

PRORIPEST

En la estructura de **PRORIPEST** se identifican cuatro ejes de simulación referidos al uso de fitosanitarios que son 1) **peligro ecotoxicológico**, 2) **presencia en el ambiente**, 3) **exposición** y 4) **riesgo ambiental**. Cada componente representa una variable ambiental simulada por PRORIPEST. Los valores de todas las medidas se expresan en una escala que va de 0 (mínimo valor) a 1 (máximo valor).

Estos cuatro elementos combinados construyen el valor final de riesgo ambiental, de la siguiente manera:

Peligro [0-1] = Toxicidad intrínseca de un fitosanitario

Presencia [0-1] = Destino de un fitosanitario en las fases ambientales (aire, agua y suelo)

Exposición [0-1] = Grado de probabilidad de ingesta de un fitosanitario en función de su presencia y del organismo evaluado

Riesgo [0-1] = Peligro x Exposición

A continuación, se describe la estructura de cálculo de cada componente principal.

1) Peligro ecotoxicológico

PRORIPEST valoriza el peligro ecotoxicológico sobre insectos, mamíferos y peces usando como variable continua a las Unidades de Toxicidad (UT). La forma de calcular el valor de UT para cada aplicación de fitosanitario es la siguiente:

$$UT = \frac{D}{DL50}$$

donde UT son las Unidades de Toxicidad, D es la dosis aplicada de cada fitosanitario y DL50 es la dosis letal 50 para insectos, mamíferos o peces.

Cada aplicación de un fitosanitario conlleva un valor de UT para insectos (UTi), para mamíferos (UTm) y para peces (UTf), las cuales son independientes de las condiciones ambientales que determinan el riesgo.

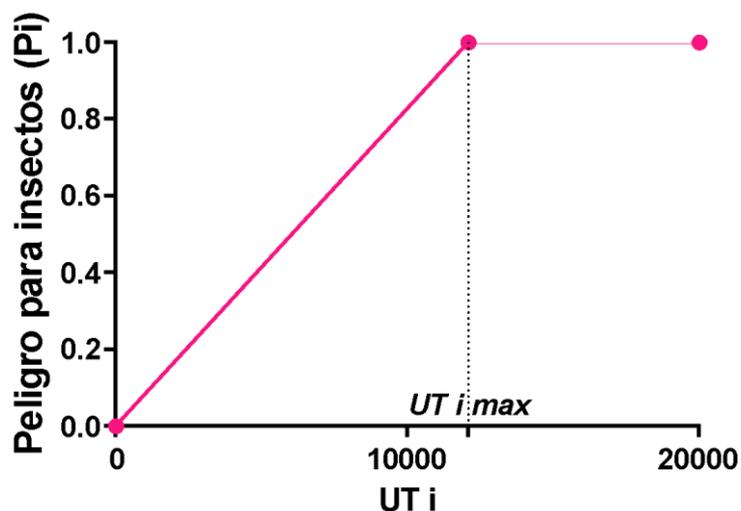
PRORIPEST determina un valor máximo de UT (UT max) que equivale a la toxicidad promedio de los 10 formulados registrados en el Registro Nacional de Terapéutica Vegetal de SENASA (noviembre 2021) utilizados en alguno de los siguientes cultivos extensivos: Trigo, Cebada; Centeno, Avena, Maíz, Girasol, Soja, Algodón.

Cada valor de UT max (insectos, mamíferos y peces) se usa para construir una función que valoriza los distintos valores de UT intermedias entre UT = 0 y UT = max, y permite calcular el Peligro para insectos (Pi), el Peligro para mamíferos (Pm) y el Peligro para peces (Pf). A continuación, se muestran los formulados usados para el cálculo de UT max y la función que calcula cada indicador de Peligro.

a) Peligro para insectos (Pi)

TOP 10 de formulados a dosis de etiqueta máxima (cm³ ó g/ha) en términos de toxicidad (UT i) para insectos. UT i promedio es usado como UTi max para la definir Pi = 1

Principio activo (concentración)	Dosis	UT i	UT i max
ZETAMETRINA (20%)	300	30000	12084,181
SPINOSAD (48%)	180	24000	
IMIDACLOPRID (21%) + BETA CIFLUTRIN (9%)	250	23148,1	
BETA CIFLUTRIN (12,5%)	100	12500	
BIFENTRIN (18%) + ZETAMETRINA (20%)	100	11200	
DELTAMETRINA (20%)	62,5	8333,3	
CIPERMETRINA (50%)	150	3260,8	
GAMMACIALOTRINA (15%)	100	3000	
METOMIL (90%)	500	2812,5	
DINOTEFURAN (70%)	85	2586,9	

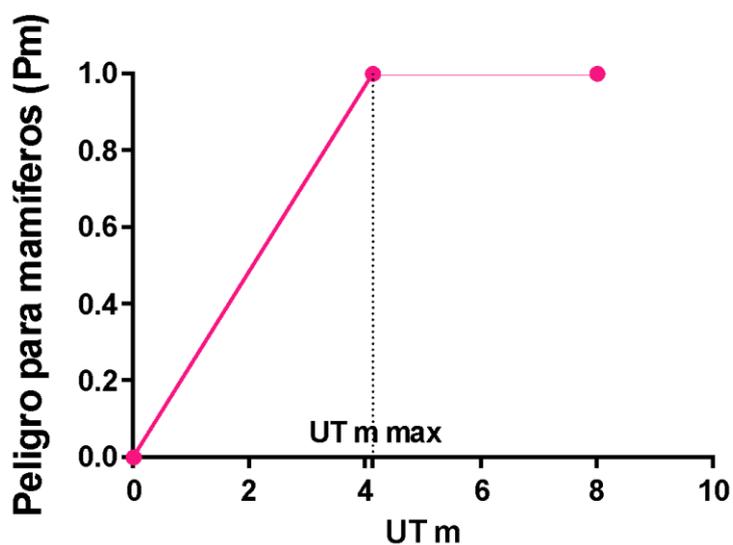


Función de cálculo del Peligro para insectos (Pi) a partir del valor de $UT\ i\ max = 12084.181$

b) Peligro para mamíferos (Pm)

TOP 10 de formulados a dosis de etiqueta máxima (cm³ ó g/ha) en términos de toxicidad (UT m) para mamíferos. UT m promedio es usado como UTm max para definir Pm = 1

Principio activo (concentración)	Dosis	UT m	UT m max
METOMIL (90%)	500	15	4,12887
TIODICARB (80%)	560	8,96	
PARAQUAT DICLORURO (82,8%)	1000	7,52	
LAMBDAIALOTRINA (1%) + METOMIL (20%)	600	4,10	
ALFACIPERMETRINA (20%) + ACETAMIPRID (10%)	350	1,98	
ABAMECTINA (7,5%)	144	1,08	
ZETAMETRINA (20%)	300	0,69	
IMIDACLOPRID (21%) + BETA CIFLUTRIN (9%)	250	0,69	
BIFENTRIN (25%) + ABAMECTINA (5%)	70	0,67	
BIFENTRIN (18%) + ZETAMETRINA (20%)	100	0,56	

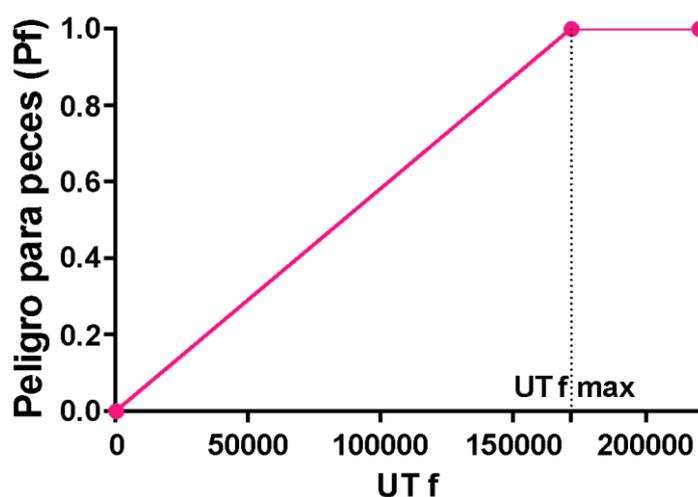


Función de cálculo del Peligro para mamíferos (Pm) a partir del valor de $UT\ m\ max = 4.12887$

c) Peligro para peces (Pf)

TOP 10 de formulados a dosis de etiqueta máxima (cm³ ó g/ha) en términos de toxicidad (UT f) para peces. UT f promedio es usado como UT max para la definir Pf = 1

Principio activo (concentración)	Dosis	UT f	UT f max
GAMMACIALOTRINA (15%)	100	428571	171814,5
IMIDACLOPRID (21%) + BETA CIFLUTRIN (9%)	250	330882	
ESFENVALERATO (15%)	125	187500	
BETA CIFLUTRIN (12,5%)	100	183823	
IMIDACLOPRID (35%) + LAMBDAALOTRINA (10%)	250	119048	
LAMBDAALOTRINA (25%)	100	119047	
IMIDACLOPRID (20%) + LAMBDAALOTRINA (7,5%) + BIFENTRIN (5%) + ABAMECTINA (1%)	200	109893	
BIFENTRIN (40%)	55	84615	
DELTAMETRINA (20%)	62,5	83333	
LAMBDAALOTRINA (10%) + LUFENURON (10%)	150	71429	



Función de cálculo del Peligro para peces (Pf) a partir del valor de UT f max = 171814,5

Finalmente, Pi, Pm y Pf son integrados mediante una regla de decisión para determinar el valor final del Peligro ecotoxicológico (P). El índice P también toma valores desde 0 (mínimo riesgo) a 1 (máximo riesgo). La forma de cálculo del Peligro ecotoxicológico (P) es a través de la aplicación de una regla de decisión. Las reglas tienen antecedentes, y la combinación de sus valores extremos derivan en un coeficiente que define la conclusión de la regla (ver Exposición para conocer los detalles del cálculo). Las reglas de decisión para calcular el valor de P se ven en la siguiente Tabla:

d) Peligro ecotoxicológico (P)

Antecedente 1: Peligro para insectos (Pi)

Antecedente 2: Peligro para mamíferos (Pm)

Antecedente 3: Peligro para peces (Pf)

Combinación antecedente 1, 2 y 3	Coficiente
Combinación 1 1 1	1
Combinación 1 0 1	0,9
Combinación 1 1 0	0,9
Combinación 1 0 0	0,5
Combinación 0 1 1	0,9
Combinación 0 0 1	0,5
Combinación 0 1 0	0,5
Combinación 0 0 0	0

El valor final de (P) puede tomar cualquier valor del intervalo (0,1) y la aplicación algebraica de los criterios planteados en la regla de decisión, se realiza mediante el uso del operador MINIMO en un promedio ponderado, según la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\sum_{k=1}^n \min[\mu(x_j)]_k \cdot C_k}{\sum_{k=1}^n \min[\mu(x_j)]_k}$$

donde P es el índice P, $\mu(x_j)$ es el valor de las funciones de las figuras 1 a 3 ($j = P_i, P_m$ y P_f) y C_k es la conclusión de la regla k.

2) Presencia en el ambiente

Para el cálculo del riesgo de Presencia en el ambiente de los fitosanitarios, PRORIPEST utiliza información de 1) los fitosanitarios, 2) el suelo, 3) las condiciones meteorológicas y 4) el manejo agrícola. Con esa información, PRORIPEST obtiene valores de riesgo de Presencia en el ambiente basados en 1) la magnitud de distintos **procesos y condiciones ambientales** y 2) los valores de **variables de entrada**. Los valores de Presencia en el ambiente se expresan en una escala que va de 0 (mínima Presencia) a 1 (máxima Presencia). A continuación, se describen 1) los procesos y condiciones ambientales y 2) las variables de entrada que utiliza PRORIPEST para simular la presencia en el ambiente en cada fase ambiental:

a) Presencia en el suelo

Procesos y condiciones ambiental

1) Biodegradación
2) Adsorción a las partículas orgánicas y minerales del suelo
3) Volatilización

Variables de entrada

1) pH del suelo
2) Contenido de materia orgánica del suelo
3) Humedad del suelo
4) Porcentaje de macroporos del suelo
5) Contenido de humedad del suelo a capacidad de campo y punto de marchitez permanente
6) Velocidad del viento
7) Temperatura del aire
8) Humedad relativa del aire
9) Temperatura media anual de la localidad
10) Humedad del suelo media anual de la localidad
11) Constante de ley de Henry (K_H) del principio activo
12) Coeficiente de adsorción (K_{OC}) del principio activo
13) Vida media del principio activo en el suelo
14) Reacción ácido-base del principio activo
15) Cultivo y estado ontogénico
16) Cultivo antecesor y su rendimiento
17) Sistema de labranza

b) Presencia en el aire

Procesos y condiciones ambientales

1) Volatilización
2) Deriva
3) Adsorción a las partículas orgánicas y minerales del suelo

Variables de entrada

1) Humedad del suelo
2) Contenido de humedad del suelo a capacidad de campo y punto de marchitez permanente
3) Contenido de materia orgánica del suelo
4) pH del suelo
5) Velocidad del viento
6) Temperatura del aire
7) Humedad relativa del aire
8) Constante de ley de Henry (K_H) del principio activo
9) Coeficiente de adsorción (K_{OC}) del principio activo
10) Reacción ácido-base del principio activo
11) Cultivo y estado ontogénico
12) Cultivo antecesor y su rendimiento
13) Sistema de labranza
14) Tipo de aplicación (aérea o terrestre)
15) Diámetro medio de gota

c) Presencia en el agua subterránea

Procesos y condiciones ambientales

1) Lixiviación

Variables de entrada

1) Contenido de arcillas en los horizontes del suelo
2) pH del suelo
3) Clase textural del suelo
4) Contenido de materia orgánica del suelo
5) Precipitación media anual
6) Precipitación diaria
7) <i>Groundwater Ubiquity Score</i> (GUS) de cada fitosanitario
8) Cultivo y estado ontogénico
9) Cultivo antecesor y su rendimiento
10) Sistema de labranza

d) Presencia en agua superficial

Procesos y condiciones ambientales

1) Erodabilidad
2) Erosividad
3) Escorrentía

Variables de entrada

1) Contenido de materia orgánica del suelo
2) Pendiente del suelo
3) Clase estructural del horizonte superficial del suelo
4) Precipitación media anual
5) Precipitación diaria
6) Cultivo y estado ontogénico
7) Cultivo antecesor y su rendimiento
8) Sistema de labranza

3) Exposición

PRORIPEST calcula la exposición combinando 1) la **vía de ingestión** de fitosanitarios de cada organismo y 2) la **Presencia** en el ambiente de los fitosanitarios en el ambiente. El cálculo de la exposición se realiza a través de distintas reglas de decisión. Las reglas tienen antecedentes, y la combinación de sus valores extremos derivan en

un coeficiente que define la conclusión de la regla. El valor final de la regla puede tomar cualquier valor del intervalo (0,1) y la aplicación algebraica de los criterios planteados en la regla de decisión, se realiza mediante el uso del operador MINIMO en un promedio ponderado, según la siguiente ecuación:

$$Valor\ final = \frac{\sum_{k=1}^n \min[\mu(x_j)]_k \cdot C_k}{\sum_{k=1}^n \min[\mu(x_j)]_k}$$

donde Valor final es el valor de cada indicador usando la combinación de los antecedentes, $\mu(x_j)$ es el valor de los antecedentes y C_k es la conclusión de la regla k.

A continuación, se describen las reglas para el cálculo de la Exposición sobre cada organismo, detallando los antecedentes y las conclusiones:

a) Exposición a insectos

Antecedente 1: Presencia en el aire

Antecedente 2: Presencia en el agua superficial

Combinación antecedente 1 y 2	Coeficiente
Combinación 1 1	1
Combinación 1 0	0,9
Combinación 0 1	0,2
Combinación 0 0	0

b) Exposición a mamíferos

Antecedente 1: Presencia en el aire

Antecedente 2: Presencia en el agua superficial

Antecedente 3: Presencia en el agua subterránea

Antecedente 4: Presencia en el suelo

Combinación antecedente 1, 2, 3 y 4	Coeficiente
Combinación 1 1 1 1	1
Combinación 1 0 1 1	0,7
Combinación 1 1 0 1	0,7
Combinación 1 1 1 0	0,9
Combinación 1 0 0 1	0,5
Combinación 1 0 1 0	0,6
Combinación 1 1 0 0	0,6
Combinación 1 0 0 0	0,4
Combinación 0 1 1 1	0,6
Combinación 0 0 1 1	0,5
Combinación 0 1 0 1	0,5
Combinación 0 1 1 0	0,5
Combinación 0 0 0 1	0,2
Combinación 0 0 1 0	0,3
Combinación 0 1 0 0	0,3
Combinación 0 0 0 0	0

c) Exposición a peces

Antecedente 1: Presencia en el aire

Antecedente 2: Presencia en el agua superficial

Combinación antecedente 1 y 2	Coficiente
Combinación 1 1	1
Combinación 1 0	0,3
Combinación 0 1	0,9
Combinación 0 0	0

4) Riesgo ambiental (R)

El riesgo ambiental de los fitosanitarios se calcula en base al efecto combinado a) del **peligro ecotoxicológico** de los fitosanitarios y 2) de la **exposición (que deriva de la presencia en el ambiente y la ingesta de cada organismo)**. El cálculo del riesgo para cada organismo se realiza afectando al peligro ecotoxicológico por el valor relativo de exposición para insectos, mamíferos y peces, según la siguiente ecuación:

$$UTEXP = \frac{D}{DL50} * EXP$$

donde UTEXP son las unidades toxicológicas afectadas por la exposición, D es la dosis aplicada de cada fitosanitario y DL50 es la dosis letal 50 para insectos, mamíferos o peces, y EXP es la exposición para insectos mamíferos y peces. Los valores de riesgo para insectos (Ri), riesgo para mamíferos (Rm) y riesgo para peces (Rf) se calculan a partir de las UTEXP utilizando las funciones utilizadas para calcular el Pm, Pi y Pf, respectivamente.

Finalmente, a partir de los riesgos para cada organismo (Ri, Rm y Rf) se calcula un índice global de riesgo (R) según la siguiente regla de decisión:

Antecedente 1: Riesgo para insectos (Ri)

Antecedente 2: Riesgo para mamíferos (Rm)

Antecedente 3: Riesgo para peces (Rf)

Combinación antecedente 1, 2 y 3	Coficiente
Combinación 1 1 1	1
Combinación 1 0 1	0,9
Combinación 1 1 0	0,9
Combinación 1 0 0	0,5
Combinación 0 1 1	0,9
Combinación 0 0 1	0,5
Combinación 0 1 0	0,5
Combinación 0 0 0	0