



CIP
INTERNATIONAL
POTATO CENTER



KoLFACI KOREA - LATIN AMERICA
FOOD & AGRICULTURE
COOPERATION INITIATIVE



CURSO DE CAPACITACIÓN:

MANEJO INTEGRADO DEL CULTIVO DE LA PAPA

Introducción y aplicación del software Insect Life Cycle Modeling (ILCYM) para el modelamiento de la fenología de plagas y la evaluación de riesgo

Mg. Sc. Heidy Gamarra Yanez

Lima, Perú 3 Abril 2019

Contenido

Introducción a la ecología poblacional de insectos y el uso de ILCYM software

1. Introducción a la ecología poblacional y conceptos de su modelamiento
2. Introducción a la ecología de plagas insectos y su modelamiento
3. Concepto de modelamiento implementado en ILCYM
4. Data aplicada en ILCYM: requerimientos, colección, organización, formato, etc.

Que es la ecología de poblaciones?

La ecología poblacional es la rama de la ecología que estudia la estructura y la dinámica de poblaciones.

Ámbito del modelamiento

Sistema real



Abstracción

Modelo



Interpretación

*Un modelo es una herramienta. No debería ser considerada como un objetivo final en estudios ecológicos.
Ningún modelo es perfecto pero es útil*

Introducción a la ecología de plagas de insectos y su modelamiento...

El clima tiene un profundo efecto en la distribución y abundancia de invertebrados como los insectos.

La temperatura factor abiótico:

- Tasas de supervivencia, reproducción en insectos ectotérmicos
- Determina los parámetros demográficos de la plaga para interpretar la dinámica poblacional, las tasas de desarrollo y la ocurrencia estacional
- Determinar el rango en el que podría establecerse la plaga y para predecir el potencial de crecimiento de la población (**tasa intrínseca de crecimiento**).

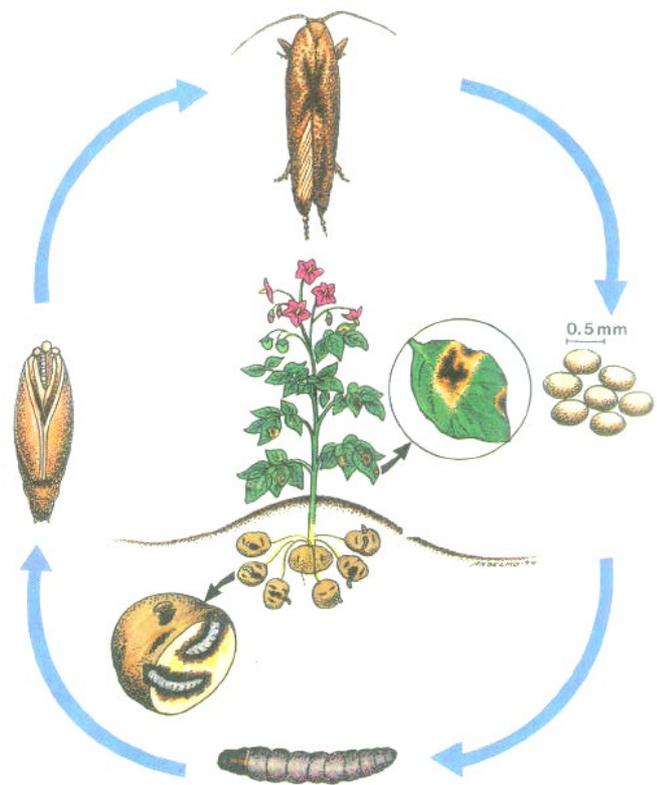
Los modelos basados en la temperatura son requisitos:

- Predecir el tiempo y la fenología de los eventos del ciclo de vida de los insectos para iniciar acciones de manejo.
- Modelado epidemiológico, predicción de invasiones biológicas y efectos potenciales del cambio climático sobre la distribución de insectos (**Porter et al. 1991**)

Ciclo de vida de los insectos

Especies multivoltinas

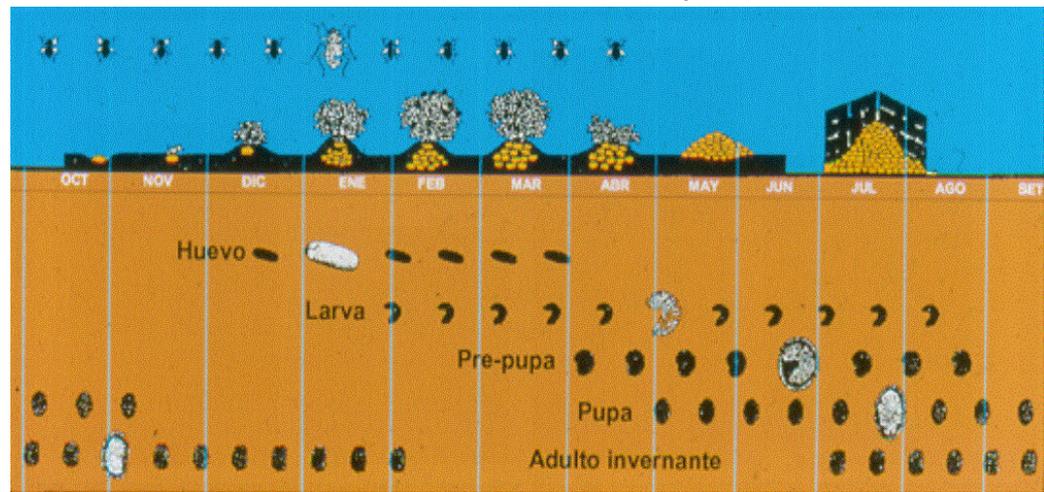
- varias generaciones superpuestas
- trópicos y subtrópicos



Ejemplo: Polilla de la papa

Especies univoltinas

- sin superposición de generación
- regiones templadas
- estacionalidad
- fase de descanso (diapausa, hibernación)



Ejemplo: Gorgojo de los Andes

Parámetros del ciclo de vida

Procesos que determinan el ciclo de vida de los insectos

Procesos

- desarrollo de un estado a otro
- mortalidad inmadura
- senescencia adulta y supervivencia
- (tasa de hembras)
- - reproducción
- - Hibernación, diapausa?

Parámetros

- Mediana del tiempo/media del desarrollo
- tasa de mortalidad diaria
- Mediana del tiempo/media de la senescencia
- - fecundidad por hembra
- media del tiempo/media de la reproducción
- período de hibernación

Modelos fenológicos de insectos

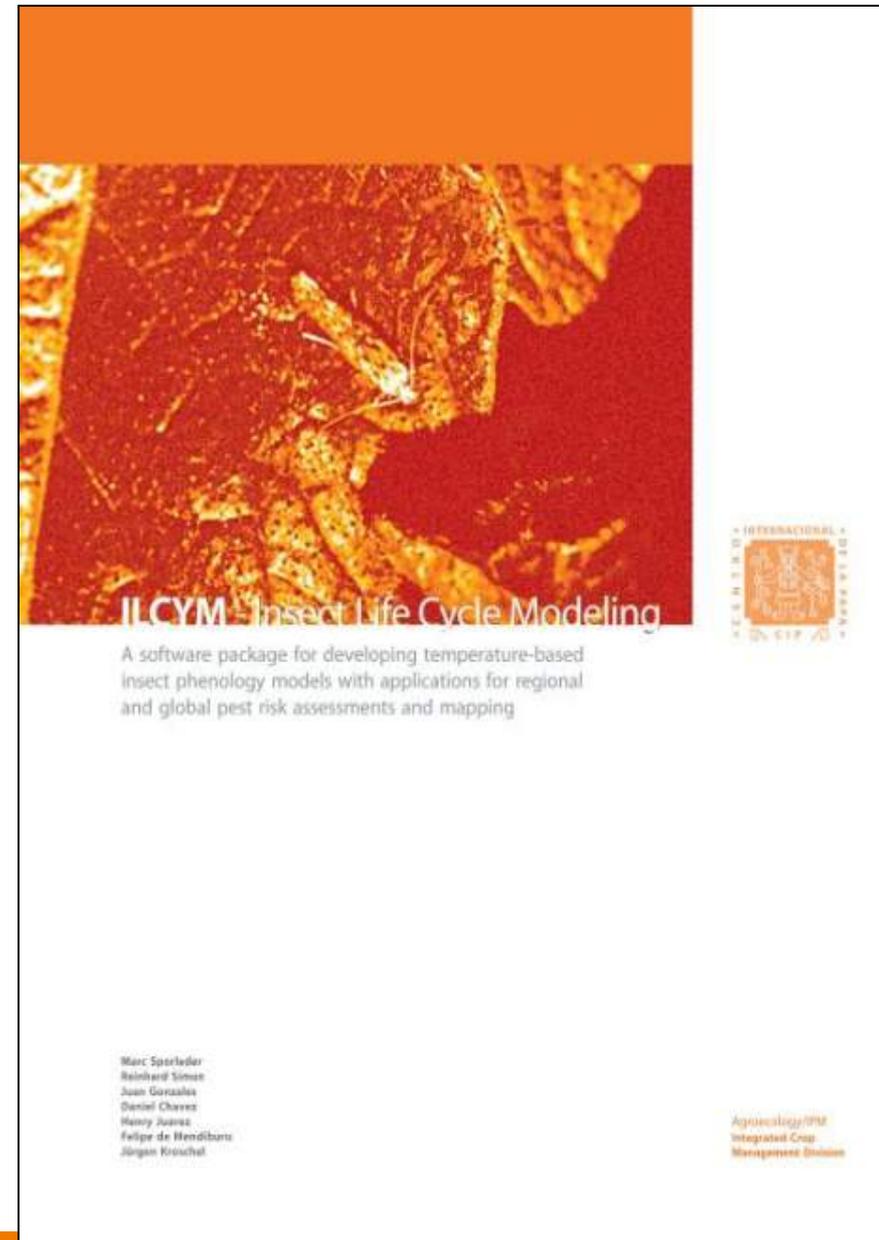
Herramienta analítica para la predicción, evaluación y entendimiento de las dinámicas poblacionales de insectos en los agro-ecosistemas

- ❑ Simulación de la dinámica de poblaciones
- ❑ Evaluación del riesgo de plagas
- ❑ Manejo Integrado de Plagas
 - Control biológico clásico: Identificación de lugares potenciales para la liberación de enemigos naturales
 - Simulación de frecuencia de aplicación (attracticida, biopesticida)
- ❑ Cambio climático / planificación de la adaptación

Programa "Insect Life Cycle Modeling (ILCYM)"

Programa para el desarrollo de modelos fenológicos basados en la temperatura con aplicaciones regionales y evaluaciones de riesgo de plagas

- ✓ Colección de datos de los ciclos de vida con temperaturas constantes y fluctuantes.
- ✓ Desarrollo de modelos fenológicos/poblacionales para las plagas de insectos ("Model Builder")
- ✓ Herramientas de validación del modelo
- ✓ Herramientas para el mapeo de riesgos con el uso de SIG
- ✓ Establecimiento de índices
 - Índices de generaciones
 - Índices de actividad
 - Índices de establecimiento



ILCYM - Insect Life Cycle Modeling

A software package for developing temperature-based insect phenology models with applications for regional and global pest risk assessments and mapping

Marc Sperleder
Reinhard Simen
Juan Gonzalez
Daniel Chavez
Henry Juarez
Felipe de Mendiburu
Jürgen Kroschel

INTERNATIONAL
INTEGRATED CROP
MANAGEMENT DIVISION

INTERNATIONAL
INTEGRATED CROP
MANAGEMENT DIVISION

Uso del ILCYM

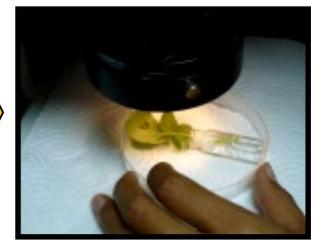
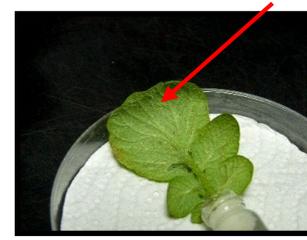
- * Técnica avanzada de modelamiento para poblaciones de insectos
- Tiene un **guía interactiva** para los usuarios para realizar los modelos y el mapeo especial

<https://research.cip.cgiar.org/confluence/display/ilcym/Downloads>

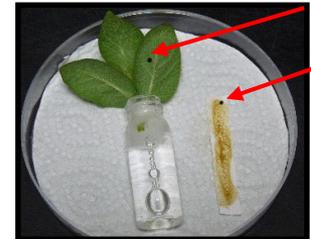
- * Usuario no necesita conocimiento de programación

Data aplicada en ILCYM: requerimientos, colección, organización, formato, etc.

Temperaturas
constantes



- Oviposición
- Tiempo de sobrevivencia (hembra y macho)



- Tiempo de desarrollo
- Mortalidad

Colección de datos

Tipos de datos en el generador de modelos de ILCYM

- a) **Datos de la tabla de vida obtenidos a partir de diferentes *temperaturas constantes*.**
 - “complete” o
 - “incomplete”

- b) **Estudios de cohortes**
 - con observaciones repetidas
 - (- experimentos destructivos)

Colección de datos

Datos grabados en una hoja de cálculo

Tabla de vida

Ejemplo de datos originales registrados en una hoja de cálculo.

Cada columna representa un individuo.

“M” para adultos machos

Cada fila representa un intervalo de evaluación particular.

Para hembras adultas ingrese la cantidad de huevos por cada observación.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	.....	E
2	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	.....	E
3	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	.....	E
4	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	.....	E
5	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	.....	L
6	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	.....	L
7	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	.....	L
8	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	.....	L
9	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	.....	L
10	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	.....	L
11	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	.....	L
12	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	.....	L
13	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	.....	L
14	P	P	dead	P	P	P	P	L	L	L	L	.....	L
15	P	P	dead	P	P	P	P	P	P	P	P	.....	P
16	P	P	dead	P	P	P	P	P	P	P	P	.....	P
17	P	P	dead	P	P	P	P	P	P	P	P	.....	P
18	P	P	dead	P	P	P	P	P	P	P	P	.....	P
19	P	M	dead	P	P	P	P	P	P	P	P	.....	P
20	M	M	dead	18	13	M	14	P	P	P	P	.....	dead
21	M	M	dead	25	17	M	18	4	5	M	M	.....	dead
22	M	M	dead	21	13	M	17	22	20	M	M	.....	dead
23	M	M	dead	11	4	M	4	13	20	M	M	.....	dead
24	M	M	dead	6	6	M	6	10	12	M	M	.....	dead
25	M	M	dead	3	2	M	3	6	6	M	M	.....	dead
26	M	M	dead	2	1	M	2	4	4	M	M	.....	dead
27	M	M	dead	1	2	M	1	1	1	M	M	.....	dead
28	M	M	dead	1	1	M	1	1	1	M	M	.....	dead
29	M	M	dead	dead	dead	M	dead	0	1	M	M	.....	dead
30	M	dead	dead	dead	dead	dead	dead	dead	0	M	M	.....	dead
31	dead	dead	dead	dead	dead	dead	dead	dead	dead	M	M	.....	dead
32	dead	dead	dead	dead	dead	dead	dead	dead	dead	dead	dead	.....	dead

Colección de datos

Datos grabados en una hoja de cálculo

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Temp. (°C)	Fecha de Instalación	Butch	Repeticion	Individual (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
41	20	12-Apr-04	20	8	13									6	4				
42	20	12-Apr-04	20	9	8										1	4	2		
43	20	12-Apr-04	20	10	12										6	4			
44	20	12-Apr-04	20	11	23								1	5	4	9			
45	20	12-Apr-04	20	12	38								20	3	7				
46	20	23-Apr-04	21	13	318										73	98	86	10	
47	20	23-Apr-04	21	14	31											10	16		
48	20	24-Apr-04	21	15	157										36	73	13		
49	20	26-Apr-04	21	16	198								65	53	51				
50	20	26-Apr-04	21	17	208										83	45	42		
51	20	26-Apr-04	21	18	563										134	65	203	87	
52	24	19-Apr-04	22	1	132						56	37	4						
53	24	19-Apr-04	22	2	98							41	23	10					
54	24	19-Apr-04	22	3	64							17	20	9					
55	24	19-Apr-04	22	4	25							9	9						
56	24	19-Apr-04	22	5	112							32	26	26					
57	24	19-Apr-04	22	6	100							30	18	20	4				
58	24	19-Apr-04	22	7	65								32	10	4				
59	24	19-Apr-04	22	8	78							27	23	7					
60	24	19-Apr-04	22	9	91								42	8	13				
61	24	2-Sep-04	23	10	618						136	217	49	39					
62	24	2-Sep-04	23	11	143							23	67	9	3				
63	24	2-Sep-04	23	12	70							18	21	10	1				
64	24	2-Sep-04	23	13	815						158	299	98	20					
65	28	24-Aug-04	24	1	375			15	102	49	36	31							
66	28	24-Aug-04	24	2	453			49	152	69	13								
67	28	24-Aug-04	24	3	152				30	45	19	2							
68	28	24-Aug-04	24	4	98			18	30	13									

Estudios de cohortes

Cada fila contiene los datos obtenidos de una cohorte

En el lado derecho (columna F+) se anota el número de individuos que se desarrollaron para la etapa siguiente; en la primera fila (línea 41) 6 de los 13 individuos se desarrollaron el día 9 y otros 4 el día 10 hasta la siguiente etapa. Tres individuos murieron durante el experimento.

Parámetros del ciclo de vida

Tabla de vida

25°C

Time (day)	Egg	Larva	Pupa	Female	Male	fecundity	age-specific survival rate l_x	age-specific fecundity rate m_x
0	100	0	0	0	0	0	1.00	0.00
1	96	0	0	0	0	0	0.96	0.00
2	93	0	0	0	0	0	0.93	0.00
3	86	3	0	0	0	0	0.89	0.00
4	1	89	0	0	0	0	0.89	0.00
5	0	86	0	0	0	0	0.86	0.00
6	0	83	0	0	0	0	0.83	0.00
7	0	81	0	0	0	0	0.81	0.00
8	0	78	0	0	0	0	0.78	0.00
9	0	76	0	0	0	0	0.76	0.00
10	0	73	0	0	0	0	0.73	0.00
11	0	71	0	0	0	0	0.71	0.00
12	0	66	3	0	0	0	0.69	0.00
13	0	49	17	0	0	0	0.66	0.00
14	0	23	43	0	0	0	0.66	0.00
15	0	6	60	0	0	0	0.65	0.00
16	0	1	63	0	0	0	0.64	0.00
17	0	0	63	0	0	0	0.63	0.00
18	0	0	59	1	1	3	0.62	0.05
19	0	0	49	6	6	32	0.61	0.52
20	0	0	31	15	15	150	0.60	2.49
21	0	0	13	24	24	355	0.60	5.88
22	0	0	4	28	28	491	0.60	8.16
23	0	0	1	30	30	464	0.60	7.70
24	0	0	0	30	30	345	0.60	5.73
25	0	0	0	30	30	226	0.60	3.74
26	0	0	0	30	30	139	0.60	2.31
27	0	0	0	30	30	83	0.60	1.39
28	0	0	0	29	30	49	0.59	0.84
29	0	0	0	25	28	27	0.53	0.51
30	0	0	0	18	24	14	0.42	0.32
31	0	0	0	10	17	6	0.27	0.21
32	0	0	0	4	9	2	0.13	0.14
33	0	0	0	1	4	0	0.05	0.09
34	0	0	0	0	1	0	0.02	0.06

Parameters

reproduction rate = **23.9** ♀ / ♂

intrinsic rate of increase = **0.133**

mean length of a generation = **23.85** days

finite rate of increase = **1.142**

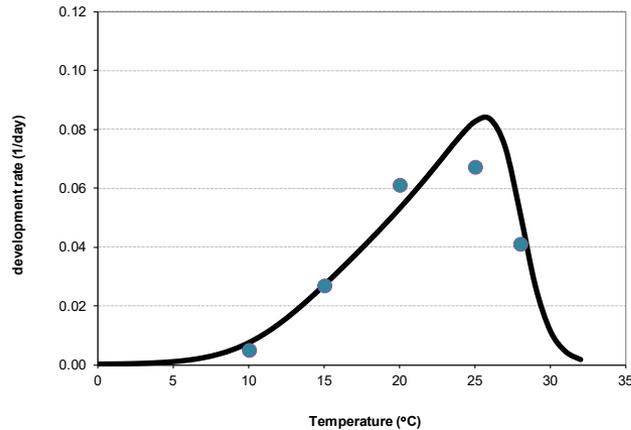
doubling time = **5.21** days

gross reproduction rate = **40.17** ♀ / ♂

Estos parámetros son dependientes de la temperatura

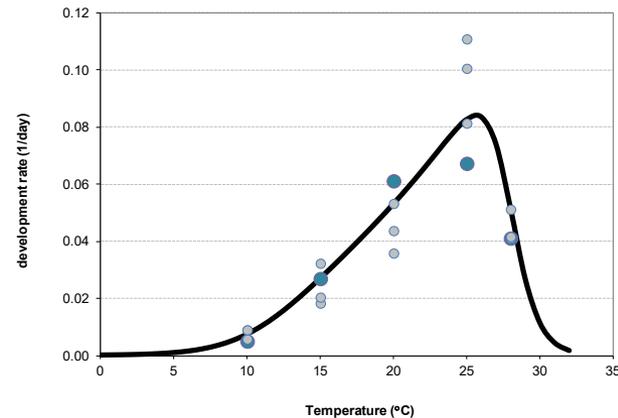
¿Cuántas temperaturas?

3-5 temperaturas constantes (por ejemplo a 10, 15, 20, 25, 30°C)



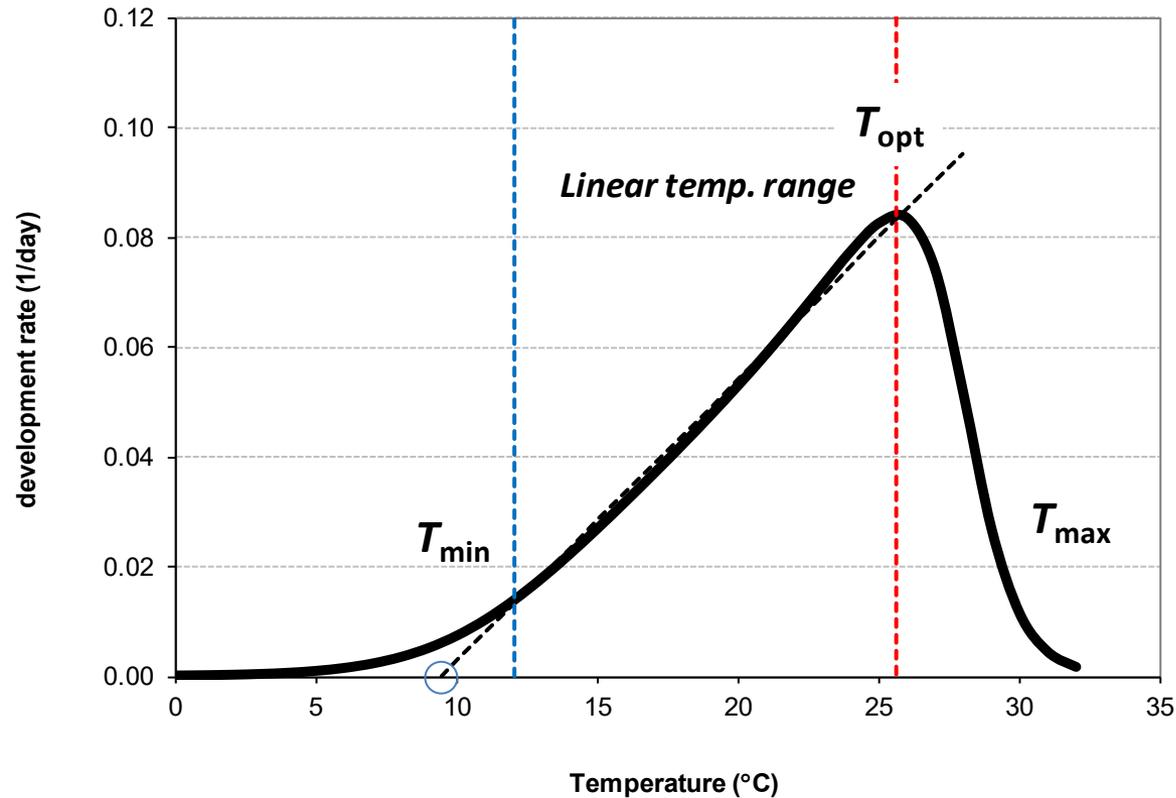
¿Cuántas repeticiones por temperatura?

3 - 4 réplicas pueden ser buenas.



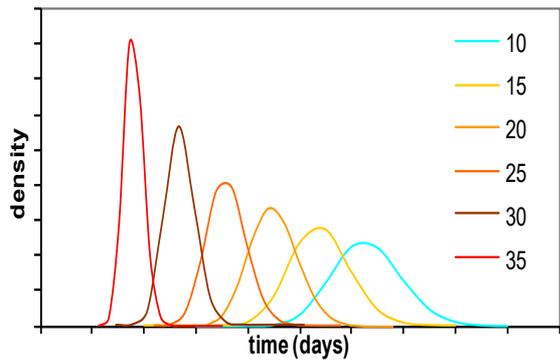
Fenología de insectos

Desarrollo dependiente de la temperatura



Análisis de los datos

1. Ajustar un modelo de 'tiempo de desarrollo' a los estadios inmaduras

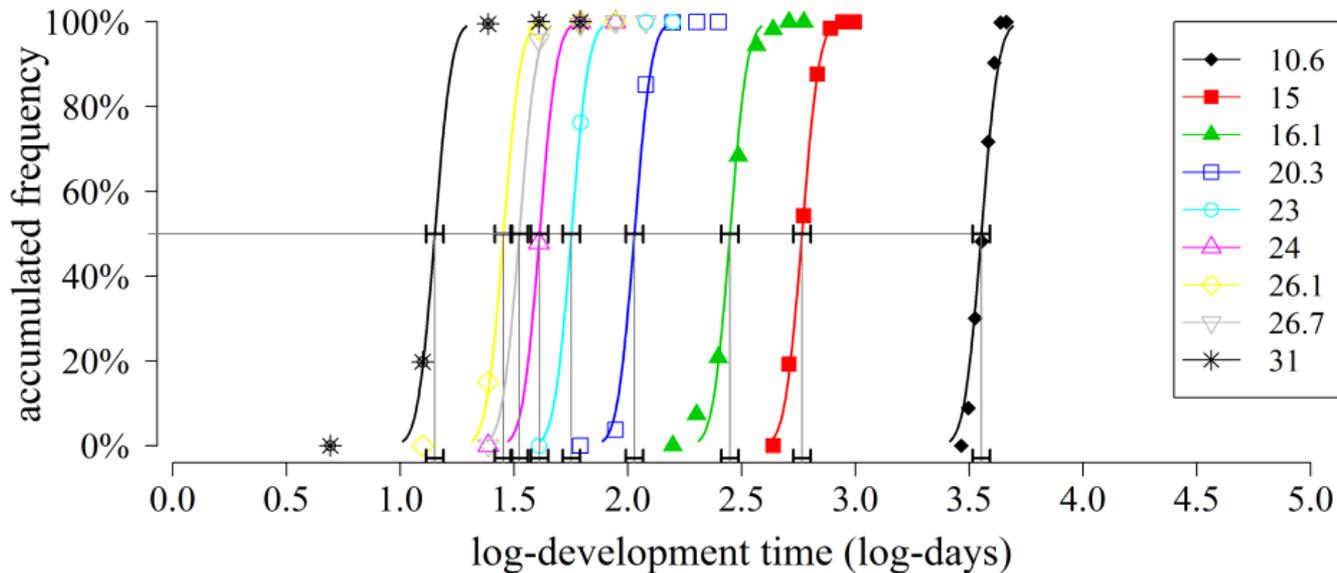


PDF

CDF

3 funciones de distribución para probar:

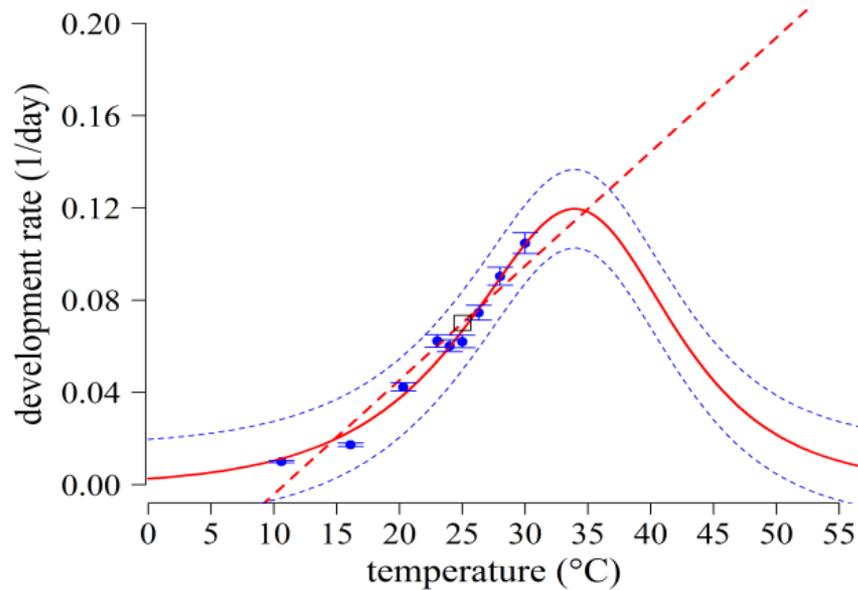
- log logistic
- log logistic
- Weibull



El mejor modelo se elige en acuerdo con la prueba de likelihood ratio

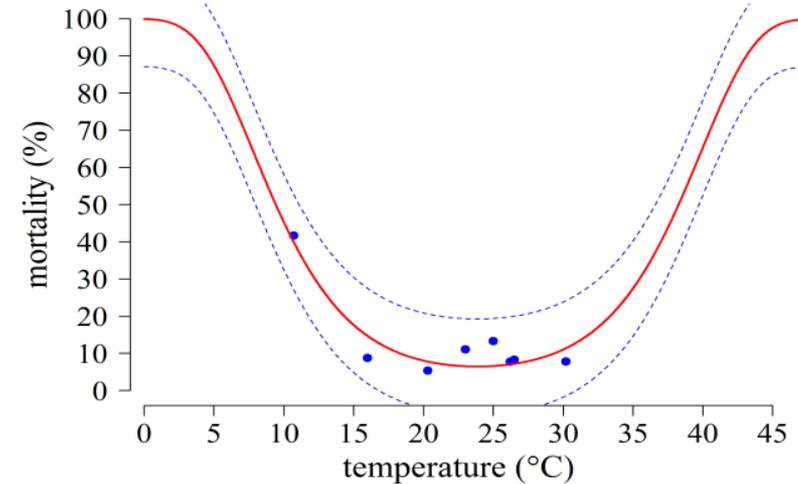
Análisis de los datos

2. Ajustar un modelo describiendo desarrollo en relación a temperatura a cada estadio



El mejor modelo se debe elegir de acuerdo con criterios de información como AIC.

3. Ajustar un modelo describiendo mortalidad en relación a temperatura para cada estadio



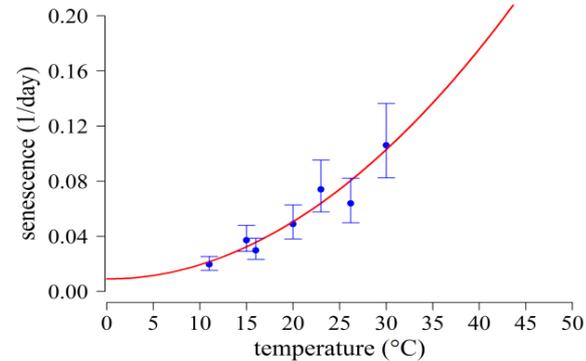
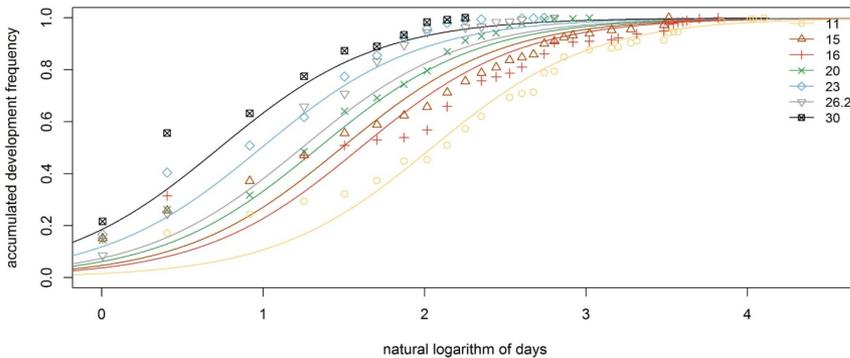
List of indicators

Model	AIC	R2	Pvalue
Janish 1	-174.686	0.947	0
Tb Model	-135.108	0.903	0
Taylor	-155.436	0.927	0

Análisis de los datos

4. Ajustar un modelo de 'accelerated failure time' (ATF) al estado adulto (machos y hembras) y a la reproducción

5. Ajustar un modelo describiendo senescencia en relación a temperatura

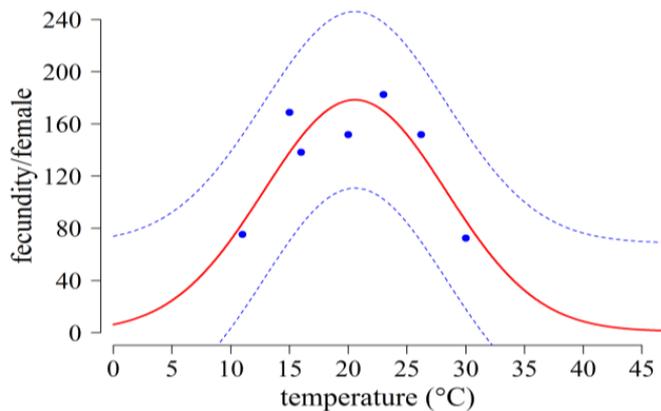


Toma nota que los modelos para la senescencia adulta no son los mismos como los para el desarrollo en estadios inmaduras.

Toma nota: para la supervivencia de adultos y el tiempo de reproducción ILCYM proporciona más opciones de modelos ATF.

Análisis de los datos

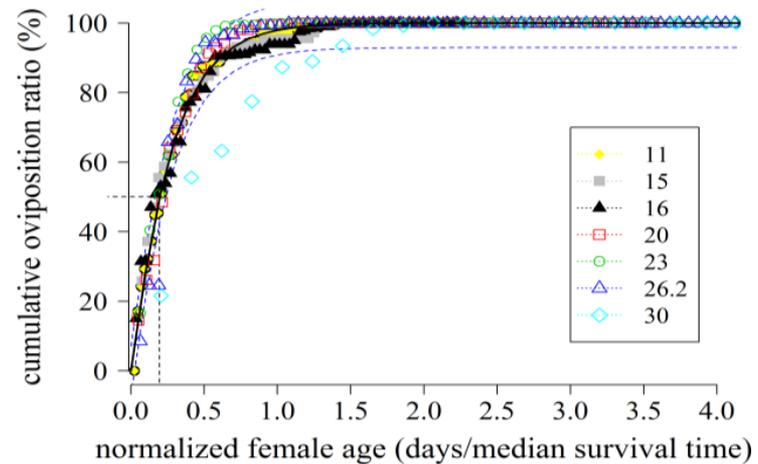
6. Ajustar un modelo describiendo fecundidad en relación a temperatura



Es mejor ajustar el modelo a los valores transformados logarítmicamente porque la varianza en la fecundidad depende del promedio de la fecundidad.

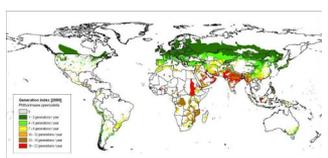
El mejor modelo se elige de acuerdo con criterios de información como AIC.

7. Ajuste de un modelo entre la edad normalizada femenina (tiempo de reproducción) y las relaciones de oviposición acumuladas



Desarrollo de mapas de riesgo de plagas utilizando ILCYM

"Risk mapping"



Distribución potencial a nivel mundial, regional y local



Clima actual: 2000

(1950-2000: www.worldclim.org/)

$$ERI = \frac{(\sum_{i=1}^{365} \widehat{R}o_i) / 365}{\max(\widehat{R}o_i)}$$

$$GI = \frac{(\sum_{i=1}^{365} 365 / \widehat{G}L_i)}{365}$$

Con y sin filtros de cultivos



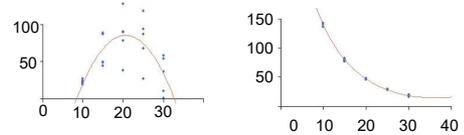
Clima futuro: 2050

Down-scaled data SRES-A1B, IPCC (2007): <http://gisweb.ciat.cgiar.org/GCMPage>

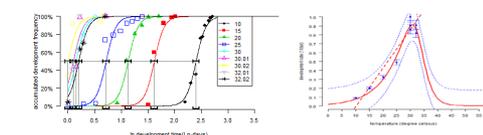
$$AI = \log_{10} \left(\prod_{i=1}^{365} \hat{\lambda}_i \right)$$

Validación del modelo

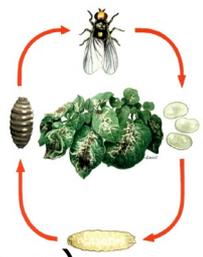
"Model builder"



Parámetros poblacionales:



Tasa y tiempo de desarrollo

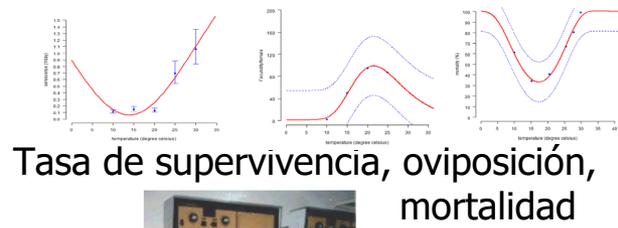
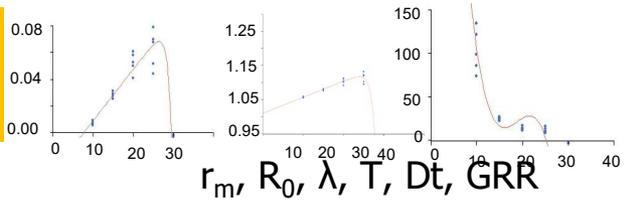


Simulación de parámetros de tabla de vida

Modelos fenológicos basados en la temperatura

Estudios de tabla de vida

A temperaturas constante y fluctuante: Oviposición, tiempo de supervivencia, tiempo de desarrollo, mortalidad



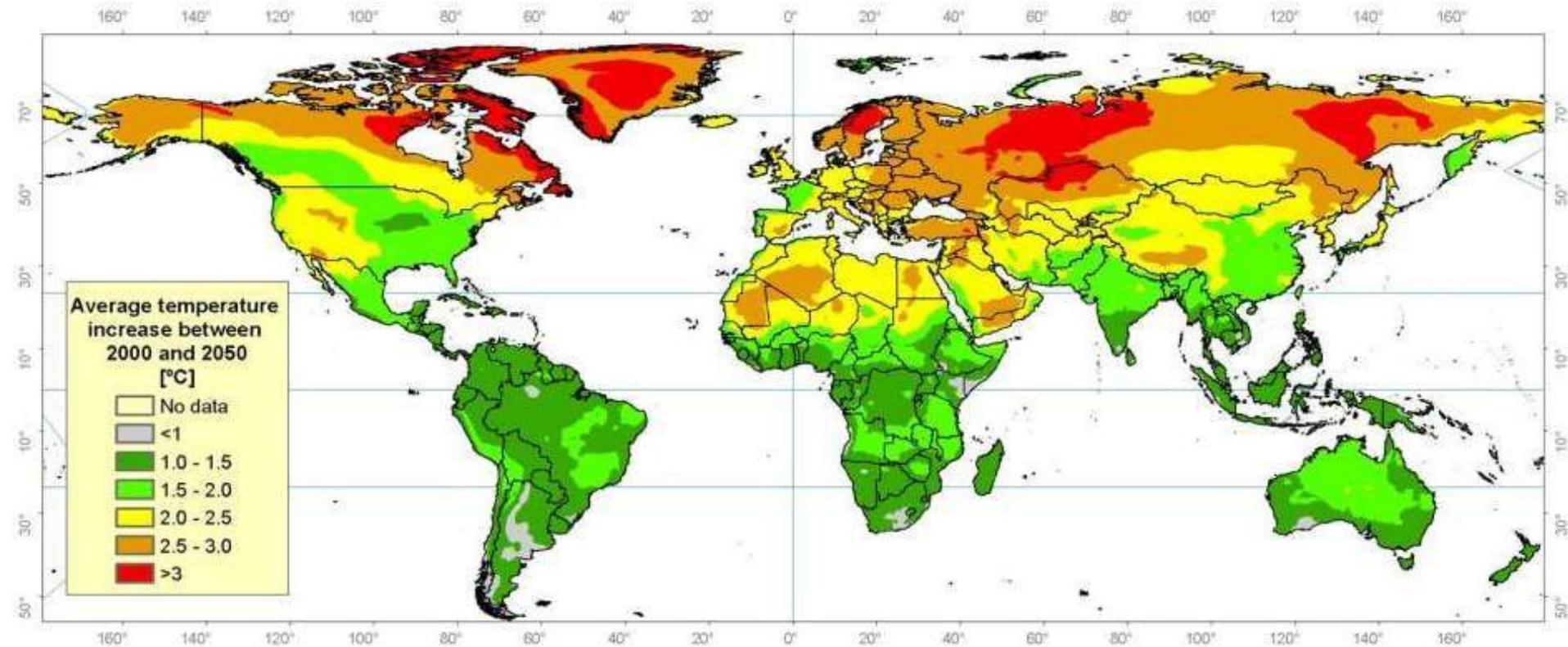
Tasa de supervivencia, oviposición, mortalidad



www.cipotato.org/ilcym

Incremento esperado de la temperatura para el 2050

El aumento de temperatura en las regiones tropicales más cálidas, incrementará la abundancia y actividad más que en las regiones más frías, debido a que los insectos tienen una mayor tasa de metabolismo (Dillon et al. 2010)

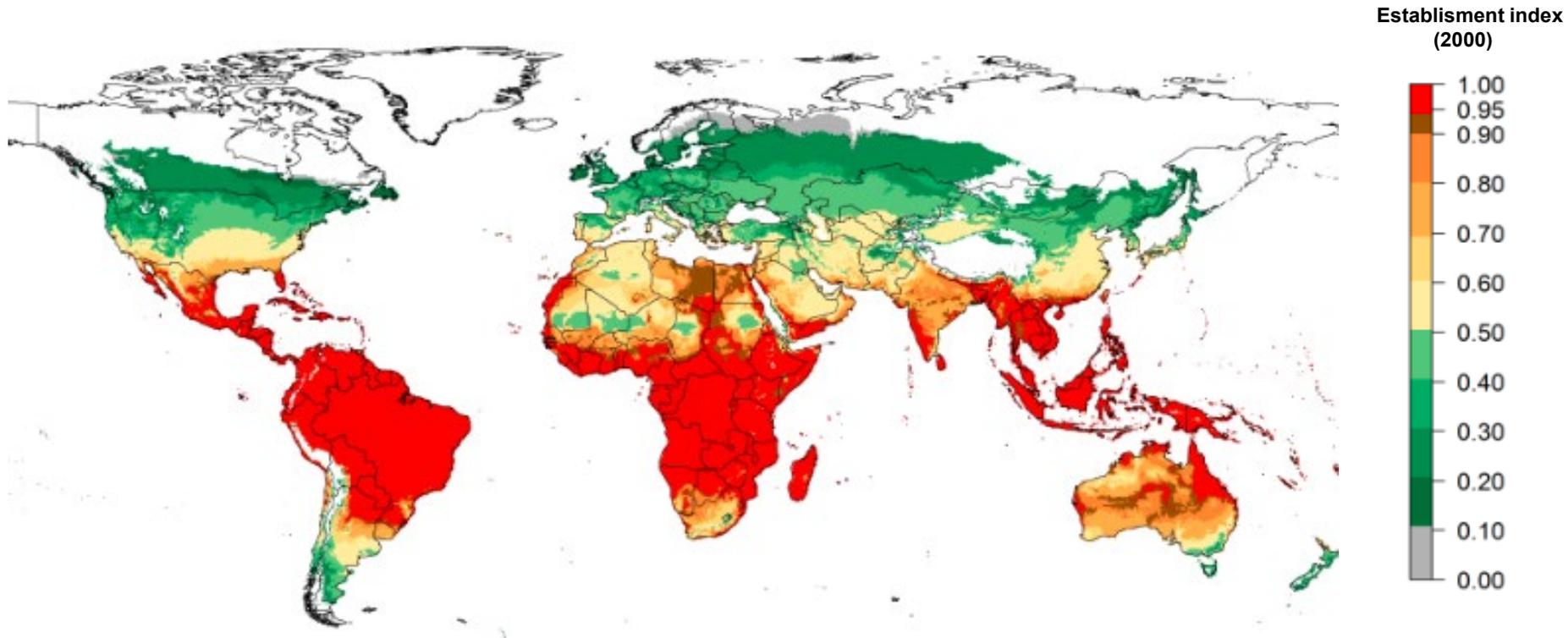


Riesgo global bajo el clima actual y futuro

La mayor probabilidad de establecimiento se encuentra en zona tropicales y subtropicales de Sur de Africa, Asia, Oceania, America de Sur y Central.

Trialeurodes vaporariorum: ERI 2000 y 2050

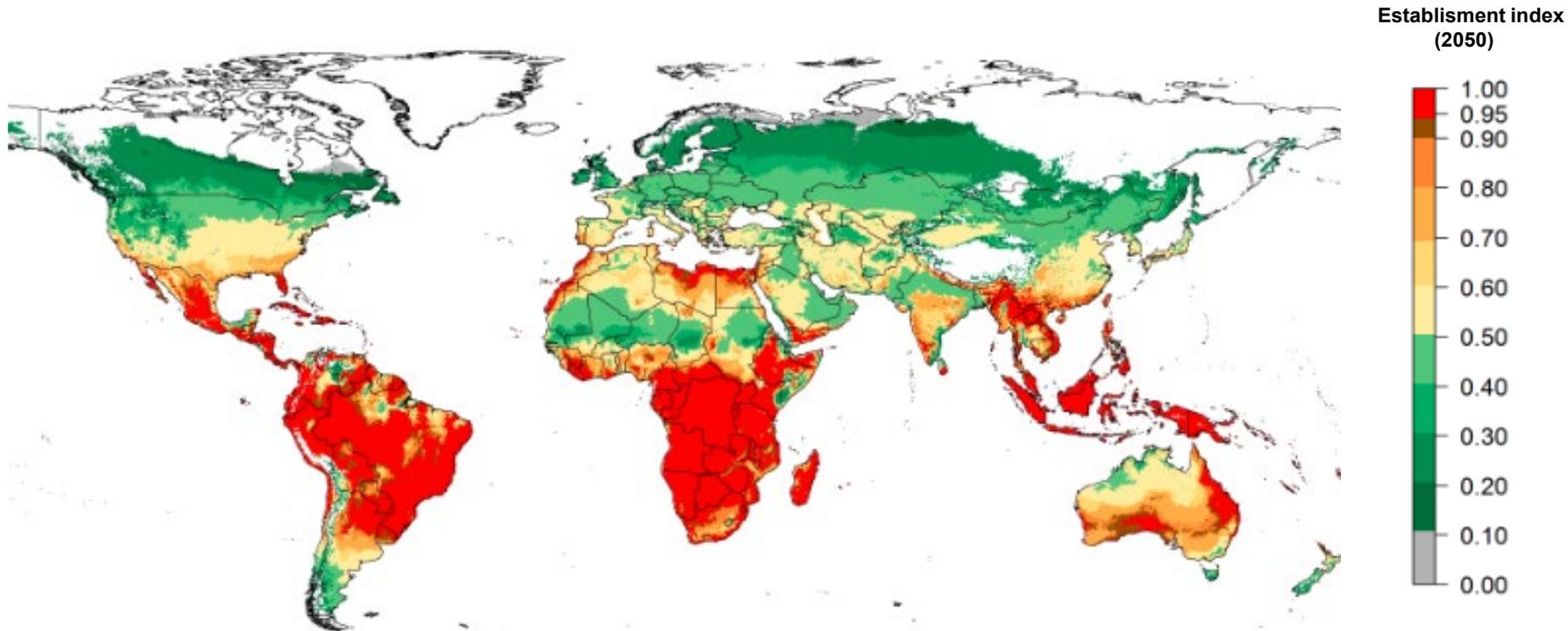
Solo invernaderos en Europa



Riesgo global bajo el clima actual y futuro

El CC reducirá las condiciones favorables en la zonas tropicales y subtropicales y En cambio, las regiones templadas de Asia, América del Norte y Europa se volverán más adecuadas pero seguirán teniendo un riesgo de establecimiento muy bajo

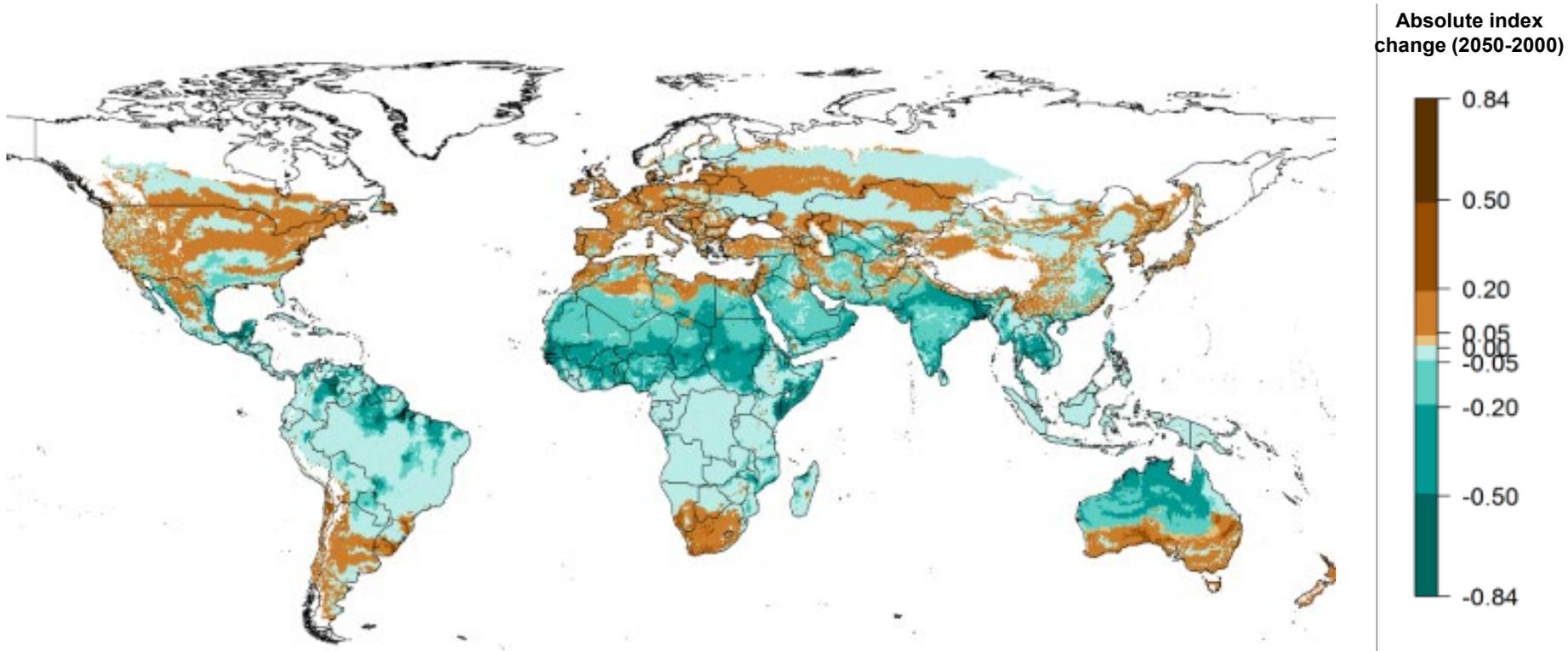
Trialeurodes vaporariorum: ERI 2000 y 2050



Riesgo global bajo el clima actual y futuro

Una expansión en las regiones templadas del hemisferio norte y sur.

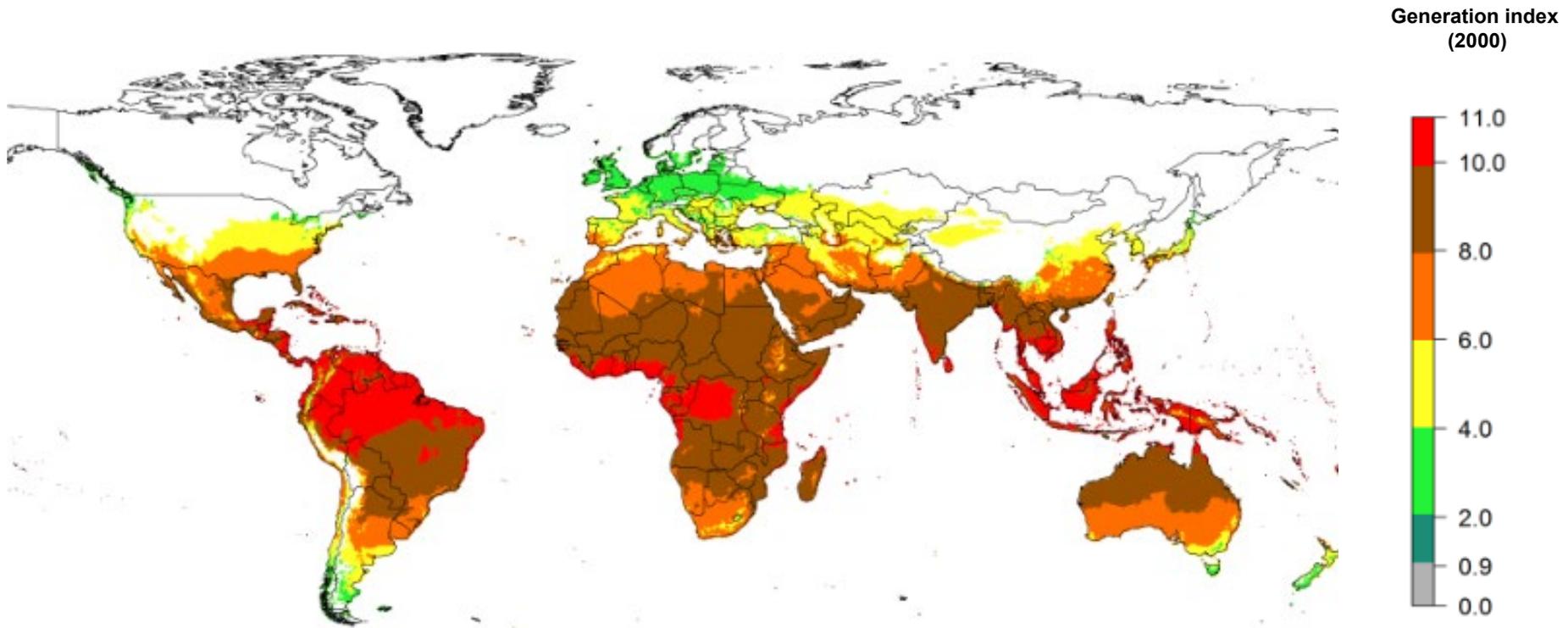
Trialeurodes vaporariorum: ERI 2000 y 2050



Riesgo global bajo el clima actual y futuro

Se desarrollarán > 11 generaciones del total del área sembrada de papa en las zonas tropicales y subtropicales Africa, Asia, America del Sur y Central.

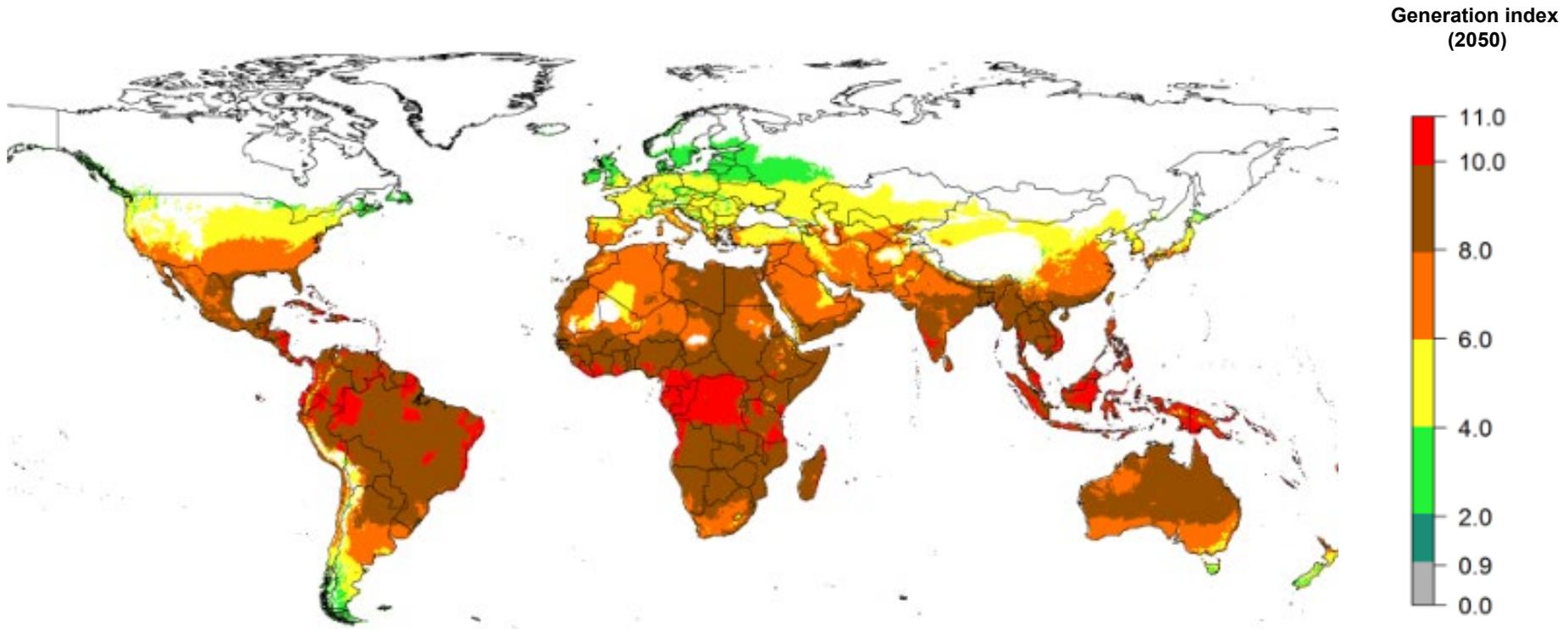
Trialeurodes vaporariorum: GI 2000 y 2050



Riesgo global bajo el clima actual y futuro

Con el CC en la mayoría de las regiones templadas se pronostica un aumento de 1 a 2 generaciones, incluidas las regiones subtropicales de América del Sur, África, y Oceanía, Asia, Centroamérica

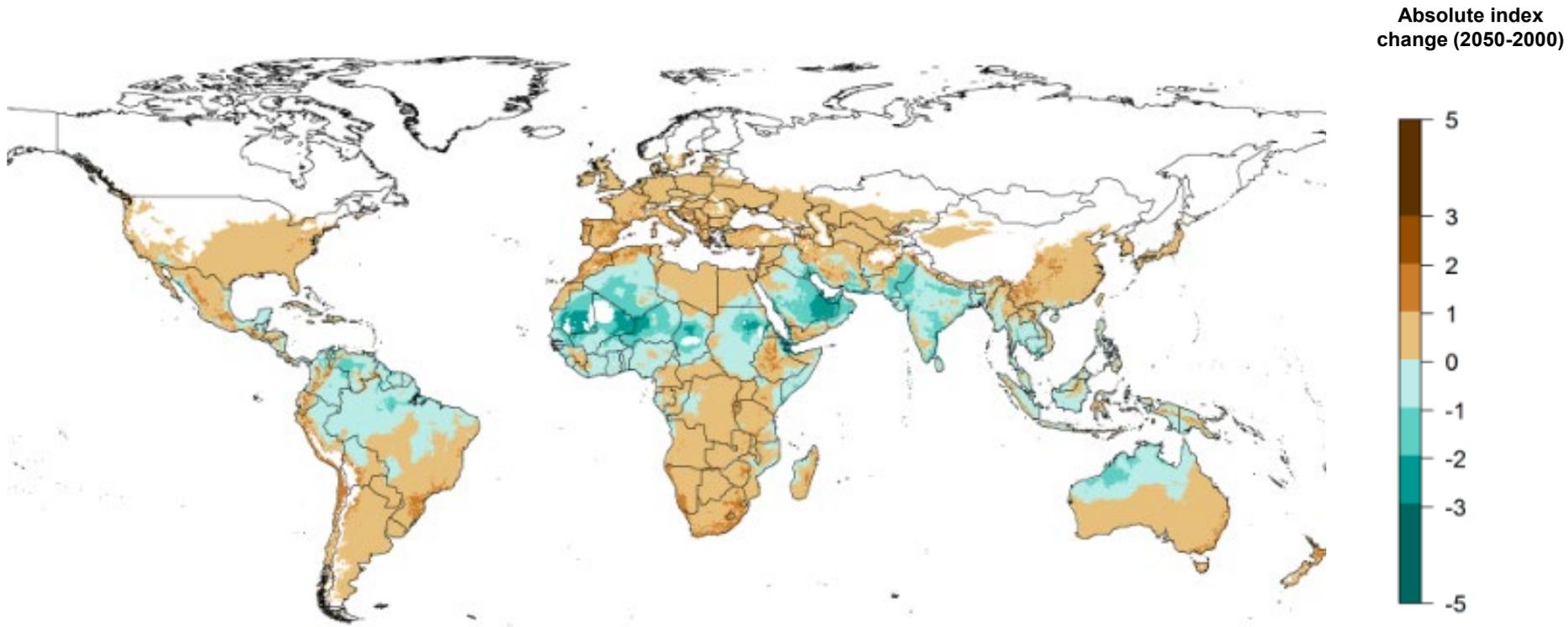
Trialeurodes vaporariorum: GI 2000 y 2050



Riesgo global bajo el clima actual y futuro

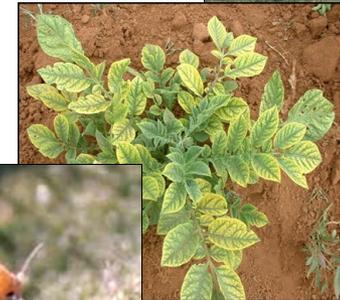
Con el CC en la mayoría de las regiones templadas se pronostica un aumento de 1 a 2 generaciones, incluidas las regiones subtropicales de América del Sur, África, y Oceanía, Asia, Centroamérica

Trialeurodes vaporariorum: Cambio GI



Integración entre transmisión de virus y la fenología de su vector : Riesgo de transmisión del virus *Potato Yellow vein virus* (PYVV) y su vector *Trialeurodes vaporariorum* en America Latina

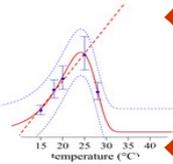
- Se ha desarrollado un modelo especial para el modelamiento de la transmisión de virus y su predicción espacial.



Transmisión: Incluir la propagación de virus transmitido dentro del modelo



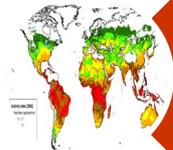
Determinar la eficiencia de transmisión de PYVV por *T. vaporariorum* y el efecto de la temperatura en la transmisión de virus



Desarrollo de un modelo matemático para la temperatura dependiente de la transmisión de PYVV por *T. vaporariorum*

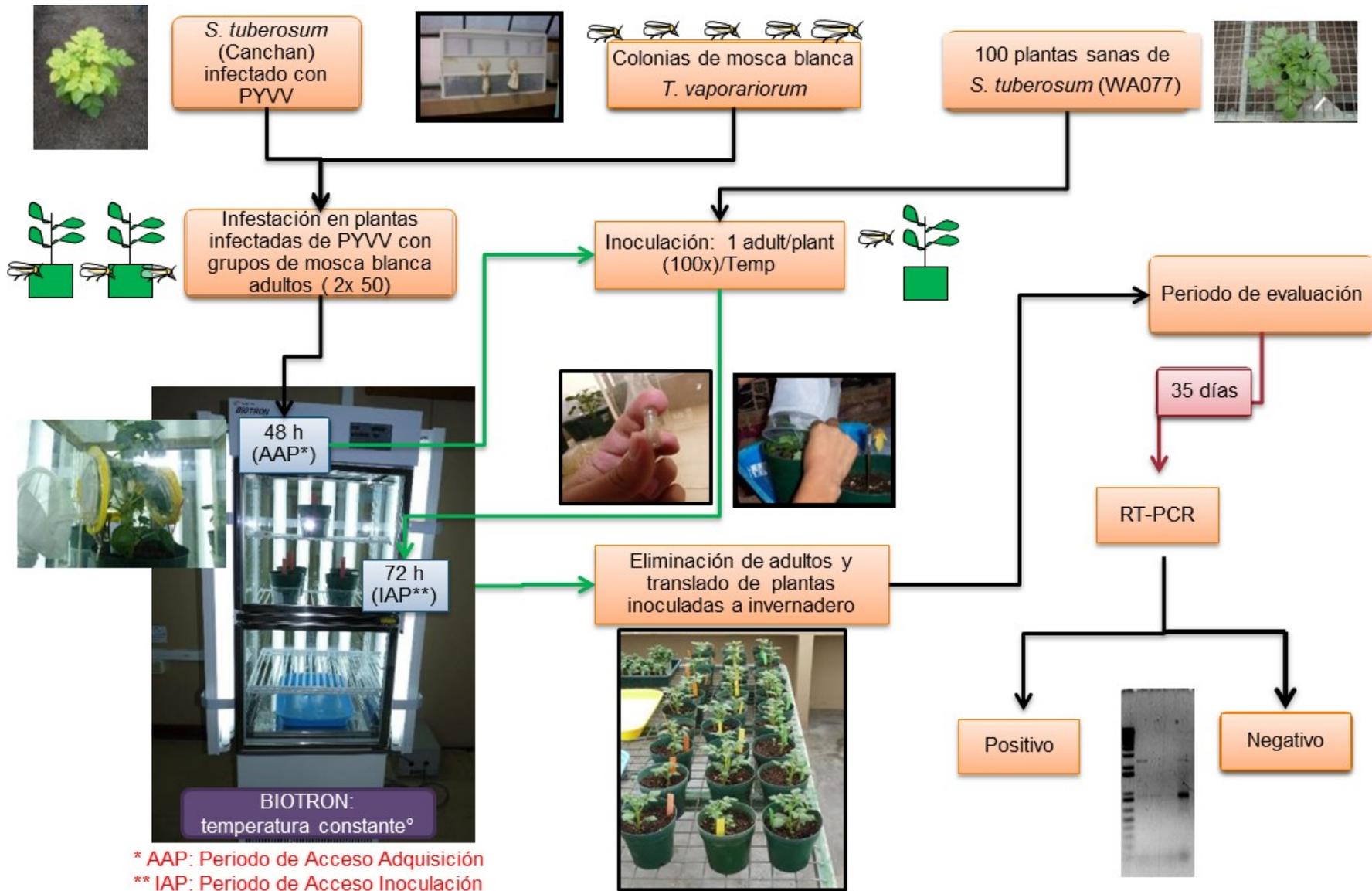


Validación del modelo de transmisión bajo condiciones naturales.



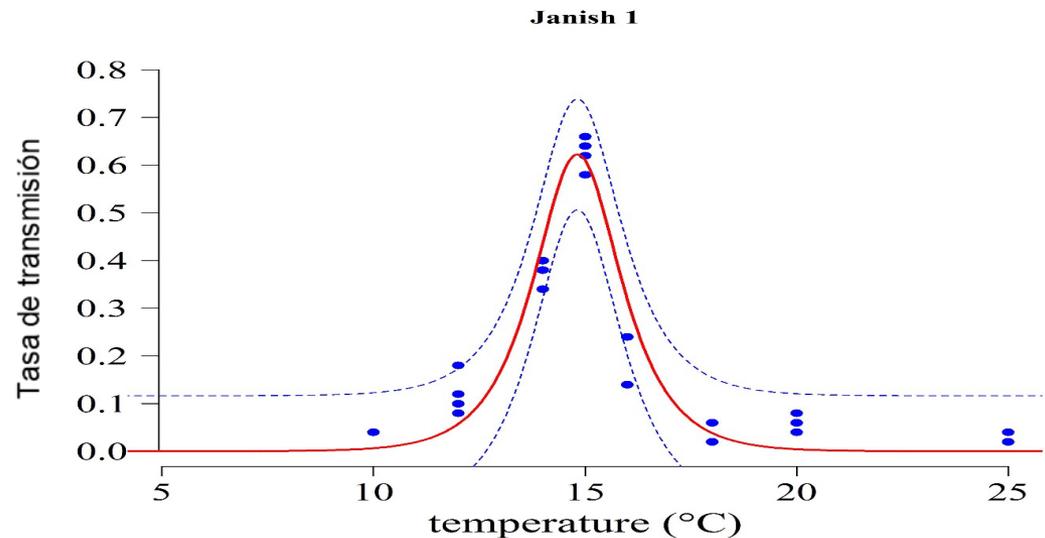
Calcular nuevos índices de Riesgo actuales y futuros relacionados a la transmisión del virus.

Transmisión de PYVV por *T. vaporariorum* bajo temperaturas constantes (10°C, 12°C, 14°C, 15°C, 16°C, 20°C, 25°C, 28°C)

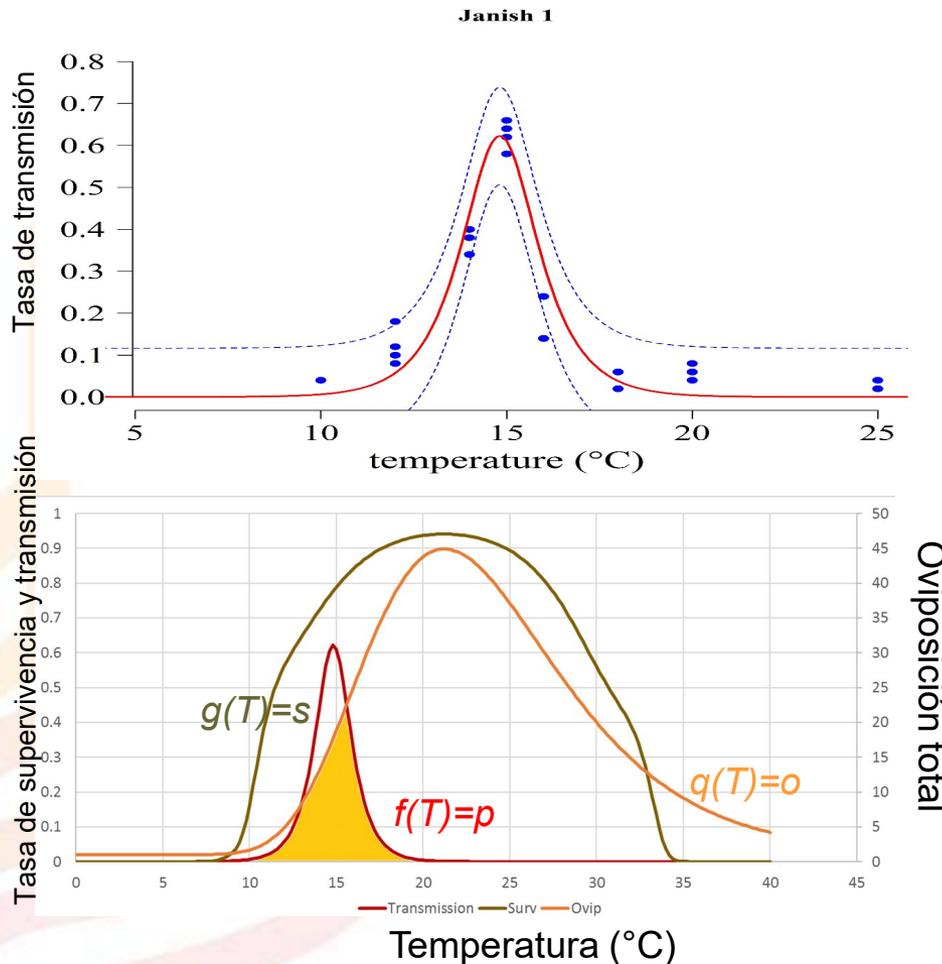


Aplicación: Eficiencia de transmisión de PYVV por *T. vaporariorum* y el efecto de la temperatura en la transmisión

Temperatura	Transmisión	Porcentaje (%)
10	2	4
12	5	10
12	9	18
12	4	8
12	6	12
14	20	40
14	19	38
14	19	38
14	17	34
15	33	66
15	31	62
:	:	:



Temperature dependant transmission efficiency PYVV by *T. vaporariorum*



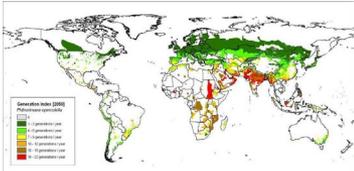
En cada punto de datos geográficos, ILCYM usa las funciones f , g & q (Fig. 3) para calcular el índice de transmisión anual potencial (PAT) y genera mapas de riesgo (Figs. 4 y 5), con las siguientes expresiones

$$PAT_{(Longitud,Latitud)} = \frac{\sum_{k=1}^{365} ((p_k)(s_k)) (o_k)}{365}$$

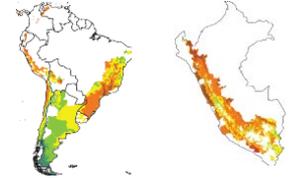
Figura 3. Funciones (f , g & q) ajustadas a la tasa de transmisión, la tasa de supervivencia y la tasa de oviposición en el rango de temperatura indicado, mostrando diferentes temperaturas óptimas para el desarrollo de insectos y la transmisión del virus. Se resalta el área bajo las curvas con potencial de transmisión.

Aplicación: Simulación

Modelamiento de la **transmisión** de virus y su predicción espacial



Distribución potencial a nivel mundial, regional y local



Con y sin filtros de cultivos

$$PAT_{(lon,lat)} = \sum_{k=1}^{365} (((p_k)(s_k)(o_k)) / 365)$$

"Risk mapping"

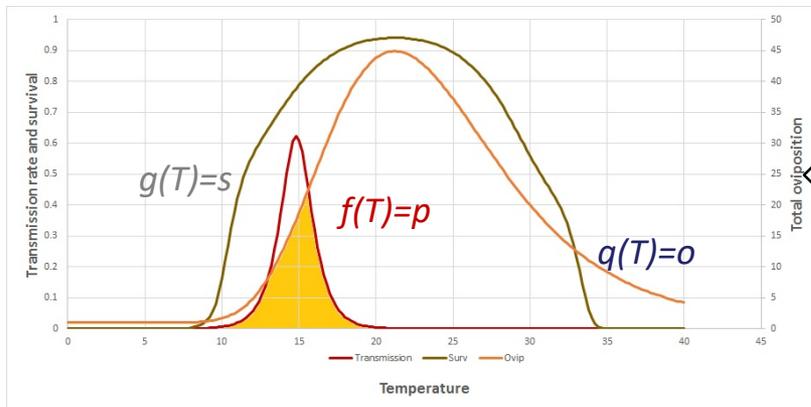
Clima actual: 2000
(1950-2000: www.worldclim.org/)

**Transmisión Potencial (PT)
y Actividad Potencial en la
Transmisión (PAT)**

Clima futuro: 2050

Down-scaled data SRES-A1B, IPCC (2007):
<http://gisweb.ciat.cgiar.org/GCMPage>

Índices de Transmisión



Riesgo de Transmisión
Porcentaje de transmisión, Supervivencia de todo el ciclo inmaduro y Oviposición

Las regiones donde el PAT es > 3 indican las condiciones de temperatura donde una cierta proporción de la población de *T. vaporariorum* puede transmitir el virus durante todo el año, representando las regiones donde el riesgo es mayor. En las zonas donde la PAT es inferior a 2, el riesgo de transmisión de PYVV se reduce, sin embargo, se mantiene el riesgo de presencia de virus ($PAT > 0.2$).

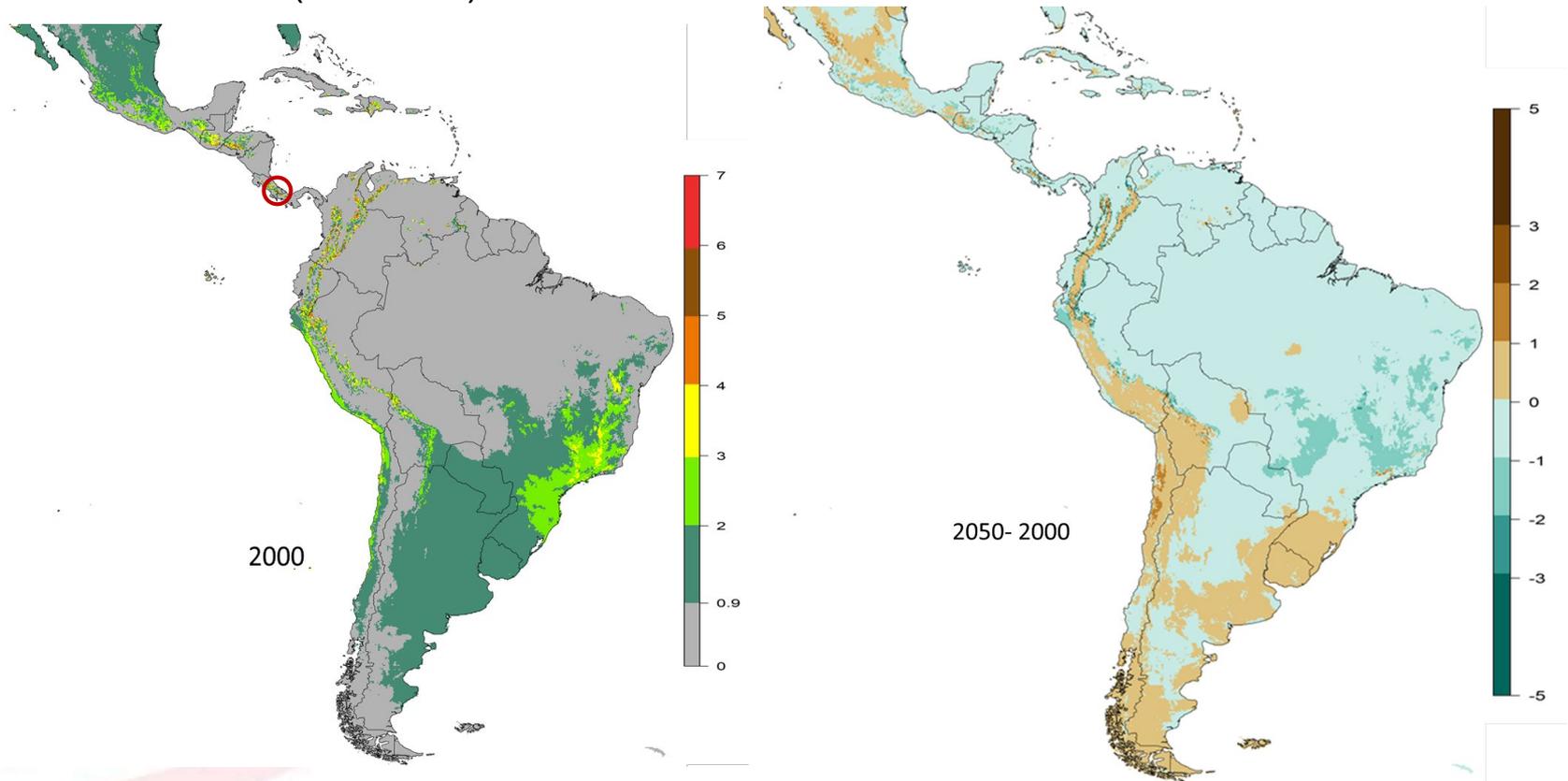


Figura 4. El riesgo de transmisión potencial anual prededecido para PYVV por *T. vaporariorum* en América Latina para el año 2000 (izquierda), el círculo rojo en el oeste de Panamá indica una región prededecida con alto riesgo de transmisión del virus, se visitó la zona y se confirmó la presencia del virus; El mapa de la derecha muestra el cambio de este riesgo entre 2000 y 2050 (derecha).

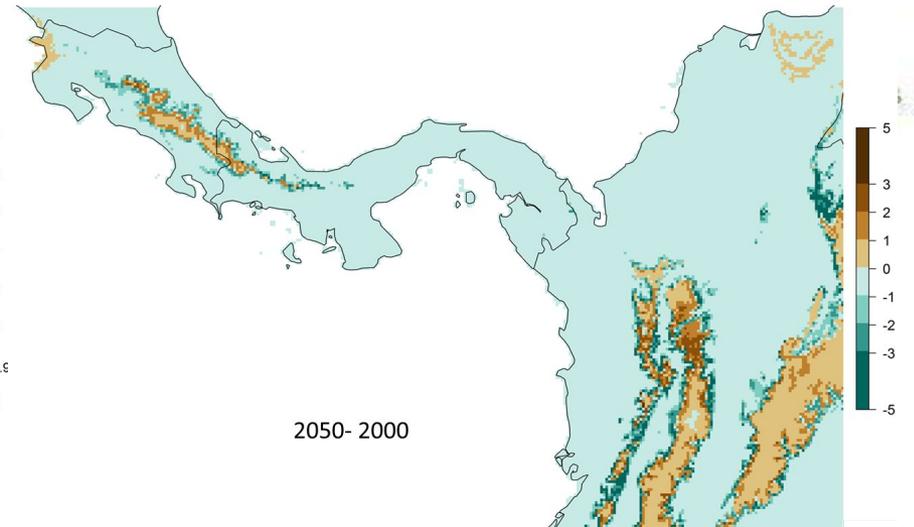
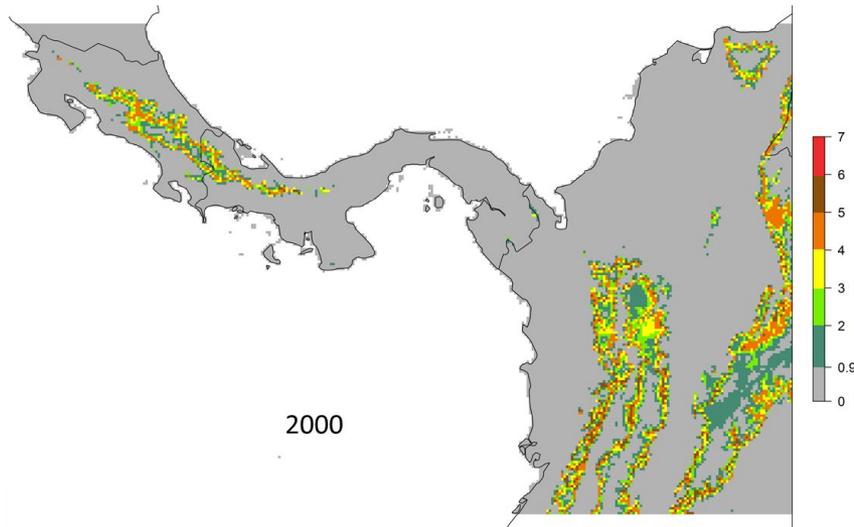
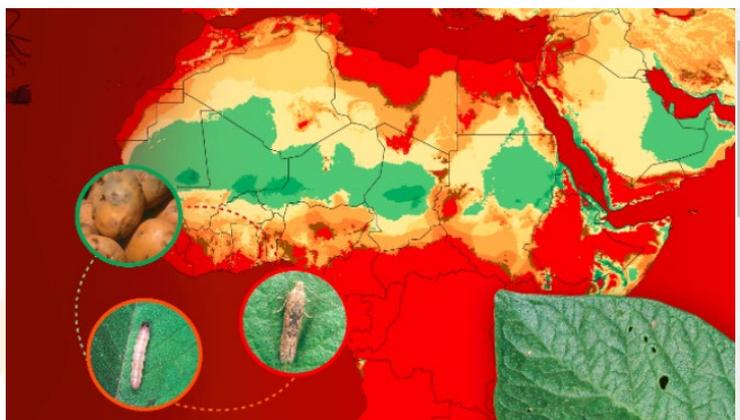
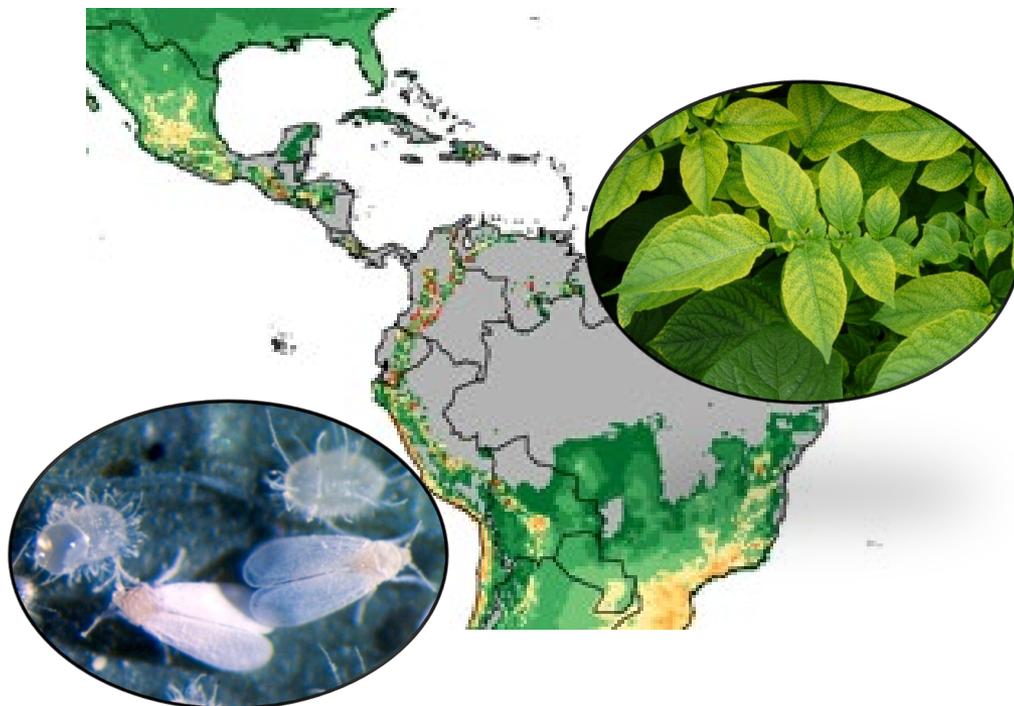


Figure1. Campos de papa mostrando síntomas de PYVV.

Usando los mapas, se identificó una región en el oeste de Panamá que se predijo que tenía un alto riesgo de PAT (círculo rojo en la Fig. 4), PYVV aún no reportado, con la selección de la muestra se confirmó la presencia abundante del virus



Thanks





CIP is a research-for-development organization with a focus on potato, sweetpotato and Andean roots and tubers. It delivers innovative science-based solutions to enhance access to affordable nutritious food, foster inclusive sustainable business and employment growth, and drive the climate resilience of root and tuber agri-food systems. Headquartered in Lima, Peru, CIP has a research presence in more than 20 countries in Africa, Asia and Latin America.

www.cipotato.org



CIP is a CGIAR research center

CGIAR is a global research partnership for a food-secure future. Its science is carried out by 15 research centers in close collaboration with hundreds of partners across the globe.

www.cgiar.org

CIP thanks all donors and organizations that globally support its work through their contributions to the CGIAR Trust Fund: www.cgiar.org/funders



This publication is copyrighted by the International Potato Center (CIP). It is licensed for use under the Creative Commons Attribution 4.0 International License