en la toma de decisiones. Sin embargo, debe tenerse en mente que nada sustituye a la experiencia y el sentido común, y que por tanto las herramientas presentadas en este capítulo deben considerarse como complementarias y auxiliares, pero no como sustitutivas del buen juicio.

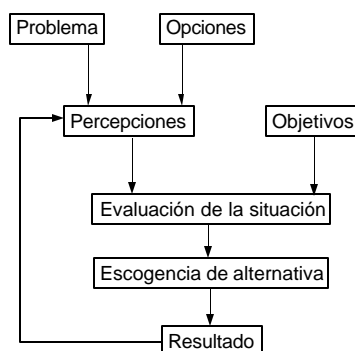


Figura 20.1. Pasos en la toma de decisiones. (Traducido de Norton y Mumford. 1993. Decision Tools for Pest Management. © 1993 por CAB International. Reproducido con permiso de CAB International. Reservados todos los derechos)

Funciones de daño: relación enfermedad-pérdidas

Antes de entrar a examinar las metodologías existentes para racionalizar la toma de decisiones en fitoprotección, es necesario conocer un elemento fundamental para el uso de algunas de estas metodologías, que es la función de daño. Esta función es la expresión cuantitativa de la relación entre el nivel de población de una plaga o de intensidad de una enfermedad y el rendimiento o la pérdida debido a éste. En el capítulo 12 se introdujo el concepto, y en la presente sección se analiza a mayor profundidad.

Típicamente la curva generada por una función de daño se puede dividir en cinco secciones (Figura 20.2). En una primera sección la intensidad de ataque de la plaga o enfermedad no resulta en reducción del rendimiento. Esta sección podría llamarse zona de tolerancia. Por encima de cierto nivel de ataque, que se ha denominado umbral fisiológico de daño o nivel crítico, el rendimiento de la planta empieza a disminuir aunque levemente, porque aún la planta posee cierta capacidad de compensación. La tercera parte de la curva se caracteriza por un descenso abrupto del rendimiento al aumentar el grado de ataque. En esta sección el descenso en producción es casi linealmente proporcional al grado de ataque. En la cuarta sección de la curva, el descenso en rendimiento por unidad adicional de plaga va disminuyendo por competencia dentro de la misma población de la plaga. Finalmente, se alcanza un nivel de plaga máximo, donde ya no ocurre disminución adicional de rendimiento.

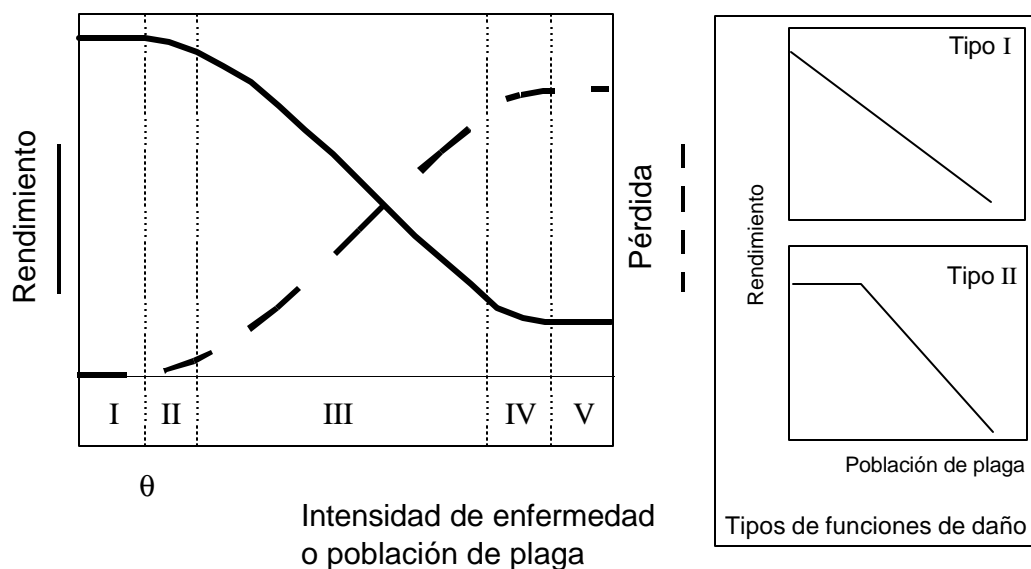


Figura 20.2. Relación entre el nivel de enfermedad o plaga y el rendimiento. Las regiones del gráfico de la izquierda son: I, región de tolerancia; II, región de compensación; III, región de efecto proporcional de daño; IV, región de competencia, y V, región de máximo daño. El nivel de población q representa el umbral fisiológico de daño. El tamaño de la región de tolerancia da como resultado dos tipos generales de funciones de daño (derecha), la relación lineal, también llamada Tipo I y la relación de tipo umbral o Tipo II. (Adaptado de Waibel, 1986; Mumford y Norton, 1987, y Norton y Mumford, 1993)

En muchos casos, se han usado funciones lineales para describir el daño por plagas o enfermedades por ser éstas las más sencillas de obtener e interpretar. Si bien estas funciones no se ajustan a la realidad tan bien como otras funciones más complejas, cuando se evalúan para el período III de la curva ya descrita, dan una aproximación bastante razonable.

Métodos de análisis para la toma de decisiones en fitoprotección

Los métodos de análisis propuestos para la toma de decisiones en el manejo de plagas y enfermedades se pueden clasificar en métodos basados en el uso de umbrales, métodos de optimización económica y métodos basados en la teoría de decisiones. El uso de umbrales presupone que existe una determinada condición que, de presentarse, justificaría económicamente la aplicación de una determinada práctica de combate. Esta condición puede ser un nivel cuantificable de la población de la plaga o el patógeno, o un estado de desarrollo de una enfermedad, o bien una condición ambiental bajo la cual existe riesgo de que la enfermedad alcance dicho nivel. Una vez alcanzada dicha condición, el agricultor debe poner en práctica una medida adecuada de combate para evitar pérdidas económicas. Si dicha condición no se presenta, no es necesario aplicar medidas de combate. Los métodos de optimización económica parten del supuesto que la enfermedad o plaga se va a presentar en niveles dañinos, y por tanto de hecho es necesario adoptar medidas de combate, pero existe un nivel de combate óptimo (por ejemplo, un número óptimo de aplicaciones de fungicida por ciclo del cultivo), en el cual se maximizan las ganancias. Por debajo de este nivel las ganancias disminuyen por el daño de la plaga, y por encima de él, las ganancias disminuyen por un costo excesivo. Los métodos basados en la teoría de decisiones suponen que no se conoce a qué nivel se va a presentar la enfermedad, y se analiza el valor monetario esperado de diferentes alternativas de combate para diferentes niveles esperados de enfermedad, ponderando el nivel de enfermedad por la probabilidad de que se presente dicho nivel. En las siguientes secciones se explican los tres métodos.

El umbral económico

El concepto de umbral económico se basa a su vez en el concepto de nivel de daño económico, introducido por los entomólogos en la década de 1950. Este se define como el nivel de plaga o enfermedad en el cual las pérdidas debidas a la plaga son iguales que el costo del tratamiento requerido para evitar dichas pérdidas. El umbral económico es el nivel de enfermedad o plaga al cual se debe iniciar la acción de combate para evitar que la población de la plaga sobrepase el nivel de daño económico en el futuro. Obsérvese la diferencia del umbral económico con el umbral fisiológico en la Figura 20.3

Definición y componentes

El nivel de daño económico se puede expresar matemáticamente como:

$$NDE = C/VDK$$

donde:

NDE = nivel de daño económico expresado en unidades generadoras de daño por unidad de muestreo (ej. huevos de nematodos por gramo de suelo), o en porcentaje de tejido dañado

C= Costo del combate por unidad productiva

V= Valor de mercado por unidad producida

D = Daño económico expresado como pérdida en rendimiento por unidad de plaga y por unidad de muestreo, o por unidad porcentual de tejido dañado

K = Proporción de reducción del nivel de plaga obtenido por el tratamiento (de 0 a 1).

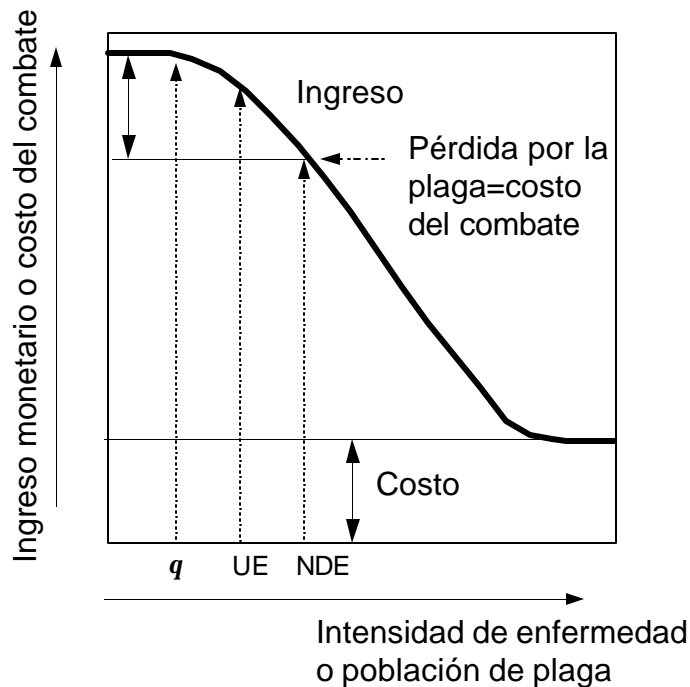


Figura 20.3. El concepto de umbral económico: q = umbral fisiológico; UE= umbral económico; NDE=Nivel de daño económico. El umbral fisiológico es el nivel de la plaga o enfermedad que ocasiona alguna pérdida en rendimiento y por ende en el ingreso bruto. El NDE es el nivel de plaga o enfermedad en el cual la pérdida en ingreso equivale al costo del tratamiento para combatirla. El UE es el nivel de plaga o enfermedad al cual se deben iniciar las medidas de combate para evitar que la población alcance el NDE.

El umbral económico como herramienta de toma de decisiones se ha usado para numerosas plagas insectiles. En fitopatología, su uso con base en recuento de unidades de daño se restringe a unos pocos casos (insectos vectores, nematodos y esclerocios). En algunos casos se han utilizado estimaciones tempranas de severidad, pero esto entraña el riesgo de que el nivel visible de enfermedad esté muy por debajo del nivel real debido al período de incubación. En muchos casos el umbral se define a partir de sistemas de pronóstico (Capítulo 12) basados en la medición de las condiciones ambientales potencialmente favorables al desarrollo de la enfermedad (Ej. combinaciones de temperatura y horas de mojadura favorables al establecimiento de períodos de infección, Capítulo 11, Figura 11.6) durante la etapa de susceptibilidad del hospedero.

Ventajas y limitaciones del umbral económico como herramienta de decisión

Las principales ventajas del umbral económico como herramienta de decisión son su facilidad de uso y el hecho de que en la práctica ha resultado eficaz en la reducción del número de aplicaciones de plaguicidas sin menoscabo del combate de la plaga o la enfermedad. Una limitación al uso del umbral económico es que para la mayoría de las plagas y enfermedades se desconoce la función de daño (factor D en la ecuación anterior), y además esta función varía con condiciones del cultivo tales como la variedad y las condiciones de crecimiento que afecten su tolerancia a las plagas y enfermedades. Por otra parte, supone que siempre se va a aplicar la medida de combate más eficaz posible, ignorando el efecto en otros

componentes del agroecosistema. Otra crítica al uso del umbral económico es que se basa en una sola plaga, y no considera la interacción entre las distintas plagas y enfermedades. Al respecto, algunos autores han propuesto el concepto de “equivalencia de daño” (ej. pérdida de área foliar, indistintamente de la especie defoliadora) como la base de un umbral que considere varias plagas a la vez. Otra crítica es que el umbral económico es una herramienta de decisión para un momento dado, que ignora la dinámica del patosistema a lo largo del tiempo. Desde un punto de vista operativo, muchos agricultores encuentran más práctico aplicar plaguicidas con base en el calendario que con base en umbrales, ya que con el sistema calendarizado la planificación de labores es más fácil, el riesgo de que una plaga se salga de control es menor, permite aplicar productos contra varias plagas al mismo tiempo, y no requiere de personal o equipo especializado para estimar las poblaciones de plaga. Finalmente, el umbral económico es un criterio en el cual el beneficio es igual al costo, y no un criterio donde el beneficio económico del combate se maximiza. Los economistas han propuesto alternativas que buscan maximizar las ganancias obtenidas del combate de plagas y enfermedades mediante el análisis marginal. Este tipo de análisis se estudia más adelante.

Incorporación del costo ambiental en el nivel de daño económico

A pesar de las limitaciones anteriores, el concepto de nivel de daño económico tiene la ventaja de que permite visualizar los elementos del proceso de toma de decisiones que podrían aprovecharse para reducir el impacto ambiental de las actividades de fitoprotección. Higley y Pedigo (1993) han propuesto incluir el costo ambiental en el costo del tratamiento (C), dándole un mayor costo a los tratamientos de mayor impacto ambiental, reduciéndose en consecuencia las aplicaciones de productos peligrosos. Estos autores sugieren también que aumentando la tolerancia de las plantas a las plagas por medio de fitomejoramiento o nutrición, se reduce el factor D , y por tanto aumenta el NDE y disminuye el número de aplicaciones de plaguicida. Finalmente, indican que se puede desarrollar un valor de K ecológicamente responsable, donde la meta no sea necesariamente un 100% de mortalidad de la plaga sino evitar el daño económico, respetando las poblaciones de enemigos naturales. Esta filosofía también ayudaría a reducir el uso de plaguicidas.

Métodos de optimización económica

Este enfoque pretende encontrar cuál estrategia de combate de una plaga o enfermedad maximiza las ganancias. Una metodología de optimización es el análisis marginal, el cual parte del supuesto de que de hecho se va a presentar un nivel de plaga o enfermedad que es necesario combatir, y que existe un nivel óptimo de combate que dará las máximas ganancias. Se supone, en este caso, que el costo del combate incrementa con el nivel de éste. Este enfoque es particularmente apropiado para comparar económicamente diferentes cantidades (dosis o número de aplicaciones) de un plaguicida en el combate de una enfermedad. La diferencia de este enfoque con el nivel de daño económico se ilustra en la Figura 20.4.

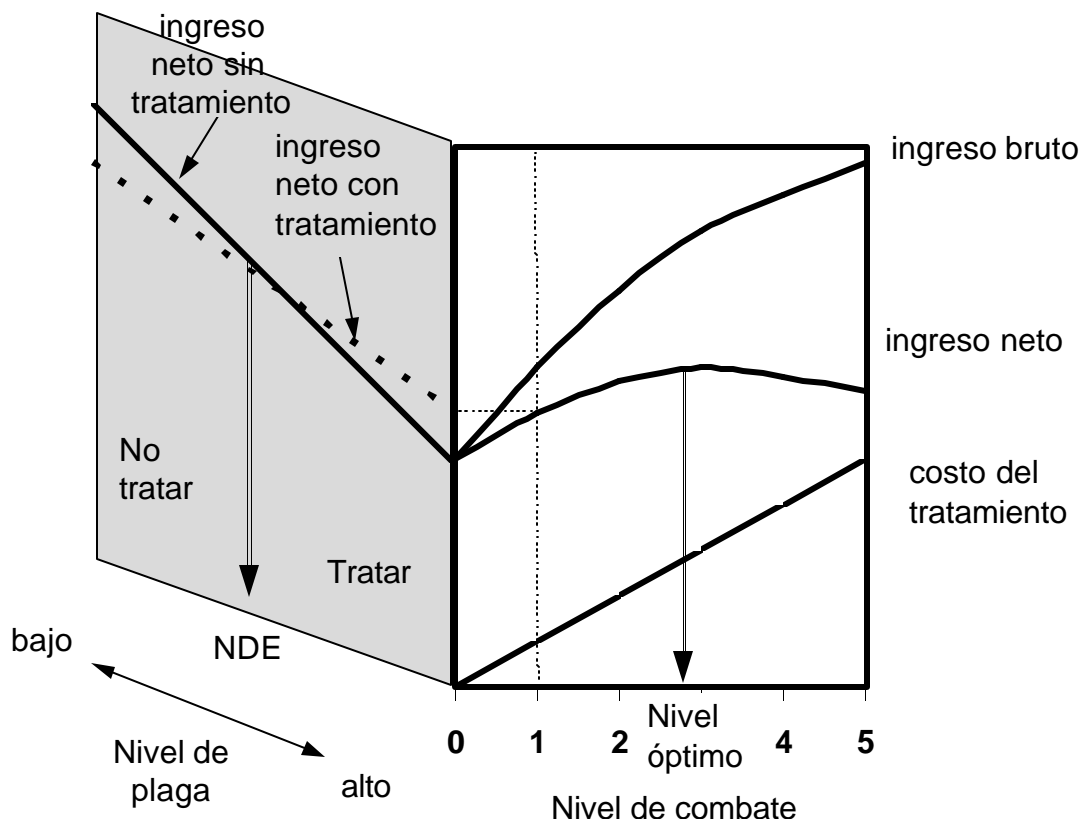


Figura 20.4. Representación gráfica de la diferencia entre el nivel de daño económico y el nivel óptimo de combate de una plaga. En el caso del nivel de daño económico, la decisión de aplicar o no aplicar se basa en el nivel de plaga (ej. huevos de nematodo) que justifica económicamente el tratamiento. En el caso del nivel óptimo de combate, se da por un hecho que existen condiciones para la presencia de un nivel alto de la plaga, y que el daño provocado por ésta es una función del nivel de combate (ej. número de aplicaciones). En este caso se recomienda el nivel de combate que maximice el ingreso neto. Obsérvese que a nivel alto de plaga la línea de “tratamiento” equivale al nivel de combate 1, y la línea de “no tratar” equivale al nivel de combate 0. (Adaptado de Mumford, J.D. y Norton, G.A. 1984. Annual Review of Entomology 29:157-174).

El análisis marginal trata el combate de una enfermedad como un insumo del cual se va a obtener un producto, y se basa en funciones de producción similares a las utilizadas para el cálculo de rendimiento en función de las dosis de fertilizante. La siguiente explicación sigue el análisis presentado por Bowen (1997)¹ Las funciones de producción usadas en el análisis marginal son las siguientes:

Producción total (PT), donde la cantidad de producto y es una función de la cantidad de insumo x : $y = f(x)$

Producción física media (PMe): el producto promedio por unidad de insumo: y/x

¹ (Reproducido de Bowen, K.L. 1997. Economics and decision analysis. En: Francl, L.J. y Neher, D.A. (Eds.) Exercises in Plant Disease Epidemiology. APS Press. pp. 175-182. © 1997 por The American Phytopathological Society. Reproducido con permiso de The American Phytopathological Society. Reservados todos los derechos).

Productividad física marginal (PM): el incremento en producto por cada unidad adicional de insumo. Se calcula mediante la derivada de PT : dy/dx .

En este ejemplo, solo se usarán PT y PM.

Para determinar la maximización de las ganancias, se requiere conocer el costo unitario del insumo P_x y el precio unitario del producto P_y . El incremento en ingreso por cada unidad adicional de insumo es el Valor del Producto Marginal (VPM), donde:

$$VPM = PM \bullet P_y$$

La ganancia se maximiza cuando el ingreso por cada unidad adicional de insumo iguala al costo de dicha unidad adicional de insumo, es decir cuando $VPM = P_x$, o cuando:

$$PM \bullet P_y = P_x$$

$$PM = P_x/P_y$$

Por otra parte, conociendo relaciones entre incidencia (o severidad) y pérdidas o rendimiento (función de daño), y entre nivel de combate y nivel de enfermedad (por ejemplo, incidencia como función del número de aplicaciones de fungicida), se puede calcular la relación entre el nivel de combate y el rendimiento. Por ejemplo, si el rendimiento y es función de la incidencia i , y ésta es función del número de aplicaciones x , entonces :

$$y = a + b i$$

$$i = c + dx + ex^2 + fx^3 \dots$$

entonces

$$y = a + b(c + dx + ex^2 + fx^3 \dots) = a + bc + bdx + bex^2 + bfx^3 \dots$$

Bowen (1997) presenta el siguiente ejemplo para el caso de la relación entre el número de aplicaciones del fungicida tebuconazol y la incidencia de *Sclerotium rolfsii* en maní.

En primer lugar se determina la relación entre el rendimiento y : y la incidencia i . En este caso:

$$y = 4505.07 - 43.49i$$

luego se obtiene la relación entre la incidencia y el número de aplicaciones x :

$$i = 17.22 - 11.62x + 2.67x^2 - 0.198x^3$$

por tanto

$$y = 3.756.17 + 505.35x - 116.12x^2 + 8.61x^3$$

luego de calcular la productividad marginal:

$$PM = dy/dx = 505.35 - 232.24x + 25.83x^2$$

suponiendo un costo de \$44.48 por hectárea por cada aplicación de fungicida ($P_x = 44.48$), y un precio de \$0.65 por kg de producción (P_y), entonces $P_x/P_y = 68.43$

Puesto que la máxima ganancia se presenta cuando $P_x/P_y = PM$, entonces

$$505.35 - 232.24x + 25.83x^2 = 68.43.$$

Resolviendo esta ecuación cuadrática se obtiene que $x = 2.68$ ó 6.31 .

En este ejemplo se recomendaría como solución óptima realizar 3 aplicaciones de tebuconazol por ciclo del cultivo.

Otro enfoque combina el análisis marginal con el concepto de umbral económico, de modo que se define como el umbral óptimo aquella población de plaga en la cual se maximiza el beneficio económico del combate. El supuesto en este caso es que entre mayor sea la densidad de plaga que se use como criterio para aplicar una medida de combate, esta se aplica un menor número de veces en el ciclo y por tanto el costo disminuye, aunque también disminuye el ingreso bruto por verse sometido el cultivo a una mayor población de la plaga (Figura 20.5).

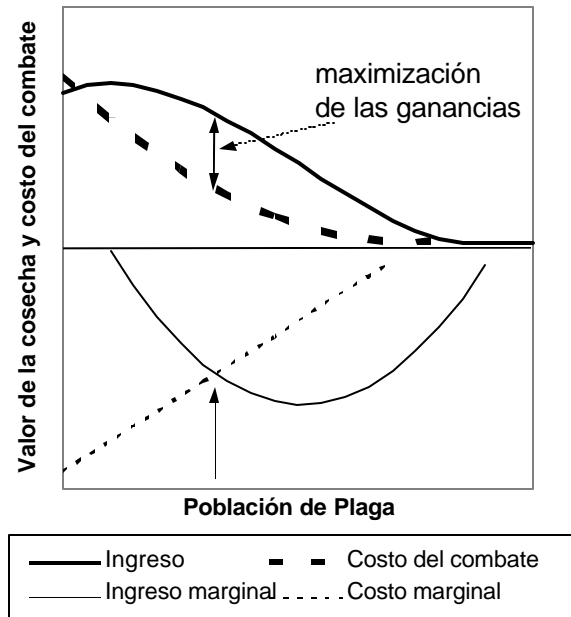


Figura 20.5. Determinación del umbral económico óptimo mediante la maximización de la diferencia entre la curva de reducción de ingresos en función de la densidad de plaga y la curva de reducción de costos de combate en función también de la densidad de plaga. La parte inferior del gráfico muestra el umbral óptimo como el punto en que las derivadas de ambas funciones se intersectan (flecha). Las derivadas corresponden al ingreso marginal, o ingreso por cada unidad adicional de plaga, y al costo marginal, o el costo por cada unidad adicional de plaga

Muchas de las mismas críticas formuladas al umbral económico son válidas también para el análisis marginal. Estas incluyen la escasez de funciones de daño o de relaciones entre nivel de combate e ingresos para muchas plagas y enfermedades, el supuesto de que siempre se va a aplicar la medida de combate más eficaz posible, ignorando el efecto en otros componentes del agroecosistema y el hecho de que se basa en una sola plaga. Finalmente, se ha criticado esta metodología porque define el nivel de combate óptimo como un valor fijo para todo el ciclo del cultivo, e ignora que los cambios en el patosistema a lo largo del tiempo influyen en y son influidos por las mismas actividades de combate.

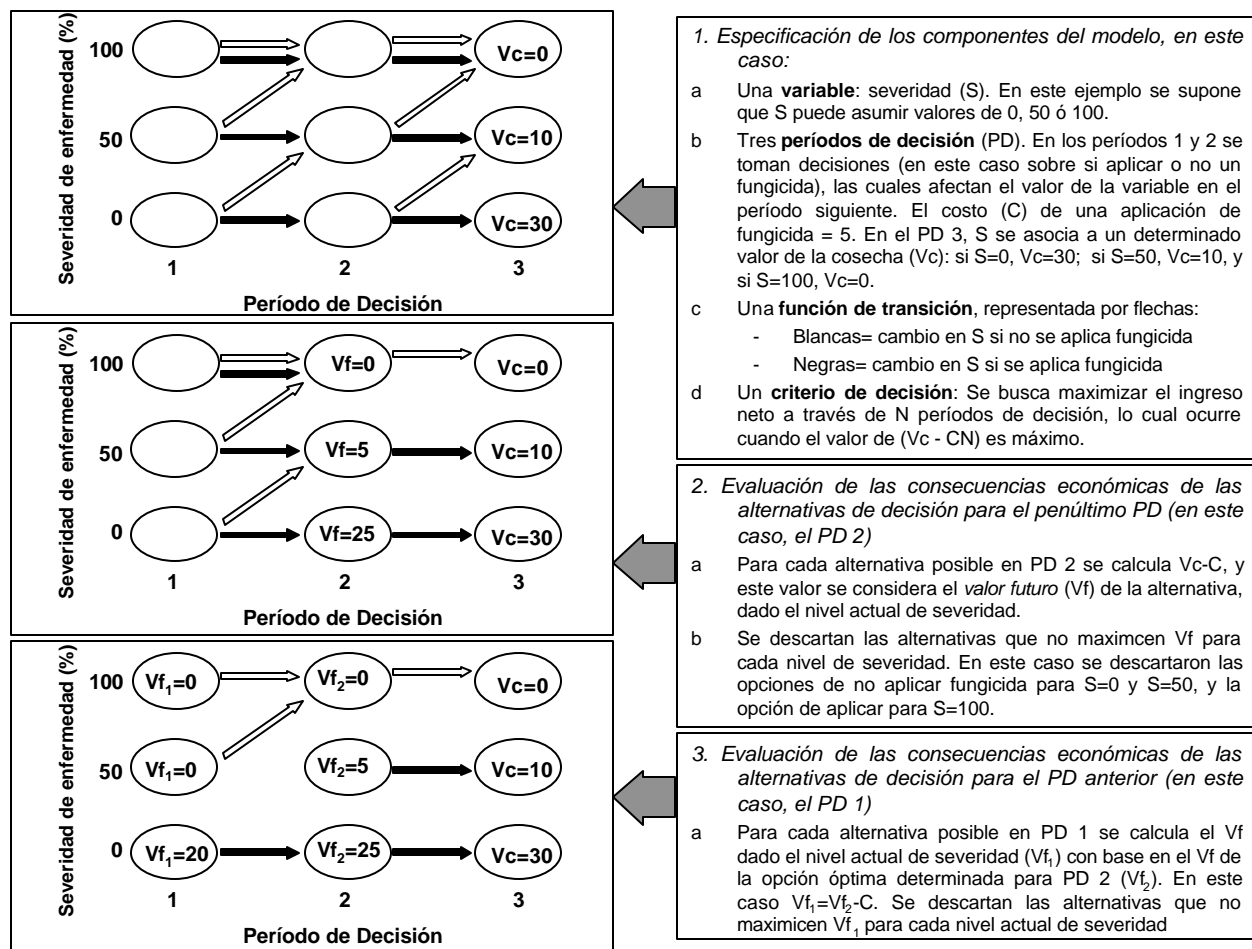


Figura 20.6. Pasos en la obtención de la solución óptima en un problema sencillo de programación dinámica. En este ejemplo, el agricultor debe decidir entre aplicar o no aplicar un fungicida dado un determinado nivel de severidad de una enfermedad hipotética, y debe hacerlo durante dos períodos consecutivos. De doce posibles alternativas se determinaron las seis mejores decisiones, dados tres posibles niveles de severidad y dos períodos en que se debe tomar una decisión. (Adaptado de Reynolds, 1995)

Un enfoque alternativo, que toma en cuenta los cambios del patosistema a través del tiempo, y permite incorporar varias plagas o enfermedades, y efectos externos al patosistema (clima, enemigos naturales) es la técnica de optimización conocida como programación dinámica. Como ilustración de los pasos que sigue la programación dinámica, se muestra un ejemplo sencillo en la Figura 20.6. En la realidad, se trabaja con más variables, con más niveles para cada variable y con más períodos de decisión, así como con funciones de transición más complejas que las presentadas en el ejemplo, y la obtención de la solución óptima requiere del uso de computadora. Esta técnica es muy flexible, pero conforme incorpora más variables se vuelve prácticamente inmanejable aún con ayuda de computadoras. Un máximo de cinco o seis variables es lo recomendado.

Métodos basados en la teoría de decisiones

Los métodos anteriormente expuestos presuponen que el agricultor conoce el nivel de plaga o enfermedad en el cual la aplicación de una medida de combate resultaría rentable. En la práctica, en la mayoría de los casos esto no se conoce o no es posible detectarlo a tiempo para combatir el problema, y por tanto el agricultor debe tomar decisiones en condiciones de incertidumbre. Para estos casos, se han desarrollado métodos que explícitamente toman en cuenta dicha incertidumbre. Uno de estos métodos consiste en desarrollar una matriz de resultados en que se analiza la rentabilidad de diferentes acciones de combate para diferentes situaciones (Ej., para diferentes niveles de ataque de plaga), tomando en cuenta la probabilidad de que una determinada situación ocurra en la práctica. Esta probabilidad se puede determinar por medio de estudios específicos o basarse en la experiencia de los agricultores de la zona. Aunque el método puede incluir varias alternativas de decisión y varias situaciones, a fin de demostrar la mecánica de la metodología, bastará un ejemplo hipotético mínimo basado en dos posibles decisiones (tratar o no tratar) para dos situaciones esperadas, en este caso dos niveles de una enfermedad (presente o ausente). Supónganse las siguientes condiciones:

1. La probabilidad de que la enfermedad se presente es de un 15% ($P=0.15$), y por tanto la probabilidad de que no se presente es $P=0.85$.
2. En ausencia de enfermedad, el ingreso por venta de producto es de \$1000/ha; si la enfermedad se presenta y no se combate el ingreso es 0.
3. Se dispone de un método de combate que cuesta \$100/ha, y que tiene una eficacia del 50%.

Con estas condiciones se obtiene el ingreso neto (beneficio - costo) que se obtendría para cada acción a tomar (aplicación o no-aplicación del método de combate) en ausencia o presencia de enfermedad. Cada ingreso se multiplica por la respectiva probabilidad, dando como resultado el ingreso esperado para cada situación y acción. La suma de estos ingresos esperados para todas las diferentes situaciones da el valor monetario esperado de cada acción (Cuadro 20.1). La acción más deseable es la de mayor valor monetario esperado.

Cuadro 20.1. Ingresos por el combate de una enfermedad hipotética dadas diferentes situaciones, y el valor monetario esperado de combatir o no combatir dicha enfermedad en condiciones de incertidumbre

	Situaciones		Valor monetario esperado (\$/ha)
	Enfermedad ausente P=0.85	Enfermedad presente P=0.15	
INGRESO ESPERADO POR LA ACCION INDICADA (\$/ha)			
ACCION			
Combatir	900	400	825*
No combatir	1000	0	850**

* $((1000-100) \times 0.85) + (((1000 \times 0.5) - 100) \times 0.15) = 825$

** $(1000 \times 0.85) + (0 \times 0.15) = 850$

Este método se puede usar en forma prescriptiva, para indicar un curso de acción a seguir, o puede usarse en forma descriptiva, para ilustrar las consecuencias económicas de una secuencia de decisiones a lo largo del tiempo. En este caso se construye un “árbol de decisiones” (Figura 20.7) que indica la secuencia más rentable de actividades.

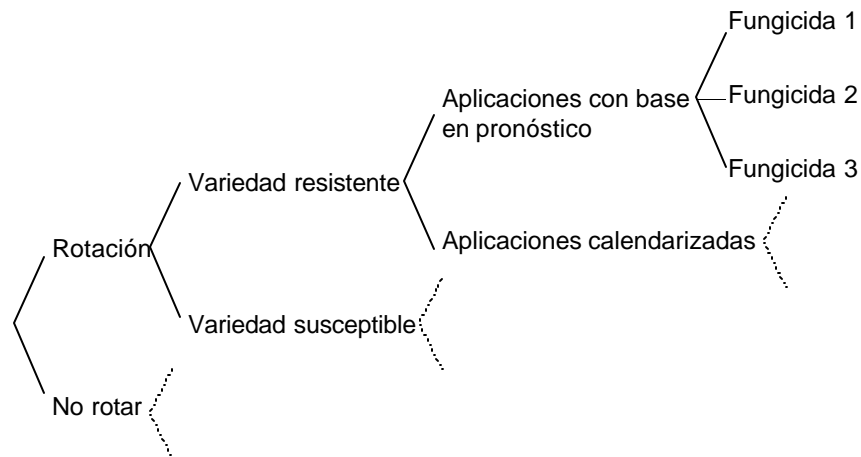


Figura 20.7. Ejemplo de un árbol de decisiones para el manejo de enfermedades. Si a cada decisión se le asocia un valor monetario esperado se puede determinar la secuencia más rentable de actividades.

Los métodos anteriores pueden combinarse. Por ejemplo, si se conoce una función de daño, y se tiene una idea de qué nivel de infección esperar bajo diferentes condiciones, así como de la eficacia que poseen las diferentes opciones de combate, se puede anticipar cuál sería la estrategia más rentable bajo diferentes potenciales de infección. Esto se ilustra en el siguiente ejemplo (Figura 20.8). Supóngase que para una enfermedad dada el nivel esperado de pérdida aumenta con el nivel esperado de infección, y que el agricultor dispone de tres opciones de combate, A, B y C, todas con una eficacia máxima de alrededor de un 85%. La opción A es la de menor costo, y es eficaz únicamente a niveles bajos de potencial de enfermedad (Ej., clima poco favorable al desarrollo de la enfermedad). La opción B tiene un costo mayor y es eficaz a niveles bajos y medios de potencial de enfermedad. La opción C es la más cara, pero funciona aún en condiciones muy favorables al desarrollo de la enfermedad. La parte superior de la Figura 20.8 ilustra las pérdidas potenciales en ingreso bruto asociadas a diferentes niveles esperados de infección, sin combate de la enfermedad y con cada una de las opciones mencionadas. Se observa la eficacia de cada medida, sin considerar el costo de su aplicación. La parte inferior muestra lo que sucede con las pérdidas al considerar el costo del combate. Los puntos en que se intersectan las diferentes líneas indican cuál acción es más rentable bajo los diferentes potenciales de infección considerados. En este caso, entre los niveles de infección 0 y 1 lo más rentable es no combatir la enfermedad. Entre 1 y 2, la opción A es la más rentable. Entre 2 y 3, la opción más rentable es la B, y por encima del nivel 3, la opción C es la más rentable.

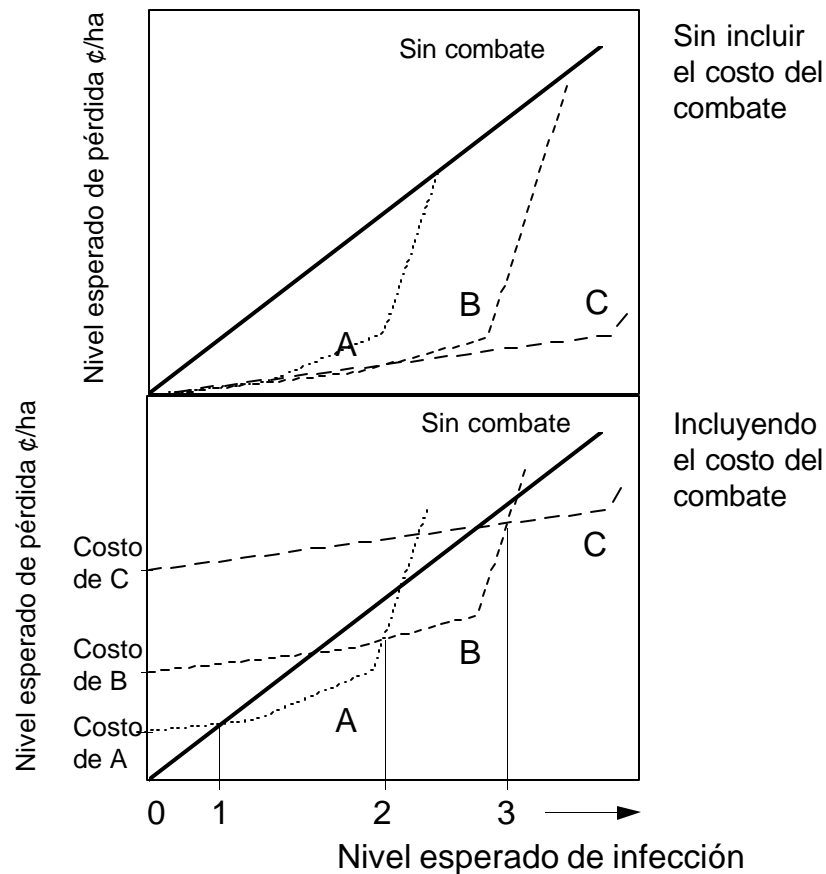


Figura 20.8. Pérdidas esperadas debidas a una enfermedad, al aplicar diferentes opciones de manejo A, B y C. La parte superior ilustra las pérdidas potenciales en ingreso bruto asociadas a diferentes niveles esperados de infección, sin combate de la enfermedad (línea sólida) y con cada una de las opciones mencionadas (líneas discontinuas), sin considerar el costo de su aplicación. La parte inferior muestra lo que sucede con las pérdidas al considerar el costo del combate. Los puntos en que se intersectan las diferentes líneas indican cuál acción es más rentable bajo los diferentes potenciales de infección considerados.

Herramientas auxiliares en la toma de decisiones en combate de enfermedades

El uso de las metodologías descritas puede ser complementado por herramientas que permitan tomar decisiones en forma oportuna y de acuerdo con condiciones realistas específicas de cada situación en particular. Estas herramientas pueden ser generales o específicas. En esta sección se describen unas pocas. Para una revisión exhaustiva, se recomienda al lector la excelente obra de Norton y Mumford (1993).

Herramientas generales

Estas herramientas de decisión pueden ayudar a identificar componentes y relaciones asociados a problemas de manejo de plagas, permitiendo identificar preguntas clave, oportunidades y limitaciones para atacar el problema, permitiendo así establecer una estrategia global para manejarlo adecuadamente. Estas herramientas incluyen, entre otras, diagramas de flujo, perfiles históricos, perfiles de cultivo y matrices de

interacción. Los diagramas de flujo muestran mediante cuadros y líneas relaciones entre los componentes de un sistema, y permiten identificar relaciones claves dentro del problema considerado. A veces estos diagramas sirven como primer fundamento para la construcción de modelos de simulación. Los perfiles históricos muestran el comportamiento de determinados fenómenos a lo largo de varios años. De esta manera se puede ver el incremento o disminución de un problema y vincularlo a hechos pasados, como puede ser el cambio en el tipo de fungicida o el cambio en la variedad más utilizada de un cultivo. Los perfiles de cultivo superponen los estados fenológicos del cultivo a lo largo de un año, o a lo largo de uno o pocos ciclos del cultivo, con información sobre las variables ambientales relevantes, las prácticas de cultivo y las diferentes etapas de la biología de las plagas de interés. De esta manera se planifican a grandes rasgos las actividades para todo el ciclo del cultivo, con base en los momentos en que se espera el ataque de tal o cual plaga o patógeno. Las matrices de interacción consisten en cuadrículas en las cuales se especifican determinadas variables en una dimensión (ej., en las hileras) y los factores que pueden incidir en ellas en la otra dimensión (las columnas). En cada intersección se coloca una marca si el factor en cuestión influye sobre la variable, de manera que se puede observar el efecto de cualquier factor sobre cualquier variable (Figura 20.9).

	CLIMA	viento	lluvia	temperatura	humedad	SUELO	fertilidad	propiedades físicas	organismos	HOSPEDERO	fenología	variedad	edad
Mancha Grasienta													
inóculo			•	•	•				•				
dispersión		•			•				•				
infección			•	•			•	•			•	•	•
desarrollo							•	•			•	•	
defoliación			•	•			•	•			•	•	

Figura 20.9. Un ejemplo de matriz de interacción. En este caso se pueden visualizar los factores (columnas) que inciden sobre las diferentes fases (hileras) del desarrollo de la mancha grasienta de los cítricos, causada por *Mycosphaerella citri*.

Herramientas específicas: sistemas expertos y modelos de simulación

Estas son herramientas detalladas que ayudan en la toma de decisiones específicas, y se usan principalmente para la formulación y comunicación de pronósticos de plagas y recomendaciones de

combate específicas. Estas herramientas a menudo, aunque no siempre, están asociadas al uso de la computadora.

Un ejemplo de este tipo de herramientas son los sistemas expertos, los cuales son programas de computadora (o pueden ser manuales impresos) que imitan los procesos empleados por un experto humano en el diagnóstico de un problema y la formulación de una recomendación. Si bien los sistemas expertos computarizados permiten el uso de más información y de manera más flexible que un manual impreso, aún en los casos en que no se disponga de un computador, un buen sistema experto permitirá tomar mejores decisiones. Normalmente los sistemas expertos funcionan por medio de reglas de decisión del tipo “SI (condición):..ENTONCES (recomendación)”. Por excelente que sea la labor de desarrollo computacional del sistema, no debe olvidarse que la calidad del sistema experto depende de la calidad de la información y reglas de decisión del experto humano que contribuya a su desarrollo.

Otro tipo de herramientas son los modelos de simulación, los cuales pueden incorporar un gran número de variables para simular en la computadora posibles resultados de determinadas acciones, bajo un gran número de condiciones. Estos modelos pueden incorporar funciones de daño, funciones económicas y otras metodologías, y así ayudar a tomar decisiones de manera expedita. Al igual que en los sistemas expertos, la calidad de la información que producen los modelos de simulación depende no sólo de la labor de computación, sino primordialmente de la calidad de la información que los alimenta.

Bibliografía

- Backman, P.A. y Jacobi, J.C. 1996. Thresholds for plant-disease management. En: Higley, L.G. y Pedigo, L.P. Economic Thresholds for Integrated Pest Management. Lincoln, NE, EEUU, University of Nebraska Press. pp. 114-127.
- Bowen, K.L. 1997. Economics and decision analysis. En: Francl, L.J. y Neher, D.A. (Eds.) Exercises in Plant Disease Epidemiology. St. Paul, MN, EEUU, APS Press. pp. 175-182.
- Ferris, H. 1987. Components and techniques of integrated pest management threshold determinations for soilborne pathogens. Plant Disease 71(5):452-455.
- Higley, L.G. y Pedigo, L.P. 1993. Economic injury levels and their use in sustaining environmental quality. Agriculture, Ecosystems and Environment 46:233-243.
- Higley, L.G. y Pedigo, L.P. 1996. The EIL concept. En: Higley, L.G. y Pedigo, L.P. Economic Thresholds for Integrated Pest Management. Lincoln, NE, EEUU, University of Nebraska Press. pp. 9-21.
- Hutchins, S.H., Higley, L.G. y Pedigo, L.P. 1988. Injury equivalency as a basis for developing multiple-species economic injury levels. Journal of Economic Entomology 81(1):1-8.
- Mumford, J.D. y Norton, G.A. 1984. Economics of decision making in pest management. Annual Review of Entomology 29:157-174.
- Mumford, J.D. y Norton, G.A. 1987. Economics of integrated pest control. En: Teng, P.S. (Ed.). Crop Loss Assessment and Pest Management. St. Paul, MN, EEUU, APS Press. pp. 191-200.
- Norton, G.A. y Mumford, J.D. (Eds.). 1993. Decision Tools for Pest Management. Wallingford, Oxon, UK, CAB International. 279 p.
- Reynolds, K.L. 1995. Simulating disease development and economic impact and the application of mathematical optimization methods for plant disease management. Canadian Journal of Plant Pathology 17:115-123.
- Rosset, P. 1991. Umbrales económicos: problemas y perspectivas. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) N°19:26-29.
- Waibel, H. 1986. The Economics of Integrated Pest Control in Irrigated Rice. Berlin, Alemania, Springer-Verlag. 196 p.