

# Energía solar para combatir los nematodos parásitos de la patata

PALABRAS CLAVE:  
bioecología,  
*Globodera*,  
caracterización  
patogénica,  
nematodo dorado  
de la patata,  
solarización

Zoólogos de la UIB ensayan técnicas de solarización en una finca experimental de Esplet-SAT en sa Pobla. El abandono del cultivo intensivo de la patata y su sustitución por una sola siembra de variedad temprana para exportación se demuestran efectivos para detener la plaga

KEYWORDS:  
bioecology,  
*Globodera*,  
pathogenic  
characterization,  
potato golden  
nematode,  
solarization



## Introducción

Aunque el cultivo de la patata es uno de los más importantes en Baleares, tanto por la mano de obra que ocupa como por el rendimiento económico que se obtiene de él, hasta hace muy poco nadie se había ocupado del estudio en Mallorca de un organismo que acompaña desde tiempos inmemoriales a la patata: los nemátodos fitoparásitos del género *Globodera*.

El conocimiento preciso de los ciclos biológicos de estos animales asociados a sus plantas huéspedes es de vital importancia si pensamos que las pérdidas de cosechas anuales debido a su acción es en todo el mundo de 100 billones de dólares, es decir cerca de un 11% de la producción total.

Sin conocer las características biológicas del parásito en relación al ritmo de cosechas en un territorio dado, en relación al clima y también al tipo de cultivo, es imposible diseñar estrategias de control y sobre todo, ensayar métodos alternativos a los agroquímicos usados tradicionalmente.

Entre los años 1999 y 2002 la producción de patata en Baleares se situó en torno a las 79.150 toneladas. Su cultivo ocupa en la actualidad unas 3.100 hectáreas. La mayor parte de la producción se destina principalmente a la exportación, si bien en algunos casos se mantiene todavía una segunda cosecha, en verano, destinada principalmente al mercado interior.

*A la izquierda finca experimental de Esplet-SAT. A la derecha, un nematodo del genero Globodera. En este caso un juvenil emergiendo del huevo.*

Efectos de la invasión de nemátodos parásitos de las raíces de la planta de la patata. El área que aparece en el centro de la imagen no había sido tratada con nematocidas.



El cultivo intensivo de la patata, con dos cosechas al año, ha incrementado la aparición de plagas y patologías de muy variado origen, lo que ha obligado a aumentar la cantidad de agroquímicos utilizados para su control. En el caso de los nemátodos suele utilizarse dicloropropeno (DD y Telone) o bien el metam sodio (Arapam).

### **Aunque su presencia era conocida, hasta ahora no se había abordado un estudio integral de estos patógenos**

El cada vez más elevado nivel de exigencia de los consumidores europeos que reciben la patata de importación procedente de Baleares y que la exigen libre de productos agroquímicos y la propia estructura geológica del pla de Sa Pobla, con importantes acuíferos en su subsuelo que afloran en el Parc Natural de S'Albufera, fueron las principales razones que impulsaron un proyecto de investigación con el objetivo de conocer qué especies de *Globodera* existen en Baleares, cuál es su ciclo biológico y con qué medios no agresivos pueden ser combatidas. Así, el proyecto surgió cuando la sociedad agraria de transformación Esplet-SAT contactó con el Laboratorio de Zoología de la UIB con el fin de buscar alternativas para controlar el patógeno y poder reducir la cantidad de agroquímicos utilizados.

Este tipo de estudios escaseaban en el archipiélago. Dos trabajos realizados en la década de los noventa confirmaron la presencia de quistes viables de *Globodera* en tierras cultivadas de sa Pobla. Sin embargo, no se había abordado hasta ahora un estudio integral de estos patógenos.

El proyecto de investigación, bajo el título de *Estudio bioecológico, incidencia y caracterización del nematodo dorado de la patata (Globodera sp) en las Islas Baleares. Estrategias de control integrado*, ha sido financiado por el Ministerio de Agricultura, a través del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA). Su investigadora responsable es la doctora Aina Alemany, profesora de Zoología de la UIB. Miembros del Laboratorio de Zoología de esta universidad y del Centro de Ciencias Medioambientales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas en Madrid llevan a cabo las investigaciones que cuentan con la colaboración de la Sociedad Agraria de Transformación Esplet de sa Pobla y de la Conselleria d'Agricultura i Pesca del Govern de les Illes Balears.

### **Biología e incidencia de *Globodera* en la comarca de sa Pobla**

La bióloga Raquel Alonso, que actualmente realiza su

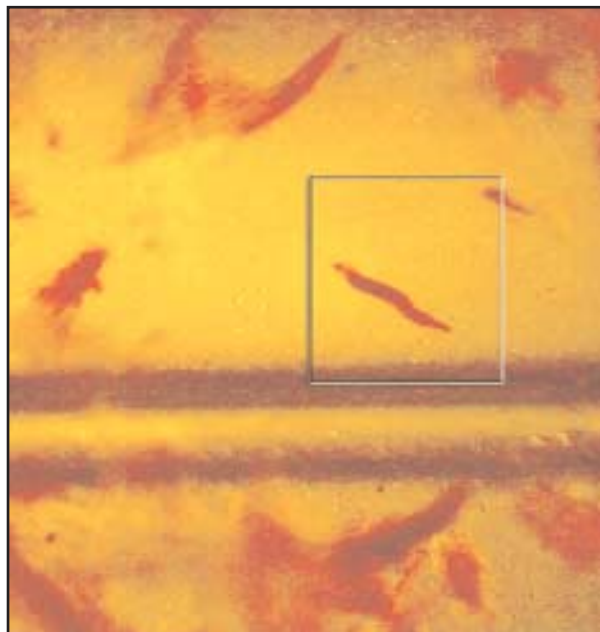
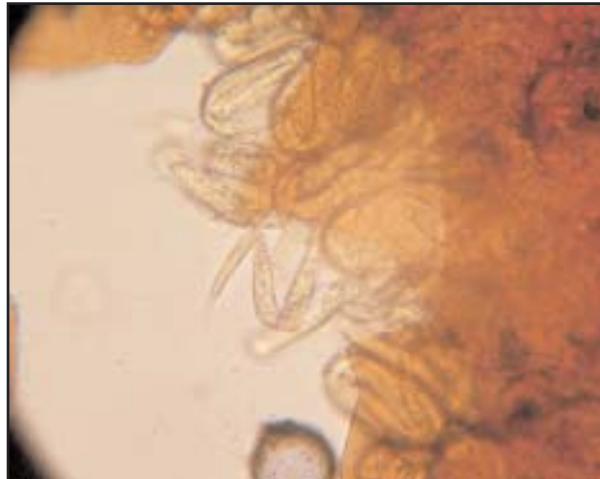
tesis doctoral en el Laboratorio de Zoología de la UIB, becada por el INIA, ha sido la encargada de llevar a cabo el proyecto bajo la supervisión de la doctora Alemany. Raquel Alonso mantiene su centro de operaciones en la Sociedad Agraria de Transformación Esplet, en cuyo laboratorio se han procesado, y procesan todavía, todas las muestras de tierra que han servido para acometer las distintas fases del proyecto:

- 1) Un estudio sobre la distribución e incidencia de los nemátodos parásitos de la patata en toda la comarca de sa Pobra, mediante el muestreo sistemático de la mayor parte de las fincas en las que se cultiva el tubérculo y su seguimiento a lo largo del tiempo.
- 2) El establecimiento del ciclo biológico de *Globodera* en las variedades de patata susceptibles de infestación y cultivadas en sa Pobra: Marfona y Maris Peer
- 3) El análisis de las adaptaciones de los nemátodos a las condiciones ambientales y a las prácticas culturales de la zona de estudio.
- 4) El ensayo de estrategias para combatir la población de nemátodos que permitan disminuir considerablemente el volumen de nematicidas químicos utilizados en su control.
- 5) El establecimiento, mediante técnicas de análisis molecular, del origen de las poblaciones de nemátodos existentes en la comarca de sa Pobra.

En este sentido, la participación de Esplet-SAT en el proyecto ha sido esencial, puesto que se ha tenido que elaborar una exhaustiva base de datos con las parcelas y productores adscritos a la sociedad agraria de transformación.

### ¿Cómo es un nematodo?

Los nematodos son animales de simetría bilateral, suelen ser fusiformes, cilíndricos y afilados en sus extremos, sin diferencia sexual externa. No obstante en los casos de los nematodos formadores de quistes, como es el de *Globodera*, las hembras si bien al principio son fusiformes, al madurar sexualmente



*En la imagen superior pueden observarse quistes de Globodera. La imagen del centro corresponde al interior de un quiste en el que pueden observarse los huevos. En la imagen inferior, obtenida en el interior de una raíz, se observan nematodos en estadio juvenil.*



adoptan formas casi esféricas. Su tamaño normalmente es muy pequeño, de uno o pocos milímetros. Su cuerpo es semitransparente y está recubierto por una cutícula que presenta una serie de estriaciones y que muda a lo largo de las sucesivas etapas juveniles de su desarrollo.

El sistema digestivo es muy simple: consiste en un tubo hueco que se extiende desde la cavidad bucal a través del esófago, intestino y recto, hasta el ano. El nematodo se mueve gracias a cuatro bandas de músculos que se disponen longitudinalmente a lo largo de su cuerpo.

En la cavidad bucal, los nematodos parásitos de plantas están dotados de un estilete, una especie de aguja hueca que el animal introduce en los tejidos vegetales. A través de este estilete, el nematodo inyecta en los tejidos vegetales secreciones de sus glándulas esofágicas con el objeto de digerir las

células de las plantas. Después, cuando éstas ya han sido predigeridas el nematodo reabsorbe el contenido celular a través del estilete.

Los nematodos existentes en la comarca de sa Pobra, asociados al cultivo de la patata, corresponden a dos especies de un mismo género, el género *Globodera*, que se caracteriza, entre otras cosas, porque sus hembras forman quistes y presentan un cuerpo muy esférico. El género tiene al menos 12 especies en todo el mundo. De estas, las dos existentes en sa Pobra, *G. rostochiensis* y *G. pallida*, son las que provocan un mayor perjuicio económico en todo el mundo. *G. rostochiensis* ha sido citada por primera vez en Baleares por los investigadores participantes en este proyecto.

Raquel Alonso, investigadora del Laboratorio de Zoología de la UIB tiene su centro de operaciones en la empresa Esplet-SAT de sa Pobra donde realiza el estudio sobre la incidencia de los nematodos parásitos en la comarca.



### El ciclo biológico en dos variedades de patata

Los investigadores realizaron un estudio sobre el ciclo biológico de *Globodera* sobre las dos variedades de patata más utilizadas en la comarca, Marfona y Maris Peer. Marfona es la variedad más tardía. Se siembra entre enero y febrero y se recoge entre mayo y junio. Es una patata de tubérculos grandes.

Maris Peer es una variedad temprana. Se siembra entre noviembre y diciembre y se recoge entre marzo y abril. Cuando se recogen los tubérculos, pequeños y todavía sin piel, la planta todavía no ha concluido su ciclo vital.

El ciclo del parásito formador de quistes consta de cinco estadios separados por cuatro mudas a lo largo de su desarrollo. Cuatro de los estadios son juveniles y el último, después de la cuarta muda, ya es adulto (figura 1).

1.- Los quistes se originan a partir de hembras fecundadas que al morir quedan protegidas por una cutícula exterior. Estos quistes se encuentran libres en el suelo y portan en su interior entre 200 y 600 huevos. En el interior del quiste, los nematodos se pueden desarrollar hasta el segundo estadio juvenil. Cuando cerca de los quistes se desarrolla una planta hospedadora, una patatera, sus raíces mediante sus exudados provocan la eclosión del quiste. Para que

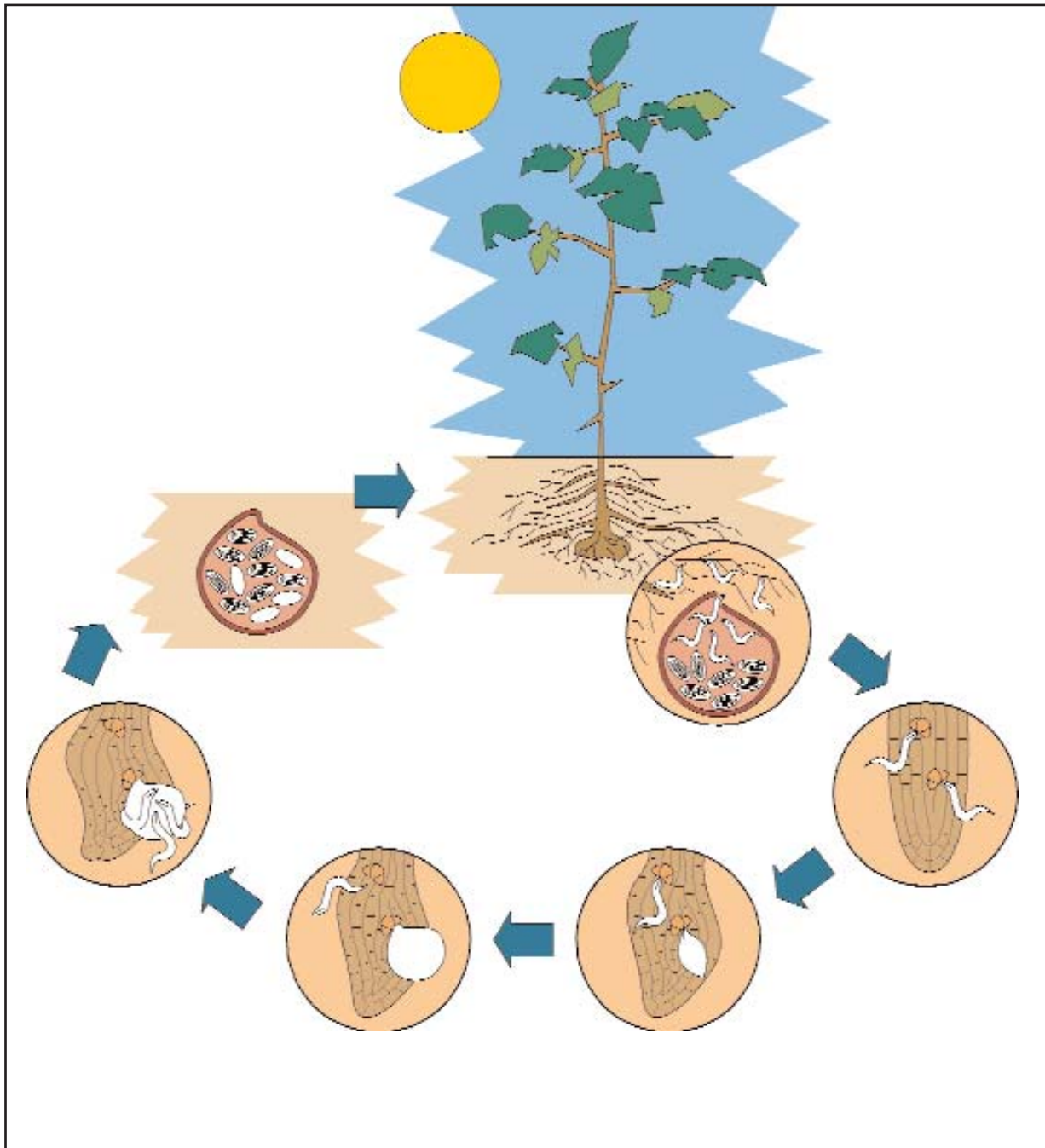


Figura 1. El ciclo vital de un nematodo parásito formador de quistes, según una ilustración de Arantxa Gallego.

esto ocurra bastan cinco minutos de contacto del quiste con el exudado de la raíz, siempre que la tierra este húmeda.

Cuando los juveniles han salido del quiste se dirigen hacia las raíces. La eclosión es más rápida en *G. rostochiensis* y más lenta en *G. pallida*.

2- Los juveniles alcanzan la raíz principal de la planta o bien se introducen en una raíz secundaria. Se

introducen en ellas gracias a la acción del estilete y su musculatura longitudinal. Una vez dentro de la raíz alcanzan el cilindro vascular y empiezan a alimentarse. En esta fase, mudan a los estadios tres y cuatro y llegan a la forma adulta.

3. Los machos son vermiformes, de un milímetro de longitud. Su única misión en esta fase es buscar hembras para aparearse. Éstas, esféricas, aumentan de tamaño y sus óvulos maduran. Entonces rompen la

corteza de la raíz y parte de su cuerpo sale al exterior pero manteniendo su cabeza en el interior para poder alimentarse.

4. Los machos son atraídos por las hembras y ambos se aparean. Un macho puede fecundar varias hembras y una hembra ser fecundada por varios machos.

5. Los huevos se desarrollan en el interior de la hembra hasta que ésta se enquistas y se desprende de la raíz.

En cada cultivo se completa un ciclo de vida (unos 90 días en zonas templadas) paralelamente al ciclo vital de la planta.

Los investigadores observaron diferencias capitales entre los ciclos en la variedad Marfona y en la variedad Maris Peer. En la primera, una variedad de ciclo lento, el patógeno se desarrolla más "cómodamente" en el sentido de que las sucesivas etapas de su ciclo vital se complementan con el desarrollo de la planta. En cambio en la variedad de ciclo corto, Maris Peer, el nematodo parece cerrar sus distintas etapas apresuradamente.

Para los investigadores, la variedad Maris Peer, actúa como un cultivo trampa y no permite que el ciclo del nematodo concluya. Como consecuencia de ello se ha

observado una menor presencia de quistes en raíces, es decir una menor reserva de inóculo para la siguiente generación, aunque los datos obtenidos se encuentran todavía en proceso de estudio.

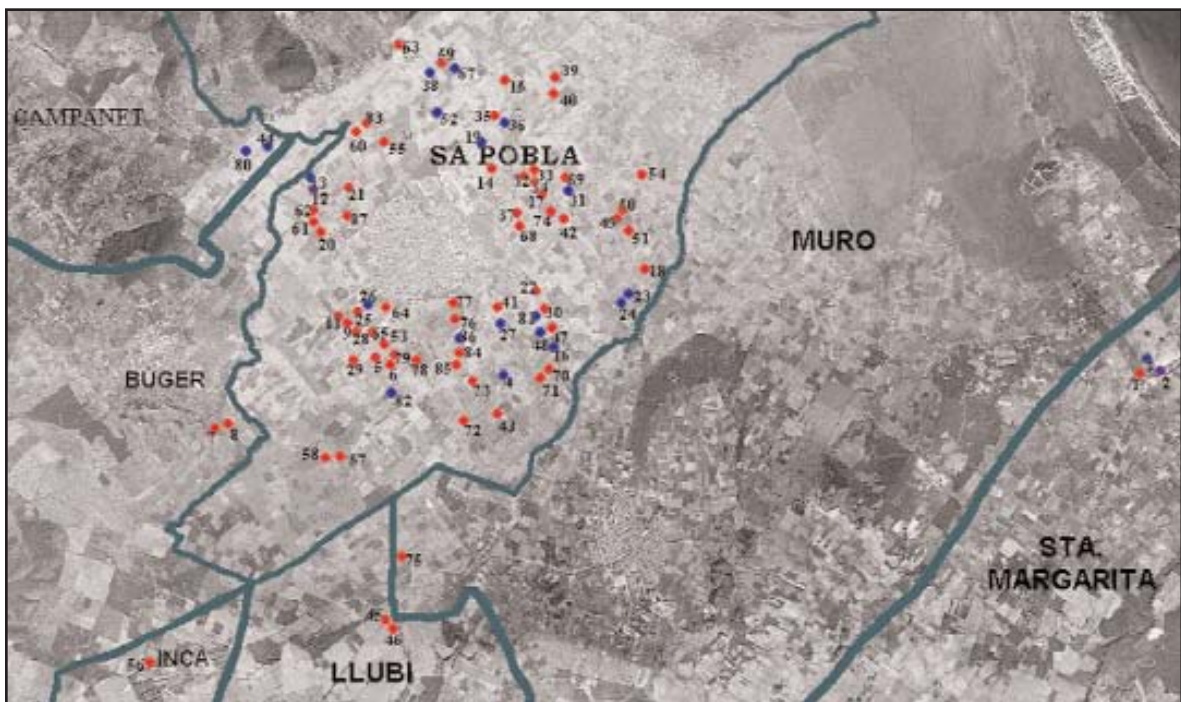
#### La incidencia de *Globodera* en sa Pobla

Los investigadores de la UIB realizaron un muestreo preliminar durante cuatro años, entre 1999 y 2002, analizando anualmente un mínimo de 25 parcelas. Por lo tanto, a lo largo de esos años se analizó la tierra de un total de 87 parcelas. En 17 casos se realizó un muestreo anual con el objetivo de controlar la evolución de la población del parásito, y su relación con el cultivo de distintas variedades de patata y también el efecto de la rotación de cultivos.

De todas las parcelas analizadas sólo en un 25% no se detectó infestación (27 de las 87 parcelas). Según los investigadores puede afirmarse que la infestación en la comarca es continuada, debido a que cada agricultor posee varias parcelas para las que utiliza la misma maquinaria que al llevar adherida tierra se convierte en un elemento clave de dispersión de los quistes.

Según Raquel Alonso, "las parcelas en las que no se

Distribución de *Globodera* sp. en la comarca de sa Pobla. En azul, parcelas libres de nematodos. En rojo, parcelas infestadas.







	1999	2000	2001	2002
<b>Parcelas infestadas</b>	<b>83%</b>	<b>76%</b>	<b>65%</b>	<b>60%</b>
<b>Más de 0,3 quistes viables por gramo</b>	<b>36%</b>	<b>20%</b>	<b>4%</b>	<b>0%</b>

Tabla 1.  
Porcentajes de parcelas infestadas y parcelas por encima del umbral de daño.

detectó el nematodo corresponden a tierras en las que hace pocos años que se cultiva patata con lo que todavía no han tenido tiempo de infestarse”.

Para medir el nivel de daño de las infestaciones en los cultivos se midió la desviación respecto a una constante de 0,3 quistes viables por gramo de tierra que es llamada umbral de daño.

En 1999, 16 parcelas sobrepasaron el umbral de daño. En 2000 fueron siete. En el primer año, se detectaron en algunas parcelas niveles muy elevados de infestación de hasta 1,7 quistes viables por gramo de tierra. Sin embargo en los dos años siguientes los niveles de infestación descendieron y también el porcentaje de parcelas que sobrepasaban el umbral de daño. En la tabla I pueden observarse los porcentajes para ambos parámetros y según los años.

### **Un seguimiento realizado sobre 87 parcelas en la comarca de sa Pobla ha detectado un descenso en el nivel de infestación en los últimos cuatro años**

Así pues, durante cuatro años de muestreo el nivel de infestación descendió un 20%, un descenso que los investigadores atribuyen a dos factores esenciales. En primer lugar, el cultivo de la patata ha dejado de realizarse de forma intensiva en estas parcelas, de modo que tan solo se hace un cultivo anual. En segundo lugar, durante estos cuatro años se han sustituido progresivamente algunas variedades por la Maris Peer cuyo cultivo es más rentable dada su

facilidad de exportación.

En cambio, los investigadores consideran que el descenso de las poblaciones de nematodos no guarda relación directa con los tratamientos químicos. Estos sí influyen, en cambio, para mantener las poblaciones controladas cuando los niveles de infestación son muy elevados.

Estos resultados coinciden con el estudio que se está realizando en 17 parcelas, del que ya se han obtenido resultados durante cuatro años consecutivos. Los investigadores consideran que a los dos factores antes mencionados cabe añadir un tercero de gran importancia: la optimización de los cultivos que se ha registrado en la comarca en los últimos años, con el cumplimiento de un calendario muy preciso de las labores y de los tratamientos.

Según Raquel Alonso, "Globodera se encuentra ampliamente distribuida por toda la comarca, si bien la incidencia de *G. pallida* es mayor que la de *G. rostochiensis*".

Puesto que la identificación de los nematodos es compleja, en el proyecto está prevista la caracterización de ambas poblaciones mediante el estudio morfológico y morfométrico, además de las utilización de técnicas moleculares, como se comentará más adelante

### **La solarización, un método no agresivo para combatir la plaga**

La sustitución de variedades por la que ahora

*Lámina de plástico colocada sobre el terreno en la finca experimental de la empresa Esplet-SAT donde se realizan los experimentos.*



predominantemente se cultiva en sa Pobra, Maris Peer, y el hecho de que tan sólo se realice un cultivo y no dos como antes, ha provocado un positivo descenso de la población de fitoparásitos. Raquel Alonso advierte, sin embargo, que "no hay que confiarse. Los nematodos fitoparásitos poseen una elevada capacidad de adaptación por lo que se hace indispensable ensayar métodos que permitan un control de la población".

Es muy probable, indica Raquel Alonso, "que el hecho de dejar la tierra sin regar durante el verano, al no hacer ese segundo cultivo de patata, con el subsiguiente incremento de las temperaturas sea un factor esencial en ese descenso poblacional". Cabe decir que se está investigando el rango de temperaturas que resultan letales en en las condiciones ambientales de Baleares. Los primeros datos obtenidos muestran temperaturas de unos 40 grados Celsius a 10 cm de profundidad, pero depende también del tiempo de exposición.

Uno de los métodos ensayados y cuyos primeros resultados pueden considerarse positivos es la solarización que se basa en combatir las poblaciones de fitoparásitos mediante un incremento de la

temperatura utilizando la energía solar. La solarización había sido ensayada con éxito en otros cultivos como la fresa e incluso con patata en explotaciones de la Península Ibérica.

El sistema se basa en la colocación de láminas de plástico transparente sobre la tierra para conseguir un efecto invernadero en la interfase tierra-aire. Para conseguirlo, los bordes de la lámina de plástico deben estar perfectamente inseridos en tierra sin dejar pasar la más mínima corriente de aire.

De las comparaciones realizadas de insolación de parcelas, con o sin lámina de plástico, se ha podido comprobar una diferencia de diez grados a favor de la segunda opción con la que se obtienen valores de hasta 50 grados Celsius en las capas superficiales.

La solarización se realiza aprovechando los meses de mayor insolación, pero antes de la colocación de las láminas de plástico la tierra debe ser convenientemente trabajada.

Los experimentos de solarización se iniciaron en 2001 y según los investigadores es pronto todavía para extraer conclusiones. Según Raquel Alonso, "los tres años han sido muy diferentes climatológicamente y no son comparables. Es preciso disponer de una serie de



datos más amplia".

En cualquier caso, los resultados que se están obteniendo muestran que la temperatura que se alcanza afecta a los quistes, por lo que se reducen drásticamente las poblaciones, lo cual es esperanzador de cara a poder minimizar las cantidades de productos agroquímicos a utilizar.

### Las técnicas moleculares

Estudios realizados en base al ADN ribosomal de *Globodera rostochiensis* parecen indicar que el centro de origen de esta especie son los Andes peruanos-bolivianos, aunque no se sabe con certeza. Esta especie fue detectada por primera vez en Alemania en el año 1881 y descrita en 1923 por Wollenweber, en Rostok. En 1973, Stone, observó la existencia de poblaciones del nemátodo cuyas hembras no presentaban la coloración amarilla, sino blanca y, basándose en características de los juveniles y el color de los quistes de las hembras, describió a estas poblaciones como una nueva especie, *Globodera pallida*.

Hasta el momento han sido detectados cinco patotipos

de *G. rostochiensis* y seis de *G. pallida*, tres en Europa y tres en América latina. La identificación de los patotipos se basa en la tasa de reproducción que presentan los nemátodos en una serie estandarizada de clones diferenciales de patata.

Por otra parte en este proyecto se ha previsto la caracterización bioquímica de ambas especies, mediante electroforesis de las proteínas totales y de isoenzimas de los aislados poblacionales.

Los estudios de los patotipos en el caso de la comarca de sa Pobra, aunque no concluidos, podrán confirmar si la introducción de *G. pallida* en Mallorca, la especie más abundante, tuvo lugar a través de semilla importada desde Inglaterra, quizás en 1924 cuando se produjo una importante importación de la variedad Royal Kidney. El patotipo de *G. pallida* dominante en Inglaterra es diferente al dominante en la Península Ibérica, en la cual *G. pallida* tampoco se ha de considerar la especie más común. Es, por tanto, interesante confirmar cuál es el patotipo dominante en Mallorca para poder inferir una posible vía de introducción, aunque todo parece apuntar en principio a Inglaterra.



La misma parcela en dos fases distintas. En la imagen superior durante los meses de verano, cuando se somete a solarización. En la imagen inferior, antes de ser cosechada en marzo. Las plantas corresponden a la variedad Maris Peer de patata.

### **Proyecto financiado**

---

Título: Estudio bioecológico, incidencia y caracterización del nematodo dorado de la patata (*Globodera* sp) en las Islas Baleares. Estrategias de control integrado.

Referencia: RTA 02-014. Programa nacional de recursos y tecnologías agrarias.

Entidad financiadora: Ministerio de Agricultura. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.

Periodo: 2002-2005

### **Investigadora responsable**

---

Doctora Aina Alemany, profesora titular de Zoología.

Laboratorio de Zoología.

Departamento de Biología

Edificio Guillem Colom Casanovas

Tel.: 971 17 31 55

E-mail: [analem@uib.es](mailto:analem@uib.es)



*La doctora Aina Alemany, responsable del proyecto de investigación, en el Laboratorio de Zoología de la UIB.*

### **Miembros del equipo**

---

Raquel Alonso Frau, bióloga becaria del INIA e investigadora de la sociedad agraria de transformación Esplet.

Tel.: 971 54 02 83

E-mail: [raqxaf@hotmail.com](mailto:raqxaf@hotmail.com)

Marifé Andrés Yeves, investigadora del Centro de Ciencias Medioambientales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.

Maria Luisa Martínez Beringola, investigadora del Instituto Nacional de Investigación Agraria y Alimentaria (INIA)

María Teresa Salto Jáudenes, investigadora del Instituto Nacional de Investigación Agraria y Alimentaria (INIA)

Antoni Durà Blasco, jefe de Servicio de Agricultura de la Conselleria d'Agricultura i Pesca (Govern de les Illes Balears)

Joan Rallo Garcia, director del IRFAP de la Conselleria d'Agricultura i Pesca (Govern de les Illes Balears)

Bartomeu Mayol, jefe de Negociado de Cultivos Hortícolas de la Conselleria d'Agricultura i Pesca (Govern de les Illes Balears).

### **Instituciones i entidades colaboradoras**

---

Centro de Ciencias Medioambientales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.

Instituto Nacional de Investigación Agraria y Alimentaria (INIA)

Conselleria d'Agricultura i Pesca (Govern de les Illes Balears)  
Sociedad Agraria de Transformación Esplet (sa Pobla).

### **Comunicaciones a congresos**

---

RAQUEL ALONSO, ANA ALEMANY y MARIA FÉ ANDRÉS. Population dynamics of the Potato Cyst Nematode (*Globodera* sp.) in two potato varieties cultivated in the Balearic Islands. "Fourth International Congress of Nematology". 2002, Tenerife, Spain.

RAQUEL ALONSO, ANA ALEMANY y MARIA FÉ ANDRÉS. Evolución y distribución de la población de Nematodos formadores de quistes (*Globodera* sp.) en el cultivo de la patata de la comarca Sa Pobla-Muro "XI Congreso Sociedad Española de Fitopatología", 2002, Almería, España.

R. ALONSO, M.F. ANDRÉS, A. ALEMANY y C. MARTÍN ESCORZA. Distribution and epidemiology of *Globodera* sp. in the Balearic Islands. "XXVII International Symposium of European Society of Nematologists". 2004. Roma, Italy.

R. ALONSO, A. ALEMANY y M.F. ANDRÉS. La solarización como método de control alternativo del nematodo formador de quistes de la patata (*Globodera* sp) en Mallorca. "XII Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología". 2004, Girona, España.