

LA POLILLA GUATEMALTECA *TECIA SOLANIVORA* (POVOLNY) (LEPIDOPTERA: GELECHIIDAE) EN ECUADOR. DIAGNÓSTICO Y PERSPECTIVAS DE MANEJO BAJO UN MÉTODO DE PREDICCIÓN

ÁLVARO R. BARRAGÁN¹, ANDRÉ POLLET², J. MARCELO PRADO³,
AZIZ LAGNAOUI⁴, GIOVANNI ONORE¹, IVÁN AVEIGA¹,
XAVIER LERY⁵, Y JEAN-LOUIS ZEDDAM⁶

¹*Escuela de Biología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador,
Av. 12 de Octubre y Roca, Aptdo. 17-01-2184,
Quito, Ecuador, e-mail, arbarragan@puce.edu.ec*

²*Chemin d'Auzouville, 76590 Bertreville Saint Ouen, France*

³*Unidad de Validación y Transferencia de Tecnología,
Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias,
Mejía 322 y Bolívar, San Gabriel, Carchi, Ecuador*

⁴*The World Bank, Environmentally and Socially Sustainable Development,
1818 H Street, NW, Washington D.C. 20433, U.S.A.*

⁵*Institut de Recherche pour le Développement, UR 132,*

Station de recherches INRA, 30380 Saint-Christol-les-Alès, France

⁶*Institut de Recherche pour le Développement, Whympet 442 y Coruña,
Aptdo. 17-12-857, Quito, Ecuador*

RESUMEN

Tecia solanivora, la polilla guatemalteca, es considerada como la plaga más perjudicial para el cultivo de la papa en Centroamérica, Venezuela, Colombia, Ecuador y las Islas Canarias. El control de esta plaga es muy difícil, pues el comercio del tubérculo escapa generalmente a todas las formas de vigilancia fitosanitaria.

Se investigaron los factores bióticos y abióticos para el control de esta plaga. Se instalaron parcelas consecutivas durante un año, en las cuales se tomaron muestras semanales de tubérculos para buscar especímenes de polilla guatemalteca, así como sus posibles controles naturales. Se muestreó la población de adultos con trampas de feromonas sexuales y se tomaron datos climáticos. Estos últimos fueron analizados en busca de su relación con infestaciones.

Los controles bióticos naturales son casi inexistentes y sólo se observaron controles abióticos relacionados a la precipitación y a la temperatura.

Se encontraron correlaciones significativas entre la captura de machos en trampas de feromonas y los daños en los tubérculos. Además, tres variables climáticas (precipitación, temperatura y humedad relativa) durante los primeros

meses de inicio del cultivo, son determinantes en la tasa final de infestación. El uso de estas variables permite predecir, con un alto nivel de seguridad, el daño en los dos a tres meses antes de la cosecha.

Palabras claves: Diagnóstico; Muestreo; Predicción de daños; *Tecia solanivora*

ABSTRACT

Tecia solanivora, the Guatemalan potato moth, is considered to be the most harmful pest to potato crops in Central America, Venezuela, Colombia, Ecuador and the Canary Islands. The control of this pest has proved to be very difficult since the trade of the tuber usually evades all kinds of phytosanitary control.

Biotic and abiotic pest control factors were studied. Small crop plots were established consecutively during a whole year, where tuber samples were selected on a weekly basis to search for specimens of the Guatemalan moth, as well as of its parasites as potential natural control. The adult population was sampled by using sexual pheromone traps, and climatic data were collected and studied to search for their relation to infestation.

Natural biotic control is virtually nil, and abiotic control was shown just regarding precipitation and temperature.

Significant correlation was found between the capture of male specimens in pheromone traps and tuber damage. Besides, three climatic variations during the first months of the crop cycle (precipitation, temperature and relative humidity) were found to be determinant in the final infestation rate. By using these variables it is possible to predict the damage level two or three months before the harvest with a high degree of accuracy.

Key words: Damage prediction; Diagnosis; Sampling; *Tecia solanivora*

INTRODUCCIÓN

Originaria de América Central donde fue descrita por primera vez como *Scrobipalopsis solanivora* Povolny, 1973, la polilla guatemalteca es considerada el limitante número uno en esta región (Murillo, 1981). La plaga ha emigrado hacia Sudamérica debido principalmente al intenso comercio entre países.

En 1983 entró a América del Sur por la importación de semilla contaminada, procedente de Costa Rica, a la zona papera del Táchira en Venezuela (Salazar y Escalante, 1984). Dos años después, en 1985, se reportó por primera vez en Colombia en el departamento del Norte de Santander (Durán, 2001).

Posteriormente la polilla se propagó por todo el territorio colombiano, llegando a traspasar la frontera sur y establecerse en el norte de Ecuador, desde 1996 de donde se ha desplazado por las zonas paperas ecuatorianas (Barragán et al., 2000).

Últimamente se han reportado serios ataques de *Tecia solanivora* en las Islas Canarias, por lo que se presume una disminución del 25% de la producción de papas en el archipiélago canario (SANINET, 2000).

Han pasado más de seis años desde el ingreso y establecimiento de *Tecia solanivora* en Ecuador. Al inicio el INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias) puso mucho énfasis en campañas de difusión del problema, mediante cursos y talleres en los cuales, se informó sobre métodos de prevención y control de la plaga (INIAP, 1997).

Sin embargo, fueron las condiciones climáticas, especialmente fuertes lluvias en los años subsiguientes a la primera infestación (INAMHI, 2000), las que actuaron frenando la intensidad de la plaga; pero también encubriendo un problema que se ha extendido hacia la mayoría de zonas de producción de papa en Ecuador.

Actualmente, los agricultores en Ecuador no tienen herramientas efectivas para el control de la plaga, y aún se desconocen muchos aspectos básicos de su biología

La Experiencia Ecuatoriana

Información personal de agricultores del Carchi, que muestrearon a la plaga con feromonas traídas de Colombia en 1994, revela que *Tecia solanivora* estuvo presente en el Ecuador mucho antes de los anuncios oficiales. Sin embargo, la evolución de la problemática de la plaga en el Ecuador se define en tres fases: 1. El primer reporte oficial de la polilla guatemalteca en Ecuador fue en 1996 en El Chamizo (cantón Montúfar, provincia del Carchi). Los técnicos de la UVTT (Unidad de Validación y Transferencia de Tecnología), perteneciente al INIAP, trabajaron en campañas de difusión del problema, muestreo, validación y transferencia de tecnología y empezaron las primeras actividades de investigación de nuevos métodos de control de la plaga.

El SESA (Servicio Ecuatoriano de Sanidad Agropecuaria) (Acuerdo Ministerial Nro. 157) declaró a la polilla guatemalteca presente en áreas de cultivo y almacenes en la provincia del Carchi, como peste nacional. También, se declaró en emergencia fitosanitaria a dicha provincia, imponiendo normas restrictivas para la importación de papa procedente de Colombia. En mayo de 1997 se incauta e incinera un cargamento de casi 5 t de semilla infestada, que ingresó a Ecuador procedente de Colombia (INIAP, 1997). Sin embargo, pese a estos esfuerzos de las autoridades, las rutas clandestinas de comercio escapan a los intentos estatales de control cuarentenario.

Posteriormente se organizó un seminario taller en donde se formularon recomendaciones para emprender la lucha en contra de la plaga. Se discutieron algunos aspectos sobre las experiencias en otros países, así como acciones a desarrollarse en el futuro (INIAP, 1997).

2. La segunda fase en el historial de *Tecia solanivora* en Ecuador se presenta a finales de 1997. Las fuertes lluvias típicas del fenómeno de “El Niño” bajaron la intensidad de los daños a niveles imperceptibles, demostrando que los factores climáticos son determinantes en la dinámica poblacional de la plaga. Sin embargo, este decrecimiento en la población de la plaga, provocó por otro lado una disminución de los esfuerzos por parte de agricultores, técnicos, investigadores y representantes gubernamentales, al creer que el problema había desaparecido.

Este aparente control de la plaga dejó la posibilidad de que los tubérculos infestados circulen y se comercialicen en todo el país, abriendo la posibilidad de nuevos focos de infestación como así ocurrió. A inicios del 2000, cuando aún se evidenciaban influencias de un invierno fuerte para la serranía ecuatoriana, un grupo de investigadores del IRD (Institut de Recherche pour le Développement) y la PUCE (Pontificia Universidad Católica del Ecuador), en colaboración con funcionarios del SESA hicieron un recorrido por campos y bodegas de papas del Ecuador. Se recolectaron tubérculos de papa y se realizó un muestreo con trampas de feromonas, logrando obtener nuevos datos de distribución de la plaga (Barragán et al., 2000).

3. La tercera etapa es el nuevo reporte de daños a finales del 2000, causada por la evidente disminución de precipitación en la región Andina. Como factores adicionales que favorecen la pululación de la plaga podemos citar: la sobreproducción, y consecuente disminución de los precios del tubérculo, lo que produjo abandonos masivos de cientos de hectáreas de cultivo que representaron una fuente alimenticia ilimitada para la polilla (El Comercio, 2001).

Con estos antecedentes, a partir de agosto del 2001, los agricultores del Carchi ejercieron presión para que se declare en emergencia al sector papicultor. Desde entonces el volumen de semilla afectada ha aumentado vertiginosamente sumando nuevas áreas de infestación, lo que genera preocupación en los agricultores dedicados a esta actividad.

Sistema de Predicción de Daños de *Tecia solanivora* en Ecuador

Como se ha mencionado en la introducción, el manejo de la plaga resulta infructuoso en el Ecuador, pues los factores naturales bióticos de control son casi inexistentes (Barragán et al., 2000; IRD, 2000; Pollet et al., 2002). Después de dos años de estudios en el Ecuador, en los cuales se muestrearon miles de larvas en varios sitios y en las parcelas de ensayo ha sido muy difícil encontrar controladores naturales.

En muestreos en campo se han encontrado dos larvas parasitadas por Encyrtidae (Hymenoptera), una por nematodos y otra con evidencia de virosis.

Esta última fue estudiada en laboratorio y se constató que estaba infectada por PhopGV (granulovirus de *Phthorimaea operculella*) (Ruiz, 2001). En este trabajo, analizamos la acción de los parámetros climáticos y su impacto en la regulación natural de *Tecia solanivora*.

Este estudio pretende responder a las siguientes preguntas: ¿cómo influye el clima en la dinámica poblacional de *Tecia solanivora*? ¿Cuál o cuáles parámetros climáticos son fundamentales en el control de la polilla: temperatura, humedad relativa o lluvia? ¿Qué correlaciones entre el clima y daños debemos buscar? ¿Debemos trabajar con correlaciones simples o múltiples? y ¿qué tipo de combinación debemos hacer?

Además, en relación a los parámetros climáticos surgen estas interrogantes: ¿debemos considerar valores medios calculados para un periodo de cultivo dado? En el caso de las lluvias ¿podemos escoger un acumulado de las medias diarias? ¿Qué clase de periodo (floración o cosecha) debemos privilegiar y estudiar con las regresiones? ¿Cuándo debemos tomar en cuenta las variaciones climáticas existentes, antes de la floración? y en este último caso ¿cuál es el mejor periodo que nos pueda dar una regresión significativa, los últimos 30, 45 o 60 días?

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron estudios con *Tecia solanivora* en campo y bodegas durante 13 meses (julio del 2000 a julio del 2001), en una granja localizada al norte del Ecuador en el sector de El Chamizo (cantón Montúfar, provincia de Carchi).

Se estudiaron 10 parcelas experimentales de 300 m² cada una. Éstas fueron instaladas sucesivamente a partir de marzo del 2001. Así, obtuvimos en una área determinada el mismo estado fenológico del cultivo durante un año consecutivo.

Se instalaron trampas de feromonas en las cercanías de las parcelas, para estimar la población de adultos. Éstas fueron revisadas semanalmente, con lo cual obtuvimos información continua sobre las variaciones poblacionales.

Al inicio del periodo de floración se empezaron a tomar muestras semanales de tubérculos en cada una de las 10 parcelas. El muestreo continuó hasta la cosecha. Con esta metodología podíamos garantizar la existencia de tubérculos en una área determinada durante los 13 meses de estudio, proveyendo de recursos continuos para las poblaciones de *Tecia solanivora*.

En cada parcela se tomaron cinco plantas al azar, de las cuales se recolectaban los tubérculos que eran llevados al laboratorio, para ser analizados bajo el microscopio en busca de larvas de *Tecia solanivora* y posibles controladores naturales. Se hicieron de cinco a ocho muestreos en cada parcela dependiendo

de la duración total del ciclo de cultivo. Las siguientes variables fueron calculadas: valor acumulado del porcentaje de daño por mes y por ciclo y el promedio del número de larvas por tubérculo. Después de la cosecha, los tubérculos fueron almacenados y se realizaron muestreos semanales por un periodo de tres meses. Se definieron cuatro periodos de referencia para los cálculos de regresión del clima 60 (-60), 45 (-45) y 30 (-30) días antes y el periodo real de infestación desde la floración hasta la cosecha.

Pruebas Estadísticas Usadas

Estudios estadísticos sobre la relación que puede existir entre los daños de los tubérculos en campo y en bodega y las tres series disponibles de factores climáticos (Tabla 1) han sido probadas usando las metodologías de regresión simple y múltiple.

Los datos de infestación y daños fueron transformados mediante la raíz cuadrada del arcoseno y analizados con un procedimiento de modelo lineal (Steel y Torrie, 1980; Pollet y Nasrullah, 1994). Todos los cálculos fueron realizados con tablas interactivas en Excel® (MacOffice 2001, Microsoft).

Se probaron tres niveles de regresión para la tasa de infestación de los tubérculos: $(X_0) = \text{Función (1 parámetro climático)}$, $(X_0) = \text{Función (2 parámetros climáticos)}$ y $(X_0) = \text{Función (3 parámetros climáticos)}$.

Ejemplo: $(X_0 - M_0) = b_1 * (M_{.ra} - M_{M.ra}) + b_2 * (TMAX - m_{TMAX}) + b_3 * (RH12 - m_{RH12})$.

En cada M_0 , $m_{M.ra}$, m_{TMAX} y m_{RH12} son las medias respectivas de las variables estudiadas y de los tres parámetros considerados. Después de hacer los cálculos obtenemos la siguiente ecuación:

$$(1) X_0 = b_1 * M_{.ra} + b_2 * TMAX + b_3 * RH12 + a$$

con: $a = M_0 - (b_1 * m_{M.ra} + b_2 * m_{TMAX} + b_3 * m_{RH12})$

La ecuación (1) nos provee de valores esperados X'_0 o el valor real señalado como X_0 . Los binomios (X'_0, X_0) han sido calculados con coeficientes de correlación múltiples a través de la siguiente fórmula:

$$R_{\text{múltiple}} = 1 - \frac{(X_0 - X'_0)^2}{n * \sigma^2_{X_0}}$$

En donde:

X_0 : valor real de la tasa de infestación medida en campo o en bodega.

X'_0 : valor esperado de la tasa de infestación calculado con correlación múltiple.

Tabla 1.) Detalle de los parámetros climáticos considerados para los estudios poblacionales de *Tecia solanivora* en El Chamizo (provincia de Carchi, Ecuador) entre 2000–2001.

Lluvias	Temperatura	Humedad relativa
Valores promedios diarios calculados para el periodo de estudio	Valores promedios diarios calculados para el periodo de estudio	Valores promedios diarios calculados para el periodo de estudio
M.ra: Promedio diario de lluvias T.ra: Acumulado total de lluvias	TMAX: Temperatura máxima TMIN: Temperatura mínima THamp: Amplitud térmica MeTmp: Promedio temperatura TDía: Valor promedio aritmético de cuatro medidas diarias a las 6 y 12 p.m.	RH6: Humedad relativa a las 6 a.m. RH12: Humedad relativa a las 12 a.m. RH18: Humedad relativa a las 6 p.m. RH24: Humedad relativa a las 12 p.m. Dif.24/18: Diferencia diaria entre las RH18 y RH24 RHDía: Valor promedio aritmético de cuatro medidas: RH6, RH12, RH18 y RH24

RESULTADOS Y DISCUSIÓN
Tecia solanivora y el Microclima

Las acciones de los factores climáticos sobre las poblaciones de la plaga son complejas. La búsqueda de datos significativos entre las tasas de contaminación y los parámetros climáticos prácticamente no existen trabajando con regresiones de nivel 1. De 57 regresiones probadas, sólo cinco de ellas tienen significación a nivel del 5% (Tabla 2).

Las cinco regresiones simples (en negrillas) son todas negativas y también sólo están relacionadas con periodos climáticos ocurridos antes de la floración, en otras palabras, antes de que la población parental de *Tecia solanivora* llegue a los campos. Es decir, el clima anterior al periodo larval infestante es más importante que el que sucede mientras ellas se desarrollan en los tubérculos.

Las variaciones climáticas ocurridas durante los primeros dos y tres meses del inicio del cultivo, aparentemente pueden ser factores importantes para la determinación del desarrollo larval y corresponden al daño que se registró en la cosecha. Tres de los cinco factores observados en las regresiones simples están relacionados a -45 días y los otros dos corresponden a -60 días (Tabla 2).

La acción y la importancia de algunos parámetros climáticos varían mucho de un periodo a otro. Las variaciones de medias diarias de valores: TMAX (Temperatura máxima) y de THAmP (Amplitud térmica) por ejemplo, tienen valores positivos en relación con los daños del tubérculo, durante el periodo que va de la floración a la cosecha. Corresponden a una correlación simple pero positiva. Pero si se consideran en los periodos previos a la floración, la correlación es negativa. Es por esto que los incrementos de TMAX y THAmP medidos durante los 60 y 45 días antes de la floración, contribuyen a reducir la población de la plaga y por ende los daños en los tubérculos.

En el caso de THAmP podemos incluso observar que en un intervalo de tiempo antes de la floración se obtiene la mayor significación, entre el daño de tubérculo y este parámetro por los -45 y -60 días antes de la floración.

$R (X_0 = F \text{ THAmP ciclo real}) = 0.157$: no significativo,
$R (X_0 = F \text{ THAmP-30}) = -0.535$: no significativo,
$R (X_0 = F \text{ THAmP-45}) = -0.906$: altamente significativo,
$R (X_0 = F \text{ THAmP -60}) = -0.927$: altamente significativo.

TABLA 2.—Factores analizados en regresiones simples. Se pueden observar coeficientes de correlación significativos en los caracteres en negrillas.

9 ciclos estudiados Ciclo real		8 ciclos estudiados en los 30 y 45 días antes de la floración		7 ciclos estudiados en los 60 días antes de la floración	
Parámetro estudiado	Porcentajes de infestación	Parámetro estudiado	Porcentajes de infestación	Parámetro estudiado	Porcentajes de infestación
M.ra	-0.556	M.ra-30	-0.484	M.ra-60	-0.617
T.ra	-0.460	M.ra-45	-0.670	T.ra-60	-0.617
TMAX	0.279	T.ra-30	-0.484	TMAX-60	-0.864
TMIN	0.278	T.ra-45	-0.670	TMIN-60	0.328
MeTmp	0.367	TMAX-30	-0.503	MeTmp-60	0.335
THAmp	0.157	TMIN-30	0.467	THAmp-60	-0.927
RH6	-0.001	MeTmp-30	-0.396	RH6-60	-0.021
RH12	-0.109	THAmp-30	-0.535	RH12-60	-0.156
RH18	-0.321	TMAX-45	-0.628	RH18-60	0.259
RH24	-0.061	TMIN-45	0.213	RH4-60	-0.068
TpDia	-0.300	MeTmp-45	-0.3798	RHDia-60	0.035
Dif 24/18	-0.300	THAmp-45	-0.906	Dif24/18-60	0.471
DF = 8		RH6-30	-0.254	DF = 6	
R valor de significancia al 5%		RH12-30	-0.101	R valor de significancia al 5%	
R = 0.614		RH18-30	0.434	R = 0.707	
		RH24-30	-0.573		
		RHDia-30	-0.062	13 meses de estudio	
		Dif24/18-30	0.505		% daño
		RH6-45	-0.184	T.ra	-0.0411
		RH12-45	-0.344	TMAX	-0.0411
		RH18-45	-0.091	TMIN	0.170
		RH24-45	-0.387	THAmp	-0.035
		RHDia-45		RH24	-0.154
		DF = 7		RHDia	-0.109
		R valor de significancia al 5%		DF = 12	
		R = 0.667		R valor de significancia al 5%	
				R = 0.532	

DF (Degree of Freedom) = Grados de libertad.

Al contrario, algunos parámetros como TMIN (Temperatura mínima) nunca cambian sus acciones. En cualquier periodo que nosotros consideremos, ninguna reducción de TMIN va a reducir las tasas de infestación de los tubérculos. Esta correlación positiva también implica que si podemos encontrar los valores más bajos de TMIN, conoceremos los valores donde el crecimiento de la población de la plaga se detiene, tenemos entonces una noción de umbral de temperatura mínima cuando estudiamos las correlaciones simples.

Estos resultados demuestran que los fenómenos estudiados son complejos y las correlaciones simples no son suficientes para entender lo que está pasando. Mediante correlaciones múltiples tendremos la posibilidad de medir las relaciones que existen entre la plaga, los daños y el clima.

Relación Entre las Tasas de Infestación del Tubérculo y el Clima Existente Durante el Periodo de Floración a Cosecha

No podemos ignorar el clima que la larva encuentra durante la fase de infestación de los tubérculos en campo. Las variaciones de temperatura, humedad relativa y lluvia medidas durante este periodo, tienen acciones complejas en las poblaciones de la plaga. Sin embargo, sólo encontramos una regresión significativa al 5%.

$$X_0 = -1.104 - 0.0827 * M.ra + 0.0213 * RH12; R = 0.776 \text{ (significante al 5\%)}$$

Estos dos factores de correlación dan especial importancia a M.ra (Media diaria de lluvia). Con un coeficiente de 0.0827, este parámetro pesa cuatro veces más que otros que incluyen en la combinación a RH12. El signo negativo (-) asignado a M.ra, también muestra que todos los incrementos de lluvia ayudan a reducir la tasa de infestación de daño de tubérculos en el campo.

La combinación de los parámetros (M.ra, RH12) constituyen los resultados más significativos, cuando consideramos el clima que ocurre en el campo durante la infestación de la plaga en los tubérculos. Si añadimos al modelo anterior factores como THamp o TMIN, nos provee de una nueva correlación con tres factores que son significantes al 10% (Tabla 3).

En la Tabla 3, los valores de R (correspondencia múltiple) están señalados al igual que los porcentajes de variación explicados para probar correlaciones (cuadrado de R múltiple). Los resultados del ANOVA usado para probar la significancia en el estudio de correlación, son también indicados con los modelos detallados para regresiones.

TABLA 3.—Correlación múltiple existente entre el porcentaje de tubérculos dañados a la cosecha y algunos parámetros climáticos medidos durante el ciclo de infestación o durante los últimos 30, 45 y 60 días antes del inicio de la floración.

Periodo	R. múltiple	% exp.	Sign.	Modelos
Ciclo	0.778	60.5	No	$X_0 = -1.117 - 0.082 \cdot M.ra + 0.027 \cdot THAmp + 0.0221 \cdot RH12$
Ciclo	0.613	37.6	No	$X_0 = +0.573 - 0.0510 \cdot M.ra - 0.019 \cdot THAmp$
Ciclo	0.776	60.2	5%	$X_0 = -1.104 - 0.0827 \cdot M.ra + 0.0213 \cdot RH12$
Ciclo	0.715	51.1	No	$X_0 = 1.263 - 0.023 \cdot M.ra + 0.099 \cdot TMIN - 0.023 \cdot RH12$
Ciclo	0.562		No	$X_0 = +0.480 - 0.041 \cdot M.ra - 0.006 \cdot TMAX$
Ciclo	0.564		No	$X_0 = -0.056 - 0.043 \cdot M.ra + 0.006 \cdot RH18$
-30 días	0.857	73.4	5%	$X_0 = 3.11 - 0.053 \cdot M.ra(-30) + 0.063 \cdot TMIN(-30) - 0.0367 \cdot RH24(-30)$
-30 días	0.924	85.4	5%	$X_0 = 0.34 - 0.065 \cdot M.ra(-30) + 0.064 \cdot TMIN(-30) + 0.018 \cdot Dif24/18(-30)$
-30 días	0.771	59.4	10%	$X_0 = -0.155 - 0.0549 \cdot M.ra(-30) + 0.090 \cdot TMIN(-30)$
-30 días	0.993	87.0	1%	$X_0 = 1.278 - 0.0761 \cdot M.ra(-30) - 0.0499 \cdot TMAX(-30)$
-30 días	0.838		5%	$X_0 = -1.926 - 0.063 \cdot M.ra(-30) + 0.035 \cdot RH18(-30)$
-45 días	0.826	68.2	No	$X_0 = 0.476 - 0.070 \cdot M.ra(-45) + 0.051 \cdot TMIN(-45) - 0.0039 \cdot RH24(45)$
-45 días	0.818	66.9	5%	$X_0 = 0.121 - 0.073 \cdot M.ra(-45) + 0.0556 \cdot TMIN(-45)$
-45 días	0.857	73.3	5%	$X_0 = -1.102 - 0.1043 \cdot M.ra(-45) + 0.0243 \cdot RH18(-45)$
-45 días	0.892	79.6	5%	$X_0 = 1.499 - 0.055 \cdot M.ra(-45) - 0.067 \cdot TMAX(-45)$
-45 días	0.913	83.2	1%	$X_0 = -1.169 + 0.017 \cdot M.ra(-45) - 0.093 \cdot THAmp(-45)$
-45 días	0.803	64.4	10%	$X_0 = -0.063 - 0.049 \cdot M.ra(-45) + 0.038 \cdot TpDia(-45)$
-45 días	0.857	73.4	5%	$X_0 = -1.102 - 0.104 \cdot M.ra(-45) + 0.024 \cdot RH18(-45)$
-60 días	0.882	77.8	No	$X_0 = 2.435 - 0.285 \cdot M.ra(-60) - 0.157 \cdot TMAX(-45) + 0.046 \cdot RH18(60)$
-60 días	0.882	77.8	5%	$X_0 = 2.523 - 0.026 \cdot M.ra(-60) - 0.137 \cdot TMAX(-60)$
-60 días	0.889		5%	$X_0 = -1.351 - 0.120 \cdot M.ra(-60) + 0.028 \cdot RH18(-60)$
45/días	0.897	80.5	5%	$X_0 = -1.449 - 0.070 \cdot M.ra(-45) + 0.029 \cdot RH18(-30)$
30/días	0.607		No	$X_0 = -0.726 - 0.075 \cdot M.ra(-30) + 0.017 \cdot RH18(-45)$

*% exp. = porcentaje real de variación de daño de acuerdo a los estudios de correlación.

Sign. = Significancia de las pruebas de correlación medidas a través de ANOVA.

Relación Entre las Tasas de Infestación del Tubérculo y el Clima Existente en los Últimos 30, 45 y 60 Días Antes de la Floración

Las variaciones climáticas ocurridas en el campo antes del periodo de floración, son mucho más importantes en la determinación del daño del tubérculo. Hay muchos datos de correlaciones significativas con dos y tres parámetros en -30 y -45 días antes de la floración. Sin embargo, en el caso de -60 días antes de la floración, las correlaciones parecen debilitarse. Muchas de estas regresiones estudiadas con dos parámetros de correspondencia múltiples presentan frecuentemente valores de 0.85 o incluso mayores. Es demostrado en el caso de -45 días, donde las combinaciones de humedad relativa son los parámetros que contribuyen con mayor significación en los modelos (Tabla 3).

Es interesante saber que para realizar una efectiva infestación de tubérculos en campo, *Tecia solanivora* necesita de una primera población de adultos presente en el ambiente antes de la floración y una segunda población que es la encargada de infestar el cultivo.

Relación Entre las Tasas de Infestación del Tubérculo y las Capturas Mensuales de Adultos Durante los 13 Meses del Periodo de Estudio

Las fuertes correlaciones existentes entre el clima de las primeras fases del cultivo y el daño ocurrido más tarde en los tubérculos, denotan la importancia de la población de adultos en la determinación del primer paso de la contaminación en campo.

Al estudiar regresiones de un factor, hemos encontrado valores altos de significación positivas entre las capturas mensuales de machos con trampas de feromonas y el daño acumulado que ha sido medido durante el mismo periodo del mes. La R correspondiente es casi 1 ($R = 0.902$) (Tabla 4). El incremento de las capturas de machos en las trampas de feromonas resulta en el incremento del porcentaje de tubérculos dañados en la cosecha. Además, las capturas mensuales de adultos son fuertemente dependientes de las variaciones climáticas medidas durante el vuelo de los mismos.

TABLA 4.—Correlación simple entre las capturas mensuales de machos y la tasa de infestación mensual de tubérculos medidos durante el mismo periodo de tiempo, durante 13 meses.

Periodo	Simple R	% exp	F calculado	Ftab 5/1000	Significancia
Captura	0.902	81.3	47.82	12.23	a 1/1000
Modelo	$X0$ (número de de adultos) = $-284.9 + 0.01795 * (\% \text{ daño de tubérculos})$				

La mejor regresión encontrada es de tres factores y está combinada en el mismo modelo: T.ra con dos valores mensuales: TMAX diaria y RH12.

$X_0 = -35964 - 134.2 * T.ra - 38.26 * TMAX + 86.68 * RH12$; $R = 0.802$ (significante al 5%)

X_0 = capturas mensuales de machos medidas para los 13 meses del periodo de estudio.

Sin embargo, ¿qué pasa si consideramos la variación climática en los 30 y 60 días antes del periodo de vuelo? En el caso de los -30 días todas las relaciones desaparecen. Las cinco regresiones probadas pierden totalmente la significación. En contraste, si probamos -60 días todas las correlaciones estudiadas son significativas otra vez, pero en este tiempo sólo al nivel del 10% (Tabla 5).

Posiblemente, la correlación a -60 días antes de la floración está relacionada con los padres de los machos y hembras que irán a los campos a empezar la infestación. Es razonable pensar que la infestación de los tubérculos en el campo es un reflejo de las complejas acciones del clima en dos niveles: en los adultos que inician el periodo de infestación así como los dos meses antes, en los padres de éstos.

En la Tabla 5 los valores de R (correspondencia múltiple) son dados al igual que los porcentajes de variación calculados con la correlación (cuadrado múltiple de R). Los resultados del ANOVA son usados para calcular la significancia de los estudios de correlación que son indicados con detalle en los modelos de regresión.

TABLA 5.—Algunas correlaciones múltiples entre las capturas mensuales de machos de *Tecia solanivora* en trampas de feromonas y los parámetros climáticos calculados para el mes de trapeo (vuelos de los adultos) en El Chamizo (provincia de Carchi, Ecuador) entre 2000—2001.

Periodo	R. múltiple	% exp.	Sign.	Modelos
Vuelo	0.802	64.3	5%	$X_0 = -3596.4 - 134.2 \cdot T.ra - 38.26 \cdot TMAX + 86.68 \cdot RH12$
Vuelo	0.760	57.8	5%	$X_0 = -8141.8 - 112.1 \cdot T.ra - 80.56 \cdot TMAX + 139.24 \cdot RHDia$
Vuelo	0.723	52.3	5%	$X_0 = +3218.11 - 86.13 \cdot T.ra - 122.54 \cdot TMAX$
Vuelo	0.795	63.2	5%	$X_0 = -5381.8 - 139.46 \cdot T.ra + 99.91 \cdot RH12$
Vuelo	0.673	45.3	5%	$X_0 = -839.97 - 61.31 \cdot T.ra + 297.2 \cdot TMIN$
-30 días	0.471	22.2	No	$X_0 = +4855.82 - 31.71 \cdot T.ra - 98.08 \cdot TMAX - 34.03 \cdot RH12$
-30 días	0.454	20.6	No	$X_0 = +3076.2 - 50.20 \cdot T.ra - 70.69 \cdot TMAX - 11.63 \cdot RHDia$
-30 días	0.453	26.7	No	$X_0 = +2130.27 - 52.39 \cdot T.ra - 67.31 \cdot TMAX$
-30 días	0.379	14.3	No	$X_0 = -96.51 - 49.99 \cdot T.ra + 16.11 \cdot RH12$
-30 días	0.375	14.0	No	$X_0 = +635.84 - 37.39 \cdot T.ra + 46.93 \cdot TMIN$
-60 días	0.810	65.6	5%	$X_0 = -1342.7 - 103.68 \cdot T.ra + 9.110 \cdot TMAX + 38.04 \cdot RH12$
-60 días	0.678	46.0	No	$X_0 = +1045.9 - 73.36 \cdot T.ra - 19.99 \cdot TMAX + 7.35 \cdot RHDia$
-60 días	0.678	46.0	10%	$X_0 = +1640.37 - 71.85 \cdot T.ra - 21.97 \cdot TMAX$
-60 días	0.795	63.2	10%	$X_0 = -491.87 - 91.88 \cdot T.ra + 27.67 \cdot RH12$
-60 días	0.676	45.8	10%	$X_0 = +870.28 - 67.98 \cdot T.ra + 60.37 \cdot TMIN$

% exp. = porcentaje real de variación de daño de acuerdo a los estudios de correlación.

Sign. = Significancia de las pruebas de correlación medidas a través de ANOVA.

Significación y Acción de los Parámetros Climáticos para Varios Periodos de Estudio

Dependiendo del periodo de estudio, la significación de los parámetros climáticos varía mucho. Los coeficientes que son afectados por parámetros climáticos envueltos en modelos de regresión determinan los roles de ese parámetro, en la determinación de la variable X_0 . Dependiendo del signo de estos coeficientes, los parámetros pueden ser positivos o negativos en la variación de X_0 . Los valores absolutos del coeficiente determinan la importancia en la relación del parámetro climático en el modelo general.

Si se consideran las siguientes combinaciones de parámetros (M.ra y TMAX) y (M.ra y RH18). El binomio (M.ra, RH18) muestra que estos parámetros climáticos siempre trabajan en direcciones opuestas (Tabla 6).

Exceptuando las regresiones encontradas en la bodega, los coeficientes de estos parámetros son negativos para M.ra y positivos para RH18. El resultado de un incremento de la humedad relativa cerca de las 6 p.m. puede incrementar el daño. Las correlaciones fuertes observadas en el caso de -30 y -45 muestran una vez más que la población inicial de adultos juega el rol más importante, para la determinación del daño en los tubérculos a la cosecha.

Al contrario, los parámetros M.ra y TMAX trabajan en la misma dirección. En todos los modelos estudiados, los coeficientes de estos parámetros siempre son negativos (Tabla 6). Si hay un incremento en la media de la temperatura diaria, o de la lluvia, o de las dos juntas, habrá un decrecimiento de la actividad de los adultos y por consiguiente, menor daño a los tubérculos. En contraposición, una reducción de uno de estos parámetros facilitará el desarrollo de la población de adultos y aumentará la infestación de los tubérculos. Los efectos negativos de TMAX tienen que ser comparados con los TMIN, donde cada uno tiene una acción contraria para X_0 . Estas observaciones demuestran la existencia de un valor límite de temperatura de los dos, TMAX y TMIN en el cual, el vuelo de adultos y el daño de los tubérculos no es posible.

Se ha observado en otros estudios, que el valor promedio de temperatura menor a 10°C combinado con lluvias regulares, puede ser efectivo para reducir las poblaciones de *Tecia solanivora*. Esto es muy probable que ocurra en algunas regiones del Ecuador que están libres de *T. solanivora*. En regiones superiores a los 3 500 msnm donde se cultiva papa es fácil encontrar plantaciones que escapan a los ataques de la plaga. Altas temperaturas pueden tener también efectos negativos en la población del insecto, mientras que estudios en laboratorio han determinado que 15°C es la temperatura óptima para la plaga (Notz, 1995). A temperaturas altas, se incrementa el número de generaciones por año, pero también la mortalidad de adultos y larvas.

Los valores de temperatura dan también a *Tecia solanivora* la potencialidad de infestar las áreas paperas de Europa. La EPPO (European Phytosanitary Protection Organization) ha preparado un análisis de riesgo de la plaga.

Considerando el daño que ha sido reportado en países de Sudamérica, la secretaría de la EPPO ha decidido añadirla a la lista de alerta. Esto ocurrió en junio del 2001 (EPPO, 2001). Desde la adición de la plaga a la lista de alerta, *Tecia solanivora* ha sido reportada en el 2001 en Tenerife (Islas Canarias, España).

Perspectivas para el Futuro

Si bien hay actividades importantes desarrolladas por investigadores y técnicos nacionales y extranjeros es muy alentador anotar que, desde hace algunos años, la cooperación interinstitucional es la mejor forma de realizar proyectos que intenten frenar el avance de *Tecia solanivora*. Así, por ejemplo, el convenio de investigación entre la PUCE y el IRD, ha permitido que desde el 2000 se realicen estudios de dinámica poblacional y controladores naturales en la provincia del Carchi, lugar en donde hay cerca del 40% de la producción de papa y donde los problemas de polilla son más evidentes.

Con nuestros estudios se logró determinar correlaciones fuertes entre los parámetros climáticos y los daños de polilla. También se evidenció una presencia casi nula de controladores biológicos en las parcelas de investigación.

Actualmente, estas instituciones han unido sus esfuerzos y trabajan en conjunto en proyectos del PROMSA (Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios), iniciativas auspiciadas por el SESA y la elaboración de un proyecto que abarque a varios países afectados por esta plaga y que es coordinado por el CIP.

TABLA 6.—Acción sobre los tubérculos dañados para dos combinaciones de parámetros (M.ra, TMAX) y (M.ra, RH18), que vienen de diferentes periodos climáticos.

Periodo	R. múltiple	% exp.	Sign.	Modelos de regresión
Bodega	0.422	18.2	No	$X_0 = +0.996 - 0.014 \cdot M.ra - 0.011 \cdot TMAX$
Bodega	0.304	9.2	No	$X_0 = +1.333 + 0.005 \cdot M.ra - 0.008 \cdot RH18$
Ciclo	0.562	31.6	No	$X_0 = +0.480 - 0.041 \cdot M.ra - 0.006 \cdot TMAX$
Ciclo	0.564	31.8	No	$X_0 = -0.056 - 0.043 \cdot M.ra + 0.006 \cdot RH18$
-30 días	0.993	87.0	1%	$X_0 = 1.278 - 0.0761 \cdot M.ra(-30) - 0.0499 \cdot TMAX(-30)$
-30 días	0.838	70.2	5%	$X_0 = -1.926 - 0.063 \cdot M.ra(-30) + 0.035 \cdot RH18(-30)$
-45 días	0.892	79.6	5%	$X_0 = 1.499 - 0.055 \cdot M.ra(-45) - 0.067 \cdot TMAX(-45)$
-45 días	0.857	73.4	5%	$X_0 = -1.102 - 0.104 \cdot M.ra(-45) + 0.024 \cdot RH18(-45)$
-60 días	0.882	77.8	5%	$X_0 = +2.523 - 0.026 \cdot M.ra(-60) - 0.137 \cdot TMAX(-60)$
-60 días	0.889	70.0	5%	$X_0 = -1.351 - 0.120 \cdot M.ra(-60) + 0.028 \cdot RH18(-60)$
45/días	0.897	80.5	5%	$X_0 = -1.449 - 0.070 \cdot M.ra(-45) + 0.029 \cdot RH18(-30)$
30/días	0.607	36.8	No	$X_0 = -0.726 - 0.075 \cdot M.ra(-30) + 0.017 \cdot RH18(-45)$

% exp. = porcentaje real de variación de daño de acuerdo a los estudios de correlación

Sign. = Significancia de las pruebas de correlación medidas a través de ANOVA.

LITERATURA CITADA

- BARRAGÁN, A. R., A. POLLET, G. ONORE, I. AVEIGA, J. M. PRADO, P. D. GALLEGOS, Y C. RUIZ. 2000. Distribución de la polilla guatemalteca en el Ecuador. Pg 105 *En* A. Mafla, L. A. Coloma, C. Quintana, y V. Rafael (Eds.), Memorias de las XXIV Jornadas Ecuatorianas de Biología. PUCE, Quito, Ecuador.
- DURÁN, O. 2001. La polilla guatemalteca de la papa y su manejo. Plagas y enfermedades de la papa. Boletín de Sanidad Vegetal. ICA, Caldas, Colombia.
- EL COMERCIO. 2001. 25 000 hectáreas de papas no cosechadas en Carchi. Sección B. Nota de prensa de Agromar. 3 de agosto. El comercio, Quito, Ecuador.
- EPP0. 2001. *Tecia solanivora*. EUROPEAN PHYTOSANITARY PROTECTION ORGANIZATION [en línea]. <<http://www.eppo.org/Quarentine/AlertList/Insects/scrso.html>> [consulta: marzo del 2001].
- INAMHI. 2000. Informe meteorológico. No publicado. Estación San Gabriel, Carchi, Ecuador.
- INIAP. 1997. La polilla de la papa *Tecia solanivora* (Povolny). Pg. 14. *En* FORTIPAPA-INIAP (Eds.), del I Taller Internacional “Manejo integrado de *Tecia solanivora*.” Julio 31–agosto 4. INIAP-CIP, Ibarra, Ecuador.
- IRD. 2000. La teigne du Guatemala ravage la pomme de terre en Equateur. Fiche scientifique. IRD 120:1–3.
- MURILLO, R. 1981. La polilla de la papa (*Scrobipalopsis solanivora* Povolny). Ministerio de Agricultura y Ganadería. Boletín técnico 69:12.
- NOTZ, A. 1995. Influencia de la temperatura sobre la biología de *Tecia solanivora* (Povolny) (Lepidoptera: Gelechiidae), criadas en tubérculos de papa *Solanum tuberosum* L. Boletín de Entomología Venezolana 11(1):49–54.
- POLLET, A., Y NASRULLAH. 1994. Statistical Tests and Biological Sciences. Co-founded by IRD (ORSTOM DIST), French Foreign Secretary, French Embassy in Jakarta, Indonesia. Planning Ministry of Indonesia. Ed. Gadjah Mada University Press (GMUP), Jakarta, Indonesia.

- POLLET, A., A. R. BARRAGÁN, C. RUIZ, G. ONORE, I. AVEIGA, Y J. M. PRADO. 2002. La teigne du Guatemala (*Tecia solanivora*), un nouveau ravageur redoutable pour toutes les zones de production de pommes de terre de l'Amérique du Sud. Insectes 124(1):23 -27.
- POVOLNY, D. 1973. *Scrobipalopsis solanivora* sp.n.-a new pest of potato (*Solanum tuberosum*) from Central america. Acta Universitatis Agriculturae, facultas Agronomica, Brno 21:133 -146.
- RUIZ, C. 2001. Aislamiento y caracterización de un baculovirus aislado de la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora*) para su posterior uso como pesticida biológico. Tesis de Ciencias Biológicas, PUCE, Quito, Ecuador.
- SALAZAR, J., Y W. ESCALANTE. 1984. La polilla guatemalteca de la papa, *Scrobipalopsis solanivora*, nueva plaga del cultivo de la papa en Venezuela Compendio de los trabajos presentados en las XI Jornadas agronómicas. Sociedad Venezolana de Ingenieros Agrónomos 9:24–28.
- SANINET. 2000. La polilla *Tecia solanivora* ha sido introducida en las Islas Canarias, España. Notas de prensa de Sanidad vegetal. [en línea]. <<http://www.iicasaninet.net/noticias/2000/nov/12-18/españa.html>> [consulta: junio del 2001].
- STELL, R. G. D., Y J. H. TORRIE. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. Ed. Mc.Graw-Hill Ltda., Tokyo, Japón.