

Relación entre el balance hídrico y la población de *Radopholus similis* (Cobb) Thorne en la zona bananera de Guápiles, Costa Rica* ————— RAMIRO JARAMILLO C**, ADRIAN FIGUEROA***

ABSTRACT

A study was conducted to check the influence of soil-water balance on natural population changes of Radopholus similis in Guápiles, Costa Rica.

Root sampling on bananas var. 'Giant Cavendish' were performed periodically during two years in an experimental plot 1.5 ha in size. Determination of soil water balance was made according to Thorntbwaite's technique. By combining and adjusting values of deficit or excess in water balance for two successive sampling dates, analysis of trends and maximum responses were accomplished.

Results showed that soil-water deficits were of greater importance, biologically, than soil-water excess, thus higher population values are closely related to the occurrence of numerous short showers during drier months. It is suggested that nematocide applications should escape periods of excess of water in the soil. — The authors.

Introducción

UN análisis completo de la influencia del clima en la dinámica de las poblaciones de nematodos no ha sido realizado tal como en el caso de insectos u otros animales, pero en criterio de algunos autores (2, 8) es menos relevante a causa de que una población de nematodos ya establecida está persistentemente presente a una alta densidad con ligeras fluctuaciones periódicas.

El presente estudio tiene como finalidad tratar de determinar los efectos de la variación de los elementos del balance hídrico en la fluctuación de la densidad promedio de población de *R. similis* en las condiciones de la estación experimental Los Diamantes, en Guápiles, Costa Rica.

Revisión de literatura

Las relaciones entre la humedad del suelo y la actividad de los nematodos indican frecuentemente que la capacidad de campo provee las condiciones óptimas pa-

ra su reproducción y desarrollo. Los resultados de los requerimientos de CO₂/O₂ en nematodos (14) demuestran el efecto inhibitorio de bajas concentraciones de oxígeno y explican por qué los nematodos se inactivan en suelos con alta humedad.

Algunos autores han determinado la capacidad de supervivencia de *R. similis* en suelos saturados; así Ducharme (3) comprobó que este fitoparásito, en las condiciones de Florida, es capaz de sobrevivir 2-3 meses en suelos saturados; sin embargo Loos (10) informó que *R. similis* desaparecía de suelos que estuvieran inundados durante 5 o más meses.

Los informes sobre las fluctuaciones de las poblaciones de *R. similis* en condiciones de campo (plantaciones de banano) y su relación con los factores agroclimáticos son relativamente recientes. Así, los resultados obtenidos por Jiménez (9) indican que las fluctuaciones poblacionales de *R. similis* en la zona bananera de Poci, Costa Rica son, en alto grado, dependientes de la precipitación; anota además que las modificaciones debidas a la cantidad de lluvia caída producirán variaciones en las poblaciones del nematodo. Este efecto queda demostrado cuando después de intensas lluvias sigue un período de luminosidad abundante, el cual ocasiona una pérdida gradual de los excesos de humedad en los suelos hasta niveles óptimos para la actividad del nematodo, consiguiéndose así la restauración de las poblaciones.

* Recibido para la publicación el 29 de marzo de 1976.

** Unión de Compañías Centroamericanas. Apartado 4824, San José, Costa Rica.

*** Ministerio de Agricultura y Ganadería. Sección de Nematología. San José, Costa Rica.

Por el contrario, si la luminosidad persiste, la irradiación genera un déficit de humedad y las poblaciones tienden a disminuir. Sin embargo, este autor no cuantificó cuál de los dos factores, el exceso o el déficit hídrico, tenía una mayor importancia en la dinámica de la población.

Otros autores (8) mencionan que los factores ambientales, especialmente las condiciones hídricas del suelo y las disponibilidades de alimento explicarían en un alto porcentaje la alternancia de épocas de máxima o mínima densidad de población de *R. similis*, estos autores explican la variación cronológica de la población del nematodo y sólo mencionaron algunas de las posibles causas de esta fluctuación.

El modelo propuesto trata de describir las tendencias del comportamiento de la población del nematodo, en plantas diferentes pero de generación homogénea, como respuesta a las variaciones de la reserva de agua en el suelo y correspondientemente al conjunto de elementos y factores agroclimáticos involucrados en el balance hídrico. Las limitaciones inherentes a este modelo son las mismas que las mencionadas en el trabajo anterior (8) y se hace hincapié en que el modelo es sólo un comprador de los resultados que se obtengan en otras zonas.

Además, como lo ha puntualizado Wallace (14), estos ensayos tienen relación con asociaciones superficiales debido a que los estudios de poblaciones en el campo sólo dan el resultado final de la influencia de todos los factores interdependientes en un ambiente determinado.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en la plantación bananera de la finca experimental Los Diamantes, situada en Guápiles, Costa Rica. El muestreo se efectuó en una plantación de dos años de edad, sembrada con la variedad 'Cavendish Gigante' (*Musa acuminata* AAA); el área de muestreo comprendía una superficie de 1,5 ha.

La clase de muestreo, el tipo de planta y de raíces seleccionadas así como el método de procesamiento y análisis de las muestras, se describieron previamente (8). El muestreo se realizó mensualmente a través de un período de 2 años; durante el tiempo del experimento no se aplicó ningún producto químico al suelo del área experimental. En la determinación del balance hídrico diario se utilizaron los registros (1) de temperatura, precipitación y humedad relativa siguiendo la técnica de Thornthwaite (12); la evapotranspiración se calculó según la fórmula de García y López (5); el cálculo de la capacidad de almacenaje para el área experimental, se realizó considerando una profundidad de 80 cm y los valores de las propiedades físicas determinadas por Jaramillo (6).

Para el análisis de tendencia y estimación de máxima respuesta, se ajustó una superficie de segundo grado (11), con 4 variables de la forma:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4$$

donde:

- y = Variable de respuesta (número de *R. similis*/100 gramos de raíces).
- x_1 = Déficit hídrico del mes anterior al muestreo de raíces (mm)
- x_2 = Déficit hídrico del mes correspondiente al muestreo de raíces (mm).
- x_3 = Exceso hídrico del mes anterior al muestreo de raíces (mm).
- x_4 = Exceso hídrico del mes correspondiente al muestreo de raíces (mm).
- b_0 = Constante, punto de corte del eje de respuesta por hiperesfera generada por X_i .
- b_i = Razón de cambio en y por cada unidad de X_i
- b_{ij} = Razón del cambio del coeficiente b_i
- b_{ij} = Razón de cambio en y por el efecto simultáneo de X_i y X_j

Todos los datos fueron procesados en una computadora IBM 1130 del IICA.

Resultados

En el Cuadro 1 se observa el marco agroclimático en el cual se ha desarrollado la población de *R. similis*.

De acuerdo con un trabajo anterior (8) se pueden distinguir dos épocas de máxima densidad de población del nematodo las cuales corresponden a los meses de abril-mayo y de agosto-setiembre; complementariamente se presentan dos depresiones o disminución de la densidad en los meses de enero-febrero y junio-julio.

Las condiciones prevalecientes durante los máximos corresponden a lo denominado por Trojer (13) como meses secos (con predominio de buen tiempo).

Durante este tipo de tiempo se intercalan períodos secos y lluviosos de corta duración y esta es la razón del porqué en estos períodos no se encontró correlación entre la densidad máxima y el número de días con déficit o exceso climático o con suelo saturado; sin embargo durante este tiempo se presenta un calentamiento relativamente alto; en consecuencia baja la humedad relativa, la cual en conjunto con la brisa local, aumenta la evapotranspiración; de tal manera pueden detectarse algunas veces valores altos de déficit de agua en el suelo (abril, 1971).

La magnitud del exceso de agua en el suelo para las épocas en que se presentan máximas de población fluctuaron entre 160 y 400 mm.

Las condiciones en las cuales se presentaron densidades mínimas corresponden a meses con 6-14 días con déficit climático; el número de días con suelo saturado puede llegar a 23 y el exceso de agua en el suelo varía de 230 a 535 mm. Debido a la difícil interpretación de las tendencias en la densidad de población tomando simplemente los datos del balance hídrico mensual, se hizo

Cuadro 1.—Promedio de población de *R. similis* y valores del balance hídrico mensual

| Mes | Población de <i>R. similis</i> (especímenes/100 g de raíces) | Nº de días con déficit climático | Nº de días con exceso climático | Nº de días con suelo saturado | Magnitud del déficit de agua en el suelo (mm) | Magnitud del exceso de agua en el suelo (mm) | Magnitud del almacenaje promedio de agua en el suelo (mm) | Magnitud del almacenaje mínimo de agua en el suelo (mm) |
|---------|--|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|--|---|---|
| Set./70 | | 19 | 11 | 7 | 2 | 113 | 240 | 227 |
| Oct /70 | 29666 | 21 | 10 | 4 | 3 | 39 | 240 | 227 |
| Nov /70 | 38333 | 15 | 15 | 11 | 0 | 533 | 245 | 224 |
| Dic /70 | 39416 | 6 | 25 | 25 | 0 | 1393 | 249 | 245 |
| Ene /71 | 14000 | 13 | 18 | 16 | 0 | 327 | 246 | 237 |
| Feb /71 | 33416 | 21 | 7 | 0 | 7 | 0 | 223 | 210 |
| Mar /71 | 44666 | 19 | 12 | 6 | 2 | 63 | 241 | 224 |
| Abr /71 | 50791 | 23 | 7 | 6 | 10 | 160 | 223 | 192 |
| May./71 | 38750 | 16 | 15 | 7 | 4 | 202 | 227 | 181 |
| Jun /71 | 38083 | 10 | 20 | 19 | 0 | 453 | 248 | 244 |
| Jul /71 | 51666 | 7 | 24 | 23 | 0 | 535 | 249 | 244 |
| Ago./71 | 56117 | 16 | 15 | 8 | 0 | 132 | 245 | 238 |
| Set /71 | 61000 | 14 | 16 | 11 | 3 | 272 | 240 | 221 |
| Oct /71 | 41050 | 14 | 17 | 15 | 0 | 300 | 245 | 233 |
| Nov /71 | 52000 | 18 | 12 | 9 | 3 | 113 | 235 | 214 |
| Dic /71 | 56700 | 20 | 11 | 5 | 1 | 55 | 239 | 224 |
| Ene /72 | 65800 | 13 | 18 | 14 | 1 | 519 | 242 | 231 |
| Feb /72 | 48750 | 14 | 15 | 11 | 2 | 230 | 240 | 216 |
| Mar /72 | 41625 | 21 | 10 | 7 | 2 | 65 | 241 | 219 |
| Abr /72 | 53750 | 14 | 16 | 12 | 1 | 236 | 244 | 220 |
| May /72 | 98317 | 10 | 21 | 20 | 0 | 359 | 248 | 245 |
| Jun /72 | 55000 | 12 | 18 | 14 | 3 | 235 | 238 | 218 |
| Jul /72 | 53000 | 6 | 25 | 22 | 0 | 188 | 249 | 244 |
| Ago /72 | 90417 | 10 | 21 | 18 | 0 | 311 | 247 | 238 |
| Set /72 | 77916 | 8 | 22 | 20 | 0 | 460 | 248 | 239 |

un análisis estadístico combinando excesos y déficit de uno, dos y tres meses anteriores al muestreo de nematodos.

El mejor ajuste se obtuvo con la combinación de los déficit y excesos correspondientes al mes muestreado y al mes anterior al muestreo.

Este análisis se representa por la siguiente ecuación:

$$y = 125915 - 13322,37x_1 - 30703,28x_2 - 125,27x_3 - 38,06x_4 + 1256,71x_1^2 + 2027,86x_2^2 + 0,01x_3^2 - 0,03x_4^2 + 283,27x_1x_2 + 7,95x_1x_3 - 13,44x_1x_4 + 27,71x_2x_3 + 27,54x_2x_4 + 0,11x_3x_4$$

$$R^2 = 0,757$$

donde:

y = Número de *R. similis*/100 g de raíces

x_1 = Déficit hídrico del mes anterior al muestreo (mm).

x_2 = Déficit hídrico del mes correspondiente al muestreo (mm)

x_3 = Exceso hídrico del mes anterior al muestreo (mm)

x_4 = Exceso hídrico del mes correspondiente al muestreo (mm).

Como se observa en la ecuación, los coeficientes de más alto valor son los correspondientes al déficit hídrico del mes en el que se efectúa el muestreo; luego sigue en importancia el déficit hídrico del mes anterior al muestreo; las contribuciones de los excesos hídricos son menores.

Los valores que maximizan la ecuación son los siguientes:

$$x_1 = 4,5 \text{ mm}$$

$$x_2 = 1,9 \text{ mm}$$

$$x_3 = 554 \text{ mm}$$

$$x_4 = 230 \text{ mm}$$

Estos valores corresponderían a épocas de tiempo variable donde se intercalan períodos lluviosos y secos de corta duración.

En la Figura 1 se observan las tendencias en meses durante los cuales (supuestamente) no se presentaría déficit hídrico; las poblaciones tienden a incrementarse cuanto menores sean los excesos hídricos tanto del mes correspondiente al análisis como del anterior al muestreo. Sin embargo si el exceso hídrico del mes anterior es bajo y aquel del mes analizado es alto, la población presenta una tendencia a disminuir.

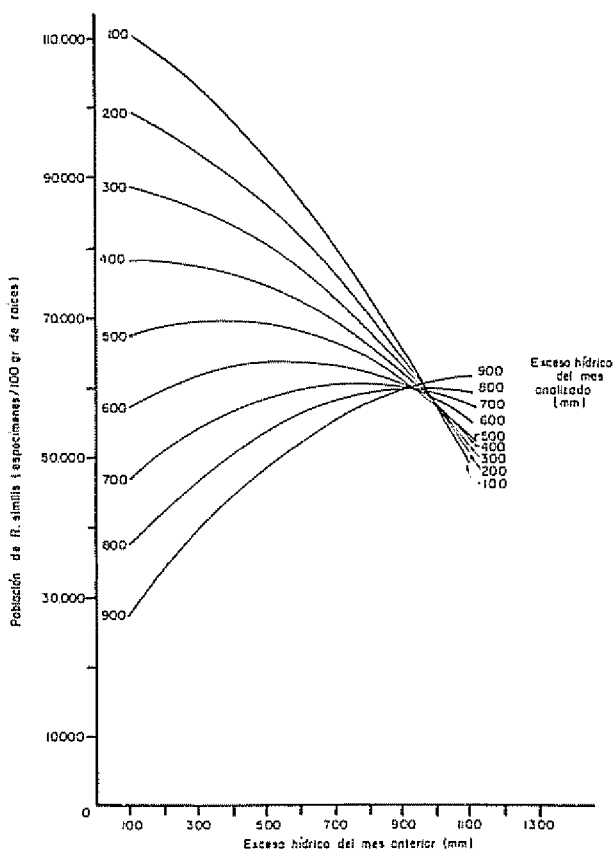


Fig. 1.—Población esperada de *R. similis* en relación con la magnitud del exceso hídrico del mes anterior y del mes analizado, en el caso de que el déficit hídrico de los dos meses sea igual a cero mm. Estación Experimental Los Diamantes, Costa Rica.

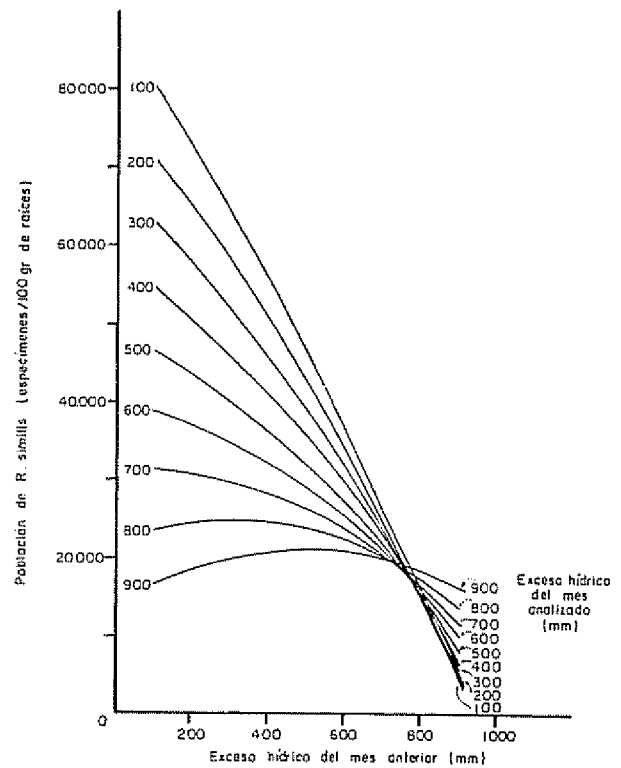


Fig. 2.—Población esperada de *R. similis* en relación con la magnitud del exceso hídrico del mes anterior y del mes analizado en el caso de que el déficit hídrico del mes anterior sea igual a tres mm y el déficit hídrico del mes analizado igual a cero mm. Estación Experimental Los Diamantes, Costa Rica.

En la Figura 2 se observa la población esperada en aquellos meses en los cuales (supuestamente) se presenta un ligero déficit hídrico (3 mm) en el mes anterior al análisis; las tendencias de la población tienen distribuciones similares a aquellas de la Figura 1; sin embargo con un ligero déficit en el mes anterior como el que se considera en este caso, hace más sensible la población a los excesos hídricos; de tal manera que con un bajo exceso hídrico del mes anterior al muestreo y un alto exceso del mes correspondiente al análisis, la población tiende a disminuir; así mismo si los excesos de ambos meses son altos, la población de *R. similis* presenta una tendencia a decrecer.

Discusión

Según Dao (2) para los nematodos fitoparásitos, aparentemente la planta hospedante es el factor dominante cuando el clima y el suelo son bastante favorables para su desarrollo y reproducción; así cuando alcanzan cierto nivel de población el alimento y otros componentes del ambiente se vuelven operativos *in situ*. Es posible que los efectos del déficit o exceso hídrico en las diferentes etapas del desarrollo del hospedante (banano) afecten en forma directa la población de *R. similis*, pero esta influencia no es importante a causa de que la población de este nematodo, una vez establecida

presenta persistentemente y con algunos altibajos una alta densidad.

Las plantas de banano a pesar de las condiciones desfavorables (exceso o relativo déficit hídrico) continúan produciendo cierta cantidad de biomasa, suficiente para la supervivencia del parásito.

Conforme mejoren las condiciones ambientales (predominio de buen tiempo), tiene lugar un acelerado crecimiento de las plantas con la consecuente emisión de nuevas raíces las cuales aseguran el alimento suficiente para la reproducción del nematodo (4)

La capacidad de supervivencia de *R. similis* con altos niveles de exceso hídrico (no se hace referencia a condiciones de inundación permanente), ha sido determinada en otras condiciones ambientales (3). En el presente estudio esta capacidad se demuestra en el Cuadro 1, en donde durante el ciclo que duró el ensayo, en un 67 por ciento de los meses se determinaron excesos mayores de 200 mm/mes; sólo en un 20 por ciento de los meses se calcularon excesos menores a los 100 mm/mes.

La razón de la mayor importancia biológica de los bajos valores de déficit hídrico (1-10 mm) puede encontrarse en la subestimación de estos, debido al método utilizado para su cálculo. Algunos autores (7) señalan que el método tradicional del cálculo del balance de agua en el suelo sea de baja sensibilidad, especialmente cuando se refiere al déficit, a causa de que en zonas donde se intercalan períodos secos y lluviosos de corta duración, se empiezan a detectar deficiencias cuando el almacenaje ha disminuido de tal manera que la planta ha empezado a tener trastornos fisiológicos. Estas condiciones afectarán en grado variable (dependiendo de la duración del período de déficit) a la población de *R. similis*. Durante las épocas con predominio de buen tiempo los períodos con déficit hídrico se presentan con frecuencia, especialmente en la zona de Guápiles, donde los suelos son en su mayoría livianos (franco arenosos sobre arenoso-francos), con alta permeabilidad y baja capacidad de retención de humedad.

Una recomendación práctica de este ensayo es la de que los programas de control de nematodos en el área de estudio deben dirigirse hacia la búsqueda, no sólo de épocas de disminución o inicio del incremento de la población, sino de aquellos períodos en los cuales las aplicaciones de nematocidas sean eficaces, evitando meses con un alto exceso hídrico para así obviar pérdidas de los nematocidas y consecuentemente deficiencias en el control de estos fitoparásitos.

Resumen

En este estudio se establecieron los efectos de la variación de los elementos del balance hídrico en la fluctuación de la densidad promedio de *R. similis* en la zona bananera de Guápiles, Costa Rica.

El muestreo de raíces para el recuento de especímenes se verificó durante dos años en una parcela de 1,5 ha, sembradas con la variedad 'Cavendish Gigante'. En

la determinación del balance hídrico diario se utilizó la técnica de Thornthwaite.

Para el análisis de tendencia y estimación de máxima respuesta se ajustó una superficie de segundo grado con la combinación de los déficit y excesos hídricos de los meses anteriores y correspondientes al muestreo de raíces.

Se encontró que los déficit hídricos tenían mayor importancia biológica que los excesos. Además los valores que maximizan la población corresponden a épocas de tiempo variable donde se intercalan períodos lluviosos y secos de corta duración. Se sugiere que los programas de aplicación de nematocidas deben dirigirse a la búsqueda de períodos en los cuales las aplicaciones sean efectivas evitando meses con un alto exceso hídrico.

Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento al Dr. Raúl Moreno del CATIE, Turrialba, Costa Rica y al Ingeniero Agrónomo Manuel Francisco Jiménez de la Compañía E. I. Dupont de Nemours por sus acertadas sugerencias y revisión del manuscrito.

Literatura citada

1. COSTA RICA. Servicio Meteorológico Nacional. Archivos Meteorológicos de la estación Los Diamantes. San José, Costa Rica, 1970-1972.
2. DAO, F. D. Climatic influence on the distribution of plant parasitic and soil inhabiting nematodes. Wageningen, The Netherlands, Laboratory of Nematology. State Agricultural University, 1970. 181 p.
3. DUCHARME, E. P. Sub-soil drainage as a factor in the spread of the burrowing nematode. Florida State Horticultural Society 29-31. 1955.
4. FIGUEROA, M. A. Cinco nematocidas en el control de *Radopholus similis* (Cobb) Thorne en la zona bananera de Guápiles. San José, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Boletín Técnico N° 64. 1975.
5. GARCIA BENAVIDES, J. y LOPEZ, D. Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al trópico (15°N, 15°S). Agronomía Tropical 20(5): 335-345. 1970.
6. JARAMILLO, R. Estudio detallado de los suelos del proyecto La Curia, S. A. I. San Cristóbal. San José, Costa Rica, Departamento de Investigaciones Agrícolas, 1970. 98 p.
7. ——— y GARCIA BENAVIDES, J. Relación entre el balance hídrico y la duración del desarrollo del fruto del banano (Variedad 'Giant Cavendish') en Guápiles. Agronomía Tropical 23(4):343-354. 1973.

8. JARAMILLO, R y FIGUEROA, A. Análisis armónico de densidad de población de *R. similis* (Cobb) Thorne en la zona bananera de Guápiles, Costa Rica. Turrialba 24(4):402-407. 1974.
9. JIMÉNEZ, M. F. Fluctuaciones anuales de la población de *Radopholus similis* en la zona bananera de Pococí, Costa Rica. Nematológica 2(2):33-40. 1972.
10. LOOS, C. A. Eradication of the burrowing nematode, *Radopholus similis*, from bananas. Plant Disease Reporter 45(6):457-461. 1961.
11. MYERS, R. H. Response surface methodology. Boston, Allyn and Bacon, 1971. 246 p.
12. THORNTHWAITE, C. W. y MATHER, J. R. Instruction and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Drexel Institute of Technology. Publications in Climatology 10(3):184-311. 1952.
13. TROJER, H. El clima y el desarrollo de la producción del cacao en la finca La Lola. Cacao (Costa Rica) 13(4):1-9. 1968.
14. WALLACE, H. R. Abiotic influences in the soil environment. In: Zuckerman, B. M., Mai, W. F. y Rhode, R. A., eds. Plant parasitic nematodes. New York, Academic Press, 1971. Vol. 1, pp. 257-280.