



# La ecología microbiana y la agricultura

Por: **Luis G. Wall**  
Laboratorio de Biología de Suelos  
Universidad Nacional de Quilmes - CONICET

Fotografía: Luis G. Wall

El suelo es uno de los reservorios más grandes de biodiversidad en nuestro planeta. El suelo es un sistema vivo complejo y es el lugar donde se produce la transformación de la materia y el ciclo de los elementos químicos. El suelo regula la calidad del agua y del aire y sostiene el ciclo de los elementos y la transformación de la materia. Como consecuencia de todos estos servicios, el suelo beneficia la salud humana. La naturaleza del suelo cambia según sea el uso y manejo que se hace del suelo. La agricultura es un ejemplo de uso y manejo. Diferentes prácticas agrícolas generan diferentes cambios en la estructura biológica del suelo, a todas sus escalas y con diferentes consecuencias.

En algunos campos del saber, como en la microbiología, el conocimiento se ha desarrollado mucho de un tiempo a esta parte. Mucho. Una enormidad. Tanto ha cambiado el conocimiento en microbiología que las cosas ya no son como eran. El nuevo conocimiento cambia completamente nuestra capacidad de ver las cosas. La microbiología del suelo es parte y escenario de una revolución del conocimiento.

Comprender esta novedad e incorporarla en el tablero de comando es necesario para poder evolucionar en los sistemas productivos. Quienes lo hagan primero, sin dudas, tendrán ventajas competitivas en el futuro, pues el cambio de paradigma biológico está ocurriendo silenciosamente en todo el mundo. Los sistemas de agricultura en siembra directa ofrecen una oportunidad invaluable para transformar este cambio de paradigma biológico en una nueva herramienta de producción para los futuros escenarios de agronegocios, donde la preservación y mejora del ambiente será una variable clave en la ecuación.

### » Estado de situación actual

El funcionamiento del suelo agrícola se interpreta, desde mediados del siglo XX, con un modelo o paradigma químico basado en conocimientos sobre fisiología vegetal que fueron desarrollados considerando a la planta libre de cualquier microorganismo. En este modelo de funcionamiento de la relación planta-suelo, las plantas obtiene sus nutrientes en forma mineral desde la solución del suelo y luego los asimilan incorporándolos a su biomasa. A su vez, el suelo agrícola ha sido descrito desde la pedología principalmente por sus características físicas y químicas. En líneas generales e históricas, la biología del suelo ha quedado fuera del funcionamiento del sistema planta-suelo. En todo caso la biología del suelo se la ve como una potencial amenaza que puede devenir en el desarrollo de enfermedades. Tal es así, que hace unos años el marketing de un producto agroquímico que recién salía al mercado se promocionaba con un slogan que decía "Cuide su campo y su producción, luego de aplicar este producto en el suelo, no queda nada vivo".

Este paradigma químico está siendo desafiado por un conjunto de nuevos conceptos que modifican el modelo incorporando la biología del suelo en toda su complejidad y en particular integrando un nuevo concepto: el **microbioma**. El concepto de **microbioma** viene a modificar toda la naturaleza que vemos, entre otras cosas la manera de ver y comprender el funcionamiento de las plantas y su fisiología.

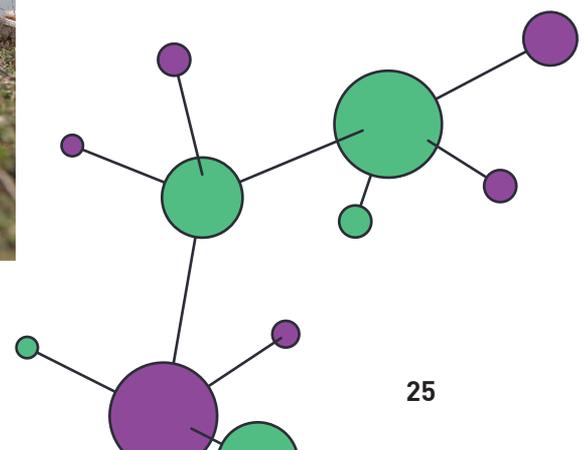
Se llama **microbioma** al conjunto de microorganismos que habita un lugar, en forma organizada, en comunidades complejas formadas por hongos, bacterias y arqueas, incluyendo una gran diversidad

acorde a las diversas funciones que cumplen estos organismos en el sistema. Los **microbiomas** fueron ignorados durante toda la historia de la microbiología hasta la actualidad, en la que disponemos de herramientas moleculares que nos permiten ver, por sus huellas, a los microorganismos que antes ignorábamos porque no se sabía como cultivarlos y cómo hacerlos crecer en el laboratorio. Lo extraordinario de esto es que durante el siglo XX sólo conocimos el 1% de la microbiología que existe en el planeta y que lo habita desde hace 3500 millones de años. Por eso el cambio de modelo o paradigma es tan dramático. Una planta, al igual que un ser humano tiene mas microorganismos en su constitución que células vegetales o humanas y esos microorganismos no son suciedad, son parte esencial de la planta o el ser humano y hacen al funcionamiento del organismo mayor. Con el suelo sucede exactamente lo mismo.

La descripción de los microbiomas amplía la complejidad del suelo y la complejidad de las plantas que crecen en él. Con respecto al suelo, los integrantes del microbioma lo habitan de a miles de millones de individuos por gramo de suelo: en 1 gramo de suelo se estima que viven unos 10 mil millones de procariones (organismos unicelulares formados por células sin núcleo) que son las Bacterias y Arqueas, los organismos más pequeños que se conocen. En 1 gramo de suelo hay también unos 200 metros de filamentos de Hongos y Micorrizas y entre 10 mil y 10 mil millones de protistas, los seres vivos unicelulares eucariotes (organismos formados por células con núcleo) más pequeños que se conocen. Estos diferentes tipos de microorganismos habitan el suelo y construyen sus hábitats con las partículas minerales y restos de materia orgánica en descomposición que encuentran en el suelo. Esta construcción de hábitat microbiano determina la estructura física básica de los suelos. Los microagregados resistentes al agua (fracciones que van de los 2 a los 250  $\mu\text{m}$ ) o macroagregados (fracciones de 250-2000  $\mu\text{m}$ ), se construyen dependiendo de la diversidad de bacterias y hongos que existen en el suelo. Luego las lombrices y otros pequeños animales del suelo, considerados ingenieros del suelo, hacen el resto del trabajo. Pero la estructura básica sobre la que se arma todo el lote depende de las bacterias y los hongos del suelo. Este dato fue publicado en la revista Nature en noviembre de 2017. Es decir,



Ecólogos Microbianos en acción



estamos hablando de novedades que modifican completamente la manera de ver el suelo. Como me dijo una vez el Dr. Héctor Morrás, que estudia en el INTA estos conceptos, desde la micromorfología del suelo: "la estructura del suelo es la lucha entre la biología y el efecto de compactación mecánica necesaria en el manejo agrícola". Algo así como un continuo devenir entre comunidades microbianas que construyen sus nichos y terremotos de aplastamiento mecánico que los destruyen. La resiliencia es una característica de los seres vivos y aquí se expresa en la capacidad de reconstrucción de nichos donde vivir. Por supuesto, cuando los terremotos son más intensos o más frecuentes que los intentos de reconstrucción, las comunidades desaparecen del lugar o son reemplazadas por otras que son capaces de vivir y construir en las ruinas que deja el terremoto mecánico. Comunidades que desaparecen, capacidades de transformación de la materia o interacciones con las plantas que dejan de estar disponibles. Esto lleva a la degradación del sistema, en el sentido que el suelo se transforma en un sistema con menor capacidad productiva.

»De dónde venimos #1.

**El origen de la actual agricultura de insumos.**

El paradigma de la agricultura de insumos comenzó como una nueva ola de la revolución verde cuando a mediados del siglo XX confluyeron dos conocimientos independientes. Por un lado, la fisiología de las plantas comenzó a definir los principales enunciados de la nutrición de las plantas en función de los requerimientos de nutrientes como formas inorgánicas de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y potasio, junto con la descripción de los procesos de absorción, transporte, asimilación y crecimiento de las plantas. Por otro lado, los



desarrollos de los detonadores químicos y otros productos destinados a los programas de defensa de la guerra dieron origen a nuevos productos útiles en la agricultura como fertilizantes, herbicidas, pesticidas, fungicidas y antibióticos, mejorando significativamente la producción de cultivos en formas intensivas y extensas de práctica.

Más adelante, hacia finales del siglo XX se introduce la práctica de la siembra directa sobre cuyos beneficios y significados son mayormente conocidos por los lectores de esta revista. La siembra directa reemplazó la práctica de la labranza cuyos objetivos principales eran: por un lado, el control de las malezas y por otro, la incorporación de residuos orgánicos en el suelo para estimular la mineralización de la materia orgánica, ablandar el suelo y prepararlo para el establecimiento y sostén de la nueva planta. En términos biológicos, la labranza del suelo destruye los nichos que los organismos habitantes del suelo construyen

para vivir. Estos micro-nichos se visualizan de otra manera como la estructura física del suelo, incluyendo su estado de agregación y porosidad indispensable para el sostenimiento de la diversidad biológica que habita el suelo. En particular podemos señalar que la labranza destruye las redes de filamentos de hongos micorrízicos que pueden conectar plantas a través de sus raíces, generando complejos y sofisticados sistemas de comunicación e intercambio de nutrientes y señales de alerta o defensa frente a peligros de ataques de patógenos. Estos sistemas de interconexión de plantas por redes subterráneas de micorrizas han sido recientemente muy bien descritos en suelos prístinos no agrícolas, en diferentes ambientes naturales, bosques y praderas. El suelo agrícola manejado en siembra directa, sin labranza, ofrece esta posibilidad para el funcionamiento del sistema de cultivo. Algunos trabajos científicos realizados en nuestro país y el mundo, dan cuenta de que así ocurriría.

»De dónde venimos #2.

**El origen de la microbiología.**

Durante el siglo XIX, Louis Pasteur sentó las bases de la microbiología clásica, basada en el aislamiento y el cultivo de microorganismos. A lo largo del tiempo, el estudio de la microbiología dejó de ser una preocupación exclusiva en materia de salud o conservación de alimentos y se extendió a casi todos los campos relacionados con los productos naturales. Así es como se construyó el paradigma de la microbiología del suelo, en el cual los microorganismos fueron reconocidos como los catalizadores de todos los ciclos de los elementos en nuestro planeta y también la fuente de todos los agentes patógenos del suelo para algunas enfermedades de plantas, animales o humanos. Con la técnica del cultivo microbiológico se pueden aislar diversos microorganismos a partir del suelo.



Biología de suelo en lote en producción

Fertilizante

**Microstar**<sup>®</sup>



# Nutrición balanceada para el alto rendimiento

**Microstar**<sup>®</sup>  
PZ

**Microstar**<sup>®</sup>  
CMB **NUEVO**

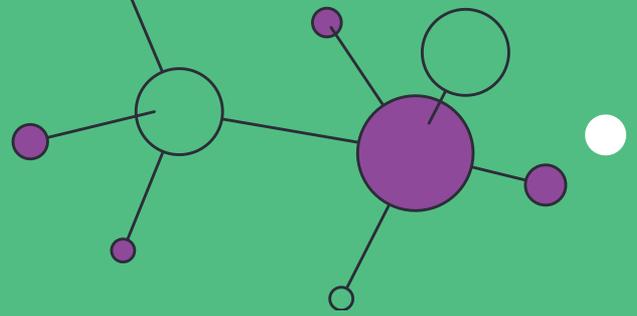
La línea de fertilizantes microgranulados Microstar responden a las exigencias de cada cultivo. **Promueven la rápida disponibilidad y absorción de los principales nutrientes concentrando energía para el mejor arranque.**

- ✓ SE APLICA JUNTO A LA SEMILLA
- ✓ NUTRICIÓN PRECISA Y EQUILBRADA
- ✓ CRECIMIENTOS RÁPIDOS Y UNIFORMES
- ✓ MEJORA LA LOGÍSTICA DE SIEMBRA

**Microstar, la potencia del arranque.**

[www.rizobacter.com](http://www.rizobacter.com)

 **RIZOBACTER**



### »Hacia dónde vamos #1.

#### El suelo como un baúl de curiosidades microbiológicas y el origen de los bioinsumos.

Uno de los descubrimientos más importantes con respecto a la microbiología agrícola fue el reconocimiento y la descripción de las bacterias fijadoras de nitrógeno en la atmósfera. Estas bacterias fueron responsables de la formación de un nuevo órgano vegetal, el nódulo de la raíz fijadora de nitrógeno en las leguminosas. Al ser las leguminosas las plantas más importantes en términos de fijación de nitrógeno, se ha desarrollado mucha investigación para comprender la base genética de estas simbiosis. Este conocimiento fue la base de la producción mundial de inoculantes para cultivos de leguminosas. La búsqueda de cepas más eficientes es todavía una cuestión de desarrollo en muchos países con economías basadas en la agricultura. La fijación biológica de nitrógeno sigue siendo un conocimiento clave para el desarrollo sostenible, ya que reduce la necesidad de fertilizantes químicos nitrogenados sintetizados por el proceso Haber Bosch, lo cual implica un gran consumo de energía fósil.

Otro descubrimiento importante, útil para la agricultura, ocurrió en las últimas décadas del siglo XX. Después del reconocimiento de la existencia de los "suelos supresores" donde las plantas no desarrollaban enfermedades transmitidas por el suelo, fue posible aislar -de la raíz de las plantas- bacterias con nuevos rasgos fisiológicos. Esas nuevas cepas resultaron antagonistas de los hongos patógenos y / o podían promover directamente el crecimiento de las plantas (Kloepper, 1980). Esos hallazgos dieron origen al concepto de rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas, conocidas como PGPR por su sigla en inglés, que incluyen una serie de rasgos diferentes dentro del concepto benéfico de promotor de crecimiento.

En este contexto, la microbiología agrícola funciona como un catálogo de curiosidades que ofrece nuevos insumos biológicos para la agricultura y la silvicultura que son amigables con el medio ambiente. Podemos mencionar entre los bioinsumos: bacterias fijadoras de nitrógeno, ya sean simbióticas o de vida libre; solubilizadoras de fósforo; solubilizadoras de sulfato; movilizadoras de potasio; antagonista de patógenos; aliviadores del estrés abiótico de las plantas; bacterias probióticas que mejoran las respuestas de defensa de las plantas. Probablemente, la lista de diferentes bioinsumos seguirá creciendo con el tiempo.

### »Hacia dónde vamos #2.

#### Una gran anomalía y una revolución científica. El origen de los

#### microbiomas.

La tranquilidad en la ciencia de la microbiología se desvaneció hace algunos años después de una anomalía encontrada en el laboratorio: una comparación inconsistente de los recuentos de bacterias en las muestras de agua. En una revisión de Staley y Konopka (1985) se discutió una gran discrepancia (de dos o más órdenes de magnitud) entre el número de microbios contados por placa o por observación directa bajo el microscopio y se destacó una anomalía, con diferencias de valores de 1 a 100. Además de los diferentes aspectos técnicos que se pueden usar como posibles razones para explicar algunas diferencias entre los números finales de los diferentes métodos de recuento (células muertas frente a células vivas, células fisiológicas activas frente a células inactivas, células agrupadas en micro-colonias frente

**“El cultivo afecta la diversidad bacteriana en una micro escala, lo que sugiere que los efectos de manejo deben analizarse en este nivel de estructura del suelo”**

a células individuales, respuesta diferencial de células a un colorante particular o metabolito marcado, etc.), los análisis de Staley y Konopka señalaron algo más que problemas técnicos. Sus conclusiones sugirieron la existencia de una población de microbios no cultivables. Cuando se dispuso de métodos moleculares basados principalmente en el análisis de ADN y se aplicaron a diferentes muestras de entornos muy diferentes, estos microorganismos "no cultivables" se descubrieron y encontraron en todas partes. De repente, estábamos menos solos en el universo de lo que solíamos estar o que suponíamos estar. La microbiología "cultivable" que conocemos desde los tiempos de Pasteur constituye, en el mejor de los casos, el 1% de lo que existe en la naturaleza, no sólo en términos cuantitativos sino también cualitativamente, con respecto a su diversidad microbiana.

Todo cambió y todavía estamos trabajando en la comprensión del nuevo escenario.

### »Hacia dónde vamos #3.

#### Nuevas herramientas y enfoques de estudio para un nuevo escenario.

Los enfoques de metagenómica con el análisis de secuenciación masiva de ADN o ARN del suelo, abre la puerta a un escenario completamente nuevo donde la diversidad de bacterias, hongos, arqueas y protistas se puede describir en entornos particulares. La descripción de la diversidad y estructura del microbioma del suelo constituye un desafío completamente nuevo para una visión novedosa y sorprendente de la vida en la Tierra. No solo es importante la descripción de la estructura de la diversidad microbiana, sino que también se deben avanzar en la investigación de las funciones de los microbiomas del suelo.

Además de las técnicas de secuenciación de ADN o ARN, se han usado otras moléculas para describir microbiomas o funciones de microbiomas en el suelo. Los perfiles de lípidos del suelo analizados como ácidos grasos de los fosfolípidos o de las fracciones de lípidos neutros, se han utilizado para describir las estructuras de la comunidad microbiana y en nuestro laboratorio hemos podido discriminar con este análisis entre suelos de monocultivo de soja o suelos con rotación trigo/soja-maíz-soja. Dado que el suelo es un sistema biológico complejo, el análisis de la firma lipídica obtenida de los ácidos grasos de todo el suelo parece ser una herramienta poderosa para caracterizar el uso y manejo del suelo desde un punto de vista sistémico de la estructura y función del suelo. El rendimiento del cultivo depende en gran medida de la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Estos nutrientes pueden ser de origen químico proporcionado por los fertilizantes o productos de biofertilidad obtenidos después de la transformación de la materia orgánica por enzimas extracelulares liberadas al suelo por la mesofauna, macrofauna, microbios y plantas. Las actividades de Enzimas del suelo se han propuesto como índices biológicos de la calidad del suelo, la salud y la biodiversidad, ya que son una expresión de la función del suelo. Alternativamente, la actividad microbiana como perfil fisiológico puede medirse a través de curvas de consumo de oxígeno con diferentes fuentes de carbono agregado, un enfoque que hizo posible la diferenciación de suelos con diferentes historias de uso.

La función del suelo depende en gran medida de su estructura física y la estructura del suelo es una consecuencia de la integración de todas las partículas del suelo y microbios en diferentes tamaños y tipos de agregados como consecuencia de las interacciones entre las partículas minerales

# LO MEJOR DE LA CIENCIA

HOY ESTÁ EN LAS  
SEMILLAS DE MAÍZ ACA



En ACA producimos semillas de maíz con la mejor tecnología, especialmente desarrolladas para obtener el máximo potencial del campo argentino. Estándares globales de investigación en genética, gran estabilidad y alto rendimiento. **TU SEMILLA DE MAÍZ ES ACA.**



# “La microbiología del suelo es parte y escenario de una revolución del conocimiento”

y microbios. El estudio de la microbiología del suelo a escala acorde al tamaño del microorganismo, a nivel de macro (> 250  $\mu$ m) o micro (<250  $\mu$ m) agregados del suelo, muestra que la diversidad y la funcionalidad microbiana son diferentes según el tamaño de los agregados del suelo. El cultivo afecta la diversidad bacteriana en una micro escala, lo que sugiere que los efectos de manejo deben analizarse en este nivel de estructura del suelo.

Los primeros trabajos realizados en la Argentina sobre la descripción de los microbiomas del suelo agrícola muestran una estructura diferencial según el uso del suelo, la práctica de labranza o la práctica agrícola en términos de rotación de cultivos sin labranza, destacando que el monocultivo reduce la diversidad bacteriana en el suelo a nivel regional y que la intensificación y diversificación de la rotación de cultivos permite manejar los microbiomas del suelo. No solo las plantas, sino que los organismos de la fauna del suelo reconocidos como ingenieros del suelo, presentes en la meso y macrofauna, como las lombrices, colémbolos, hormigas, oribátidos, son probablemente otros actores clave en la conformación de los microbiomas del suelo.

Considero importante resaltar que la mayoría de los hechos descritos anteriormente se pueden utilizar como punto de partida para desarrollar indicadores de salud del suelo más precisos o sensibles que los clásicos indicadores químicos y físicos.

## » Los desafíos por venir

El aumento de la población mundial deriva en una creciente demanda de alimentos. Esta premisa se ha utilizado durante muchos años como un argumento para justificar la adopción de formas no sostenibles de hacer agricultura, basadas en un intenso uso de agroquímicos. Este modelo de agricultura trajo consecuencias, no previstas originalmente, de modificación del medio ambiente. Estos cambios condujeron, a su vez, a consecuencias no deseadas sobre la misma población mundial que era el objeto central de la declaración original. Por lo tanto, es esencial adoptar nuevas prácticas agrícolas que generen altos ren-

dimientos de los cultivos y que sean compatibles con un aumento de los servicios ecosistémicos del suelo para cubrir al mismo tiempo las demandas de producción, evitando la degradación del suelo.

Los servicios de los ecosistemas derivan de las actividades de los organismos que habitan el suelo, es decir, las plantas, la macro, meso, y micro-fauna y las comunidades microbianas. En una nueva visión que incorpora el concepto de microbioma, los diferentes usos y manejos del suelo modificarían los parámetros químicos y físicos del mismo, condicionando así la estructura de las comunidades microbianas que lo habitan. El nuevo desafío es aprender a manipular la rotación de cultivos y las prácticas agrícolas para gestionar el microbioma del suelo de modo de aumentar la fertilidad del suelo y mejorar la producción y salud de los cultivos. Esto que parece complejo, no creo que sea inabordable y considera que para hacerlo es necesario e imprescindible una interacción muy fuerte entre el sector académico y los productores agrícolas, entre el laboratorio y el campo. Todos los conocimientos y las observaciones suman a la construcción del nuevo paradigma. Es solamente una cuestión de saber mirar y pensar en equipo, con generosidad.

A nivel mundial se espera que las prácticas agrícolas futuras estén fuertemente influenciadas por los nuevos conocimientos que se están desarrollando sobre los microbiomas del suelo. La biodiversidad del suelo se manejará seleccionando una rotación de cultivos adecuada y el uso de cultivos de cobertura, de acuerdo con las posibilidades del entorno en particular. De esa manera configuraremos los microbiomas del suelo en la dirección correcta para aumentar la productividad de los cultivos de manera sostenible, utilizando los servicios del suelo. Si se logra este desafío, el uso de agroquímicos se reduciría y la ciencia agrícola podría ser una de las herramientas para actuar y mitigar el cambio climático global.

## » Consideraciones finales

La agricultura es uno de los hitos que marca el desarrollo de la humanidad donde el

hombre aparece como el domesticador de las plantas generando la posibilidad del manejo de cultivos. La incorporación de diferentes tecnologías a lo largo de la historia ha generado diferentes hitos o revoluciones agrícolas que mejoraron la eficacia en la producción de alimentos y fibras. Con una población mundial creciente, la agricultura busca expansión de superficie de acción, corriendo la frontera agrícola, o aumento de su productividad y efectividad.

La incorporación de tecnologías depende necesariamente de los conocimientos desarrollados por la ciencia, que se aplican a la mejora de los procesos agrícolas. El paradigma químico de la agricultura basado en un conocimiento de la fisiología vegetal que considera a las plantas como entes individuales que expresan su genética en función del ambiente y de una batería de herramientas químicas para mejorar la nutrición de las plantas y combatir las enfermedades o las malezas, se enfrenta hoy con el advenimiento de un nuevo paradigma que surge del conocimiento de los microbiomas en nuestro planeta, en particular en el suelo y en las plantas, que cambian completamente nuestra manera de comprender el desarrollo y funcionamiento de los cultivos en relación al ambiente. Esta novedad ofrece la posibilidad de incorporar la biología del suelo a la ecuación agronómica e ir abandonando, de a poco, el paradigma químico.

Curiosamente un historiador, Yuval N. Harari en su libro “De animales a dioses: breve historia de la humanidad”, ha descrito recientemente a la agricultura como un proceso inverso, donde no fue el hombre quien domesticó al trigo, sino que habría sido el trigo quien domesticó al hombre. Cambiar la mirada antropocéntrica del proceso agrícola, integrando la biología y la microbiología del suelo al proceso productivo quizás sea el comienzo de un cambio con muy buenas perspectivas. ■

**NOTA:** El trabajo sobre microbiología, bioquímica y biología del suelo del equipo del Dr. Luis Wall ha sido auspiciado en estos años por subsidios del MINCyT, CONICET, Universidad de Quilmes y muy particularmente por apoyos de AAPRESID y de la Regional Pergamino – Colón de AAPRESID.

**SYMPHONY**  
S-Metolaclo 96 EC

Protege y mantiene el cultivo limpio y libre de Malezas.

- Selectivo sobre una amplia diversidad de cultivos: Maíz, Maní, Soja, Algodón, Girasol, Poroto y Tabaco.
- Herbicida Pre-Emergente para el control de gramíneas anuales y algunas malezas de hoja ancha.
- Mayor stand de plantas, mejor desarrollo y mayor rendimiento.
- Puede ser utilizado solo o en mezcla.
- Todo el control en un tratamiento.



**ATANOR**  
UNA COMPAÑÍA ALBAUGH™



WWW.ATANOR.COM.AR