

## **EL CRECIMIENTO RADICAL Y LOS SISTEMAS DE MICROORGANISMOS FIJADORES DE NITRÓGENOS (UNA INTERPRETACIÓN GEOMÉTRICA)**

**Solbes, D.R.; Abdelnur, V. y Bellone, C.H.**

**PALABRAS CLAVES:** crecimiento- microorganismo- nitrógeno- geometría fractal.

### **INTRODUCCIÓN**

Las fluctuaciones observadas en una experiencia suelen considerarse bajo dos puntos de vista antagónicos: como algo que se debe evitar en lo posible, o como una muestra de la riqueza de la naturaleza.

La dinámica poblacional de los sistemas de microorganismos en la rizósfera responde a funciones periódicas (Solbes et al, 2000 ); el crecimiento de algunos sistemas radicales se modelan con un patrón helicoidal, donde la sucesión de puntos de inserción es un fenómeno casi periódico. La secuencia de ramificaciones en la raíz , se describe a través de la rizotaxia (Macchioni de Zamora et al, 1997).

Cuando el fenómeno estudiado es periódico, o casi periódico, como ocurre con la sucesión de la expansión de las poblaciones que coexisten y en la evolución del crecimiento de los sistemas radicales, entre otras situaciones de la naturaleza, es difícil asegurar que después de cierto tiempo no aparezcan pautas imprevistas.

En el trabajo se muestra que la evolución del sistema radical de caña de azúcar, en su crecimiento, que es regular, con los sistemas de microorganismos fijadores de nitrógeno genera un fractal.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se estudió la evolución de las especies de microorganismos fijadores de nitrógeno en la rizósfera de Caña de Azúcar, habiendo fertilizados los suelos con distintas dosis de urea. El recuento de los microorganismos se hizo aplicando el método de Girard (1964). En la localidad del Manantial, Tucumán, Argentina, se recolectaron muestras al azar de raíces de caña de azúcar, en dos momentos diferentes del desarrollo del cultivo, lo cual permitió realizar un seguimiento de las ramificaciones que generan, sistemas compactos de gran complejidad en las plantas adultas.

Facultad de Agronomía y Zootecnia - Universidad Nacional de Tucumán - Av. Roca 1900. San Miguel de Tucumán – Argentina - E-mail: [dsolbes@sinectis.com.ar](mailto:dsolbes@sinectis.com.ar)

La ubicación de los puntos de inserción de las raíces, la posición, el desarrollo y el número de ramificaciones, y la evolución de las poblaciones de microorganismos permitieron modelar la arquitectura que genera el proceso de desarrollo del sistema radical.

Con el programa computacional Ultra Fractus 2.0 se obtuvo imágenes fractales que modelan los sistemas estudiados.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La representación del número de microorganismos fijadores de nitrógeno en la rizósfera de caña de azúcar, se expresa a través de una función casi periódica que disminuye su amplitud a medida que aumenta el valor de las dosis de urea utilizadas (46% de nitrógeno), como se observa en el Gráf. N° 1.

A pesar de la complejidad que presentan a simple vista los sistemas radicales de caña de azúcar, como se observa en la Foto N°1, los puntos de crecimiento se ubican describiendo un patrón helicoidal. Al amplificar una porción de las ramificaciones, es posible que ésta sea similar a otro elemento del sistema, por lo que la autosimilitud de sus partes no es exacta sino probabilística.

Las repeticiones de este diseño básico, a diferentes escalas temporales y espaciales, desarrollan múltiples estructuras complejas, aparentemente desordenadas, en forma de red, que permite al sistema radical aumentar la superficie de contacto en un volumen limitado de suelo.

El modelo matemático permite teóricamente un número infinito de iteraciones, pero en la geometría de la naturaleza, la situación se regula hasta alcanzar un límite finito dado por la situación real. Esta característica es mencionada en la recomposición del sistema de microorganismos y en la dinámica del crecimiento radical de caña de azúcar.

Los fenómenos estudiados son tales que en ellos interviene el azar, la aleatoriedad y estadísticamente siguen una periodicidad o autosimilitud que puede ser caracterizada a través de la dimensión fractal. Esta mide el grado de escabrosidad y/o discontinuidad de un objeto presentando un grado de irregularidad constante a diferentes escalas. El grado de irregularidad de un objeto no es otra cosa que su eficacia para ocupar espacio, y resulta que hay líneas que son más eficaces que otras en este proceso.

Para interpretar y describir las propiedades de los sistemas estudiados se generaron por computadora modelos fractales como se observan en la Fig. N° 2.

Los fractales tienen infinitos detalles porque el proceso de repetición es infinito, pero en los casos estudiados el máximo número de iteraciones fue de 149, es decir que los sistemas se autorregulan y no se logra mayor detalle al aumentar este valor.

Existe una estrecha relación entre los fractales y el crecimiento, las características mencionadas de la recomposición de microorganismos en la rizósfera y la dinámica del crecimiento radical de caña de azúcar, permiten relacionar estos sistemas con modelos fractales probabilísticas.

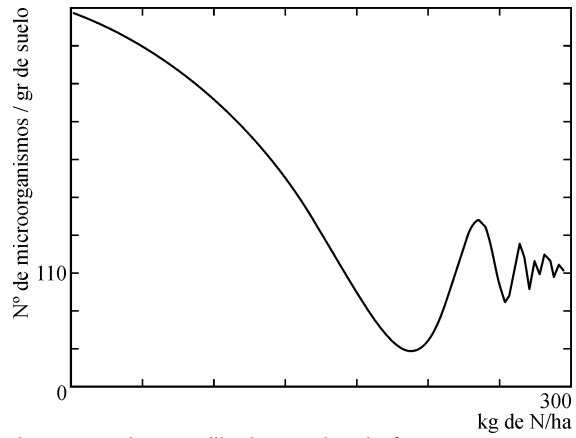
La geometría fractal es la geometría de los *procesos caóticos*; es decir de los procesos dinámicos cuyo desarrollo depende de las condiciones iniciales.

## RESULTADOS Y CONCLUSIÓN

A través del modelo fractal es posible analizar la dinámica de sistemas biológicos complejos en los que se incluyen el crecimiento radical y la dinámica de los sistemas de microorganismos fijadores de nitrógeno en la rizósfera de caña de azúcar y de la misma manera se podría establecer las formas de crecimiento de otros sistemas radicales e incluso llegar a predecir el volumen radical.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bellone, C.H. ;Solbes,D.R.; Pedraza, R.I; Carrizo de Bellone, S. y Ramón de Lavilla, N. A.1995. Armónicas en un proceso biológico de suelos. Anales del VIIº Congreso Internacional de Biomatemática. Buenos Aires. Argentina..
- Girad, H. y Rougieux, R. 1964. Técnicas de microbiología agrícola. Editorial Acribia. 267p. España.
- Morales Ríos, E. 1997. Apuntes metodológicos para el estudio de raíces en plantaciones forestales y bosques naturales. Santa Cruz de la Sierra. Bolivia.
- Solbes, D. R.; Abdelnur, V. y Bellone C. H. 2000. Ondas en biología del libro: La Biomatemática en Agronomía - Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán. Pp. 73-90. Argentina.
- Solbes, D.R.; Abdelnur,V.y Bellone, C.H. - 2002 - Los microorganismos fijadores de nitrógeno generan un fractal cuando se fertilizan los suelos cultivados con caña de azúcar. XIX Jornadas Científicas de la Asociación de Biología de Tucumán. Tafí del Valle, Tucumán.Argentina. Publicado en soporte informático .
- Talanquer, V. 1996. Fractus, Fracta, Fractales: de laberintos y espejos. Fondo de la Cultura Económica. pp. 335.México.



Gráf. N° 1: Número de microorganismos fijadores de nitrógeno por gramos de suelo en función del valor de las dosis aplicadas en kg por hectáreas.

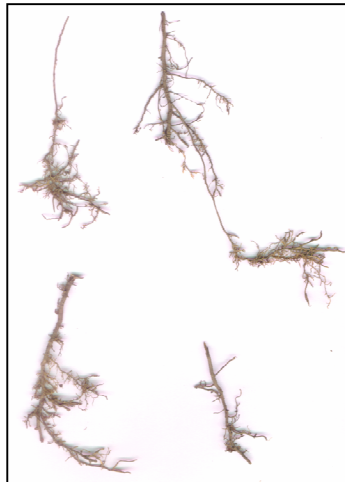


Foto.Nº 1: Ramificaciones de las raíces radiales de caña de azúcar

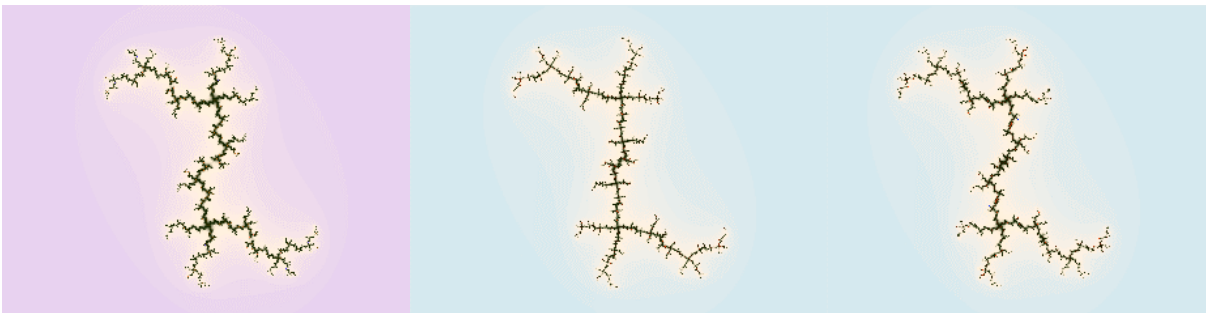
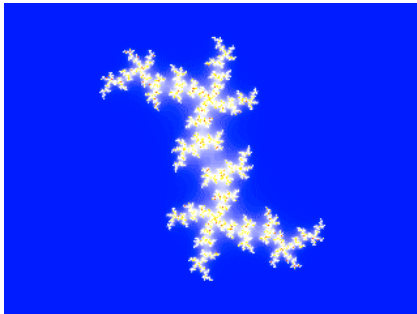


Fig. Nº2. Imágenes fractales del Conjunto de Julia