

Determinación de pérdidas de cultivo

“Although it can see the dying elms along the streets, society in general is only vaguely aware of how much damage it suffers from the depredations of other plant pathogens. That is because we have not told society about losses, and that is because we do not know, and that is because we have not researched it very well”

Horsfall and Cowllings, 1977

“We have researched it very well over the last quarter century, but we still do not necessarily know exactly the losses due to plant disease. This may now be more related to high cost of obtaining the raw data, not to our understanding of the disease:loss relationship”

Madden, 2004

Pioneros:
E.C. Large
Clive James
Paul Teng
Jan Zadoks
Dick Berger
otros

Determinación de pérdidas de cultivo

- El resultado de una epidemia es una reducción de la producción
- Se usa información de pérdidas de producción:
 - Evaluar controles
 - Tomar decisiones óptimas para el manejo de las enfermedades (costo – beneficio)
 - Predecir producción
 - Evaluar la necesidad sobre una enfermedad particular en un cultivo
- **PERDIDA DE PRODUCCIÓN**: reducción tanto de la calidad como de la cantidad de la producción
 - **PRODUCCIÓN**: producto medible de un cultivo (semilla, frutos, hojas, etc)

Determinación de pérdidas de cultivo

- Existen al menos dos aproximaciones conceptuales para abordar el pensamiento de las pérdidas de cultivo (basado en Zadoks & Schein)
 - a. Basado en la producción real
 - Primitivo --- Real --- Alcanzable --- Teórico**
 - Nuestro concepto de pérdida de cultivo medible está basado en la **diferencia entre la producción real y alcanzable**
 - b. Basado en cuando y donde ocurren las pérdidas, y quién es afectado
 - Directo** (Primario y Secundario) e **Indirecto**
- En la práctica, en relación a las enfermedades de las plantas
 - **Pérdida de cultivo**: diferencia entre el rendimiento real y el rendimiento obtenido en ausencia de enfermedades

Cuantificación de pérdidas de cultivo

- Mide la intensidad de la enfermedad (y ó Y) y la producción
 - a. Experimentos convencionales en campo**

Se imponen tratamientos a las unidades experimentales
 - b. Por investigación y análisis de epidemias “naturales”**

(En campos comerciales o en forestales), sin imposición de tratamientos (no hay control de variables de interés)
 - c. Opinión de expertos (paneles)**
- Qué se necesita para realizar experimentos?
 - Varias epidemias y sus correspondientes producciones
- Pérdidas (L) dos posibles vías de utilización
 - **(producción en campos libres de enfermedad)-(producción en campos con una enfermedad Y dada)**
 - **(producción libre de enfermedad)-(producción a una Y dada)/(producción en condiciones de libre enfermedad)**

Experimentos convencionales --- obtener diferentes epidemias (generar diferentes intensidades de enfermedad y producciones diferentes posibles) usando:

- **Inoculaciones**

- Tiempo, frecuencias, densidades de inóculo

- **Protección** (fungicidas, insecticidas)

- Diferente número de aplicaciones de fungicidas, tiempo

- **Genéticamente**

- Isolíneas ATENCIÓN

- **Ambientalmente**

- Irrigación (aspersión) ATENCIÓN

- **Geográficamente**

- Cultivar el mismo cultivo en distintas localidades - ATENCIÓN



Tipos de experimentos o unidades de muestreo

1. Parcelas convencionales en campo

- o Probablemente la más común (ej. Parcelas típicas usadas por breeders)
 - Pueden ser demasiadas chicas para enfermedades policíclicas, porque la epidemia normal puede no desarrollar
- o Se mide u observa Y (ó y), producción, y otras variables; se buscan **medias**

2. Micro parcelas

- o Pequeñas parcelas (aún plantas individuales), a menudo restringidas por barreras
- o Se debe hacer un control muy delicado en cada parcela individual
 - Podría transformarse en demasiado artificial

3. Plantas individuales

- o Diferente de #2: se seleccionan aleatoriamente plantas dentro de unidades experimentales, se mide Y y producción

Tipos de experimentos o unidades de muestreo

4. Unidades de muestreo en campos comerciales (epidemias naturales)

- o Estudios en campos del “mundo real”, donde las observaciones son realizadas sobre la enfermedad (o enfermedades), otras variables y la producción
- o Pueden resultar en un gran rango de Y s y valores de producción (lo cual es deseable), y muestran relaciones que los restringidos experimentos convencionales pueden no mostrar
- o Sin embargo correlaciones de Y con otras variables (ej. Humedad, etc) puede resultar en relaciones perdidas entre Y y producción (o pérdidas)
 - Causa-y-efecto no pueden ser demostrados
- o Pueden ser la única aproximación para algunas enfermedades (ej. Forestales, patógenos regulados donde no es permitido la inoculación en el campo)
- o A veces es conocido como **aproximación sinóptica**

Relaciones entre pérdidas e intensidad de enfermedad -- Modelos

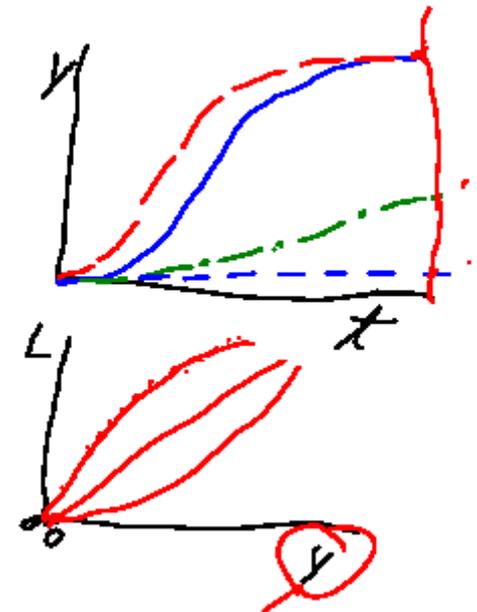
- ***L=f(enfermedad epidemia)***

- o Un dato de producción para cada epidemia
- o Se necesitan varias epidemias
- o L: obtenido de cada producción relativa a casos de “enfermedad libre” (sin epidemia)

- ***f(enfermedad epidemia)***

- o y a un momento (t) particular
 - y_{final} (no necesariamente K)
 - y_0
 - tiempo clave

- o r .
- o AUDPC
- o Tiempo para alcanzar cierto valor de y (y^*)
- o otras

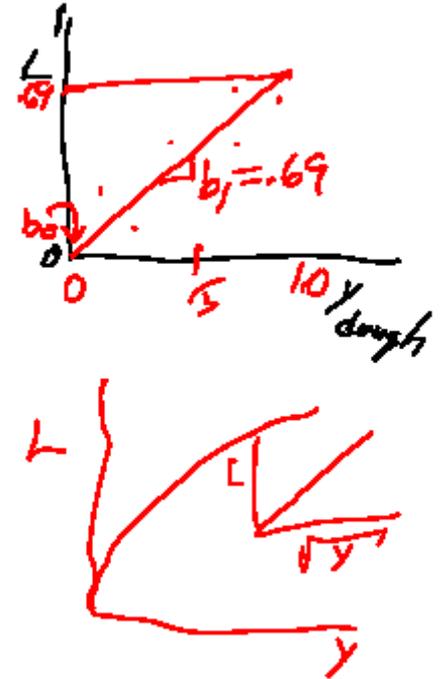


interrelacionados

Modelos – Predictores únicos

1. Modelos de punto único – y a un momento (t) durante una epidemia $L = b_0 + b_1y$

- $L = 0.69y_{dough}$ (southern corn leaf blight)
- Si $y_{dough} = 1.0$ (100%), $L = 0.69$ (69%) --mx
- A menudo, la relación $L:y$ es curva (pero posiblemente todavía descrita por un modelo lineal)
 - $L = b_0 + b_1y$; donde $y^* = \ln(y)$ o \sqrt{y} , etc o una transformación de y a un tiempo dado
 - Modelos no lineales (luego)
- Los modelos de punto único son conocidos también como **modelos de punto crítico**
 - Cuando el tiempo único es “crítico” para el desarrollo del cultivo (ciertos estados de crecimiento cuando un alto porcentaje de productos fotosintéticos son convertidos o trasladados a la semilla o frutos)



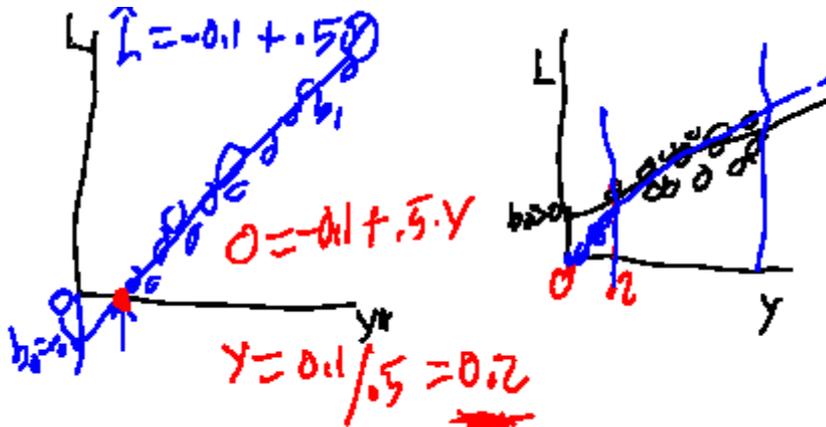
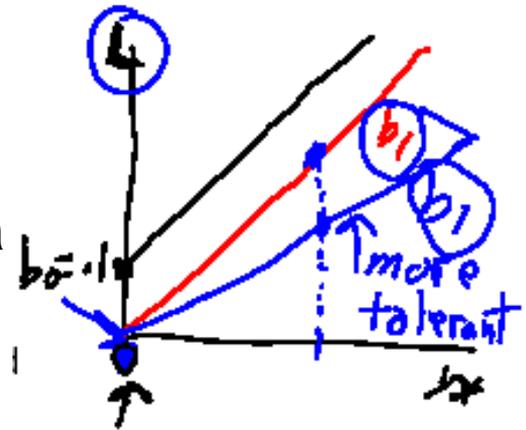
$$L = b_0 + b_1 y$$

- b_1 : pendiente, cambio en L con cada cambio de unidad en y^*

$$dL/dy^* = b_1$$

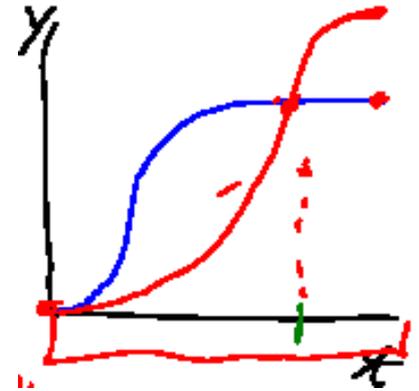
Puede indicar tolerancia a una enfermedad dada

- b_0 : Intercepción, predice L cuando $y^*=0$ (ó $y=0$)
 - o Si hay un valor positivo no tiene ningún sentido
 - Si todos los valores de y^* están lejos de 0, luego se puede esperar que los la intercepción alcance un valor alto de la línea
 - o Un valor negativo probablemente significa que hay un **umbral**



Modelos con predictores múltiples

- Más de una variable predictora, pero la variable representa una **integración (o suma)** de la epidemia entera
- Basado en la mismas premisas como los modelos de predicción múltiple: pérdidas de producción es una función de toda la epidemia

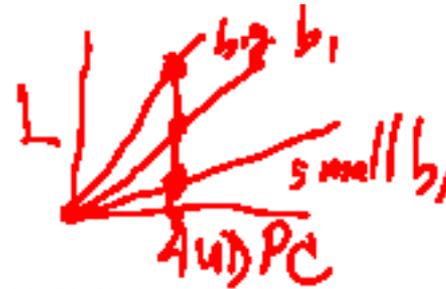


- La variable: **$AUDPC = \int y \cdot dt$**

- Modelo **$L = b_0 + b_1 AUDPC$**

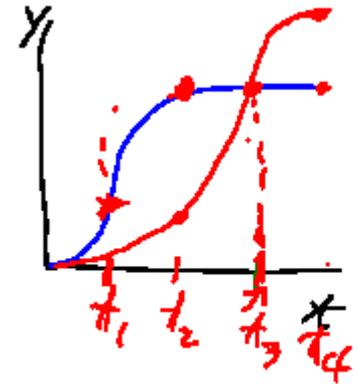
- Uno se puede dar cuenta que AUDPC es realmente una función (o integra) de y_0 ,

y_{final} , t_0 , t_{final}) y otras



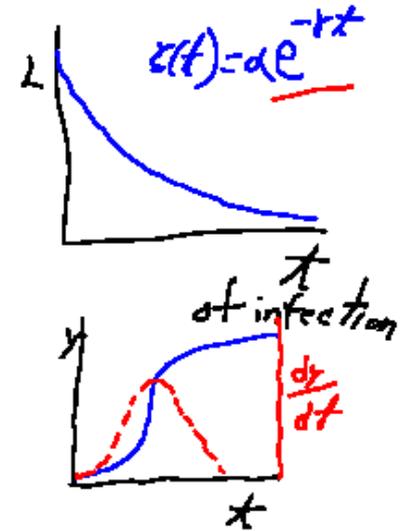
Modelos integrales

- Una variable predictora única Más de una variable predictora, tanto intensidad de enfermedad a cada uno de varios tiempos, cambio en intensidad, o propiedades múltiples de las epidemias
- **Modelos de punto múltiple:**
- $L = b_0 + b_1y_1 + b_2y_2 + b_3y_3 + \dots$
 - Donde la y 's son intensidades de enfermedad a tiempos seleccionados (ej. y_1 : intensidad a t_1 , la cual podría ser a un tiempo específico (30 días) o a un estado específico de crecimiento (floración)
 - Y la b 's son parámetros
- La premisa: **pérdidas de producción es una función, realmente una función ponderada, de la epidemia entera**
 - La importancia (peso) de y a cada tiempo no es la misma b 's son diferentes
 - b 's son las ponderaciones
- Precaución: y 's son intercorrelacionada (porque y crece con el tiempo)



Modelos integrales

- Los modelos integrales pueden ser de otras formas
- Para enfermedades sistémicas, el tiempo de infección de plantas individuales determina la producción (y por lo tanto las pérdidas)
 - $\xi(t)$ pérdidas cuando el cultivo está infectado a tiempo t
- Sin embargo, las plantas se infectan a diferentes momentos (t) durante la epidemia
 - Podemos fácilmente representar y durante una epidemia [$y(t)$], pero necesitamos los nuevos individuos enfermos (Δy) sobre periodos cortos de tiempo a cada t (para una pérdida correspondiente, $\xi(t)$)
 - Afortunadamente, cuando se usa un modelo determinístico usando tiempo continuo, podemos usar la expresión dy/dt (logístico, monomolecular, etc) para obtener dy . Llamemos a esto $g(t)$ cuando escrito en términos de t (no y)



Modelos integrales

The diagram shows the following steps:

- Top left: $\frac{dy}{dt} = r_L y(1-y)$. The term $r_L y(1-y)$ is circled in red.
- Bottom left: $y(t) = \frac{1}{1 + B e^{-r_L t}}$. An arrow points from the circled term in the differential equation to this solution.
- Center: $\frac{dy}{dt} = y'(t)$. An arrow points from the solution to this derivative.
- Bottom right: $y'(t) = \frac{r_L B e^{-r_L t}}{(1 + B e^{-r_L t})^2}$. This expression is circled in red and labeled $= g(t)$ below it. A note above it says "rate in terms of t".

- Modelo: $L = \int \xi(t) \cdot g(t) \cdot dt + C$
 - o C : constante (L cuando r es 0)
- Solo se pueden obtener soluciones numéricas para el modelo logístico $[g(t)]$, pero deben ser expresadas en términos de y_0 , r , t_{final} (asumiendo $t_0=0$ & $K=1$), y parámetros de $\xi(t)$
- Ver Madden et al. (2000). *Phytopathology* 90:788-800

Pérdidas de producción

- La relación entre producción de un cultivo y planta enferma es complicada, y no es razonable esperar modelos lineales simples que sean satisfactorios o consistentes
 - La fisiología de cultivo es una disciplina que trata generalmente con cultivos creciendo y en desarrollo en relación de varios factores ambientales y biológicos, incluyendo estrés (ej. Enfermedades)
 - La predicción de la producción y por lo tanto pérdidas, pueden requerir modelos mecanicísticos muy complejos para entender la fisiología de cultivo
 - Combinando modelos para fisiología de cultivo a modelos de dinámica de poblaciones de enfermedades no es trivial y rara vez ha sido hechos
- Sin embargo, la evidencia empírica es tan fuerte que un pobre grado de entendimiento puede ser obtenido por el uso de modelos simples para $L:y$, al menos como para resumir procesos
 - El modelo simple permite la conexión más directa de la dinámica de las poblaciones y resultando en una media de producción de una población

Pérdidas de producción en una publicación muy influyente, Boote et al. (1983) consideró que los patógenos (y plagas en general) afectan al cultivo en siete formas

1. **Consumidores de tejido**

2. **Aceleradores de la senescencia de hojas**

3. **Reducidores de “stands”**

4. **Capturadores de luz**

5. **Reducidores de la tasa fotosintética**

6. **Asimiladores de savia**

7. **Reducidores del turgor**

- Cada uno de estos procesos pueden ser directamente estudiados y cuantificados (usando modelos fisiológicos)
- Los patógenos pueden afectar uno o varios de éstos
- **Todo el crecimiento de la planta (y la producción) pueden se considerados un producto de IR y EUR**

1-4:

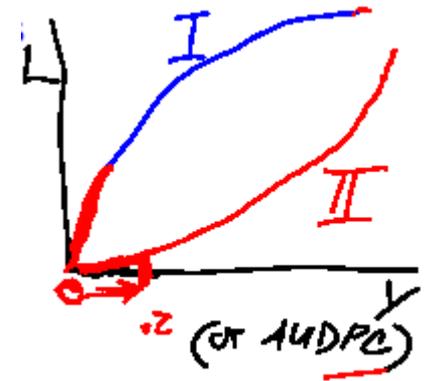
Involucran
intercepción
de la radiación (IR)

5-7:

Involucran
eficiencia del uso
de la radiación (UER)

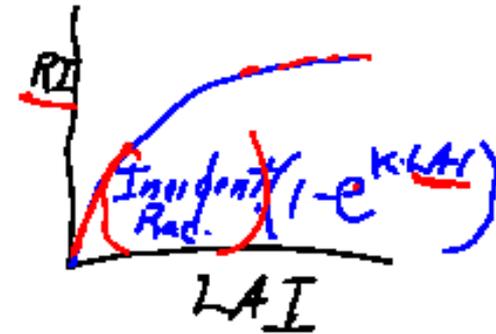
IR/UER: impacto sobre el rendimiento y las pérdidas

- Considerar modelos para L en relación a un único predictor
 - Ejemplos: modelos de único punto o integrales (AUDPC)
- Algunas veces los modelos son divididos en dos tipos llamados Tipo I y Tipo II
- **Tipo I**
 - Consistentemente con patógenos que reducen UER
 - o Altas pérdidas con bajos niveles de y
 - o (segunda derivada de L negativa)
- **Tipo II**
 - Consistentemente con patógenos que reducen IR (especialmente para cultivos con IAF altos)
 - o Pequeñas pérdidas al altos niveles de y (los cultivos producen más IAF que lo necesario)
 - o (segunda derivada de L positiva)



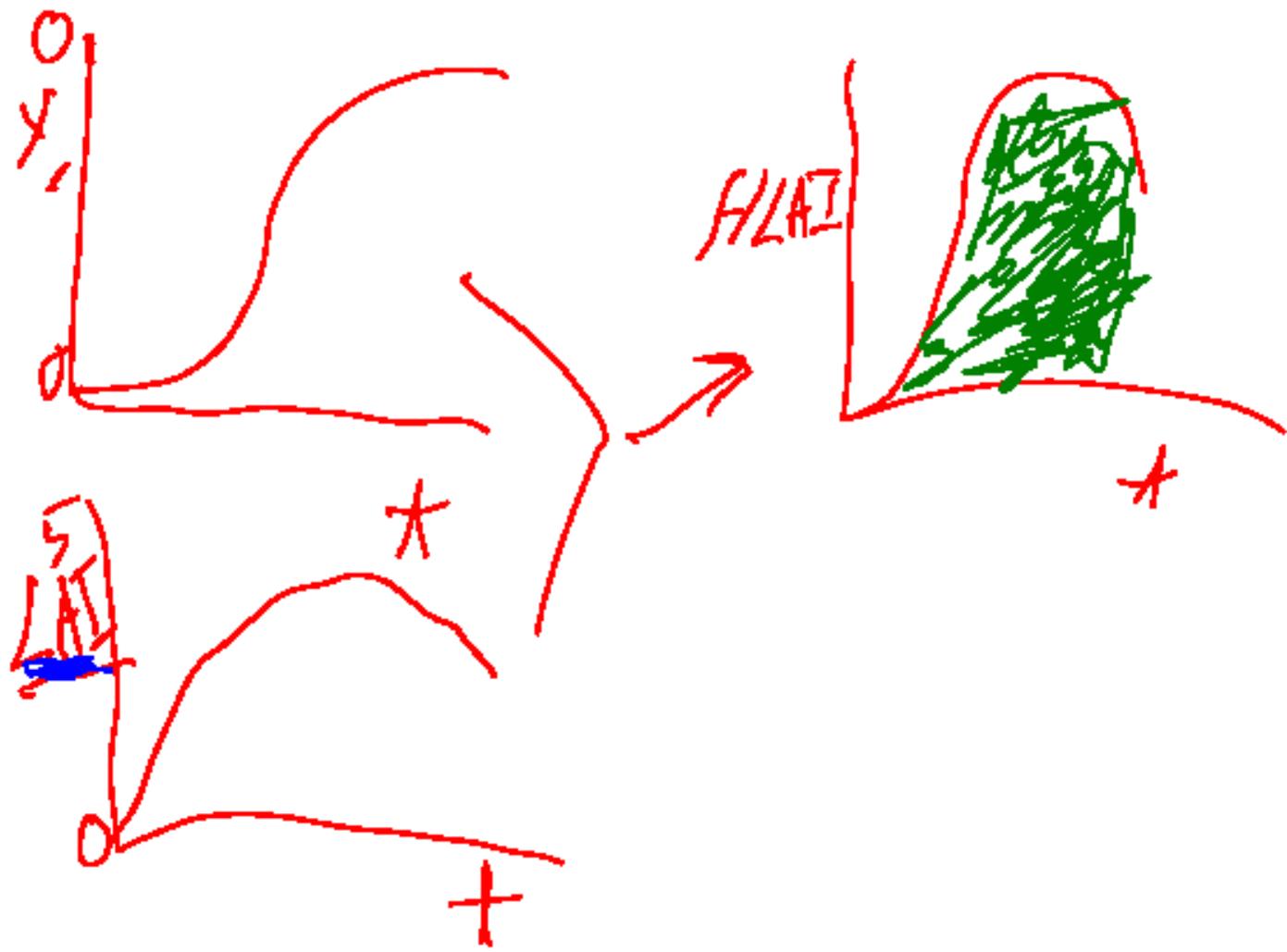
IR/UER: impacto sobre el rendimiento y las pérdidas

- Patógenos (y pestes) afectan IR y/o UER
 - o Pensemos en la plantas como fábricas, con a modo de combustible alimentando a máquinas, las máquina operan a una eficiencia dada igual a UER
Los patógenos afectan a la provisión de combustible, o de la eficiencia de la mismas
- IR es una función no lineal del **IAF** de un cultivo
 - o La relación entre radiación incidente y IAF es descrito por la **ley de Bee**
 - o Debido al sombreado de las hojas inferiores, muchas hojas no interceptan mucha luz
 - o Esto reduce IAF, y puede no tener mucha influencia sobre IR
- UER puede ser afectada linealmente y directamente por la intensidad de la enfermedad (para algunas enfermedades)
- Una forma más útil de caracterizar pérdidas de cultivo puede ser cuantificar directamente o indirectamente, IR y UER



IR/UER: impacto sobre el rendimiento y las pérdidas

- Un aproximación innovativa fue publicada por Waggoner & Berger combinando **IAF** e **y** dentro de un modelo integral
- Dado que la producción (kg/ha) de un cultivo es función del IAF, y no del porcentaje o proporción de IAF, se puede estimar IAF libre de enfermedad (*“healthy”* IAF: **HIAF**)
 - **$HIAF = (1-y).IAF$**
 - Esto es, proporción múltiple de enfermedad libre por IAF a cada tiempo
 - Esto es justo **$H = N-Y$** , usado antes (para severidad de enfermedad)
- Es un sumario de la epidemia es la integración de HIAF sobre el tiempo, conocida como duración de área foliar sana
 - **$DAH = \int HIAF.dt$**
- Si IAF fue fijado (no hay crecimiento del huésped), luego debería haber una solución analítica para DAH (si es logística) porque HIAF es justo $H=N-Y$ (intensidad de enfermedad libre, en unidades absoluta)
gran AUDPC significa DAH pequeña
 - Con cambio de IAF (independiente de la enfermedad), generalmente DAH es estimada obteniendo HIAF a varios tiempos, y calculando área con la regla del punto medios (como AUDPC)



- Modelo: **$Yield = b_0 + b_1 DAH$**
- Esto es considerado como un paso intermedio en la cuantificación, porque toda el área libre de enfermedad es considerada la misma
 - El rendimiento (yield) sube con DAH, por lo tanto, L baja
 - Sin embargo, es conocido que todas las hojas no interceptan la misma cantidad radiación electromagnética incidente (Ley de Beer)
 - A menudo los datos de **Yield: DAH** no siguen una línea recta y son inconsistentes
- Uso directo de IR
 - Si uno conoce IAF, **$IR = (radiación\ incidente) \cdot (1 - \exp(-k \cdot IAF))$**
 - Donde **k** es un “coeficiente de extinción”
 - La radiación incidente y **k** son conocidas por muchas condiciones
 - Definir IR sana como **$HIR = IR \cdot (1 - y)$**
 - Compara con HIAF [=IAF(1-y)]
(HIR involucra una transformación no lineal de IAF)

- Area sana de absorción (ASH): **$ASH = \int HIR \cdot dt$**
 - Recordar:
 - o AUDPC fue una integración de y sobre el tiempo
 - o DAH fue una integración de $HIAF = IAF(1-y)$ sobre el tiempo
 - o Ahora ASH es una integración de $HIR = [(radiación\ incidente) \cdot (1 - \exp(-k \cdot IAF)) \cdot (1-y)]$ sobre el tiempo

- La producción de un cultivo:

$Producción = \int (UER)(Radiación\ interceptada\ por\ IAF\ libre\ de\ enfermedad) dt$

$= \int (UER)(Radiación\ incidente) \cdot (1 - \exp(-k \cdot IAF)) \cdot (1-y) dt$

Si UER es constante sobre el tiempo, luego la producción es:

$Yield = (UER) \cdot (ASH)$

 - » Un modelo lineal con pendiente UER (b1), 0 intercepción, y ASH como variable predictora.
- A menudo hay una relación lineal entre producción (o pérdidas) y ASH

$$\text{Producción} = \int (\text{UER})(\text{Radiación incidente}) \cdot (1 - \exp(-k \text{IAF})) (1 - y) dt$$

$$\text{Producción} = (\text{UER}) \cdot (\text{ASH})$$

- Es una aproximación muy útil para cuantificar pérdidas
- La enfermedad afecta la producción reduciendo la interceptación de la radiación y/o la eficiencia en utilizar la radiación
- Desventajas
 - Necesita estimar IAF
 - Necesita IAF e y a varios momentos (t)
 - Se debe medir la radiación interceptada (difícil) o asumir valores publicados para radiación incidente y k para una localidad
- Es usada para sistemas muy bien estudiados

