



Foto: Matías Oxley

# LAS COMUNIDADES DE MICROORGANISMOS ASOCIADOS A SUELOS ARROCEROS

Ing. Agr. Dr. Sebastián Martínez,  
Téc. Agr. Fernando Escalante

Programa de Investigación en Producción de Arroz,  
Laboratorio de Patología Vegetal

Los microorganismos del suelo poseen funciones ecológicas íntimamente relacionadas a la productividad vegetal, desde descomposición de residuos hasta patogenicidad. Además, son susceptibles a cambios locales por el manejo del cultivo pudiendo ser indicadores de impactos en el ambiente vinculados a la agricultura.

El Experimento de Largo Plazo (ELP) de rotaciones arroz, pasturas y otros cultivos de la Unidad Experimental de Paso de la Laguna, se estableció en 2012 para estudiar la sustentabilidad de los sistemas de producción arroceros en términos productivos, ambientales y económicos.

Este experimento incluye seis rotaciones de arroz con pasturas y otros cultivos y con diferentes niveles de intensificación, considerando el tiempo de cultivo en general, o de arroz en particular. Las rotaciones varían

desde aquellas menos intensas, como el tradicional sistema de arroz-pasturas (40% del tiempo con arroz), hasta las más intensas con 100% de agricultura e incluso 100% de arroz (arroz continuo). Estas rotaciones tienen una duración de uno (arroz continuo) hasta seis años (Figura 1).

Este estudio ha permitido conocer, en los últimos años, aspectos asociados al manejo y producción de arroz ante diversos escenarios de intensificación de los sistemas.

Año	2012-2013		2013-2014		2014-2015		2015-2016		2016-2017		2017-2018		2018-2019	
Arroz continuo	Arroz	Pastura												
Arroz y cultivos	Soja	Pastura	Arroz	Pastura	Sorgo	Pastura	Soja	Pastura	Arroz	Pastura	Sorgo	Pastura	Arroz	Pastura
Arroz y pastura corta	Arroz	Pastura	Pastura	Pastura	Arroz	Pastura	Pastura	Pastura	Arroz	Pastura	Pastura	Pastura	Arroz	Pastura
Arroz pasturas	Pastura	Pastura	Arroz	Pastura	Arroz	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Arroz	Pastura
Arroz pasturas (2)	Arroz	Pastura	Arroz	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Arroz	Pastura	Arroz	Pastura
Arroz, soja y pasturas	Arroz	Pastura	Soja	Pastura	Soja	Pastura	Arroz	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Pastura	Arroz	Pastura
Arroz y soja	Arroz	Pastura	Soja	Pastura	Arroz	Pastura	Soja	Pastura	Arroz	Pastura	Soja	Pastura	Arroz	Pastura

**Figura 1** - Esquema de las fases estudiadas del Experimento de rotaciones arroz-otros cultivos y pasturas de la Unidad Experimental de Paso de la Laguna. El experimento consta de seis rotaciones con duración desde un año (arroz continuo) hasta seis años. Niveles de intensificación arrocera, desde 100% (arroz continuo), hasta 33% (arroz, soja y pasturas) del tiempo con cultivo de arroz. La flecha roja indica el momento de muestreo, inicio del nuevo ciclo.

Principalmente se han estudiado aspectos sobre manejo del cultivo, dinámica de nutrientes, carbono orgánico, malezas, plagas y enfermedades.

Cumplido un ciclo total productivo del experimento se obtuvieron conclusiones importantes sobre la productividad física y económica y de la sustentabilidad del sistema. Estos conocimientos permiten entender los impactos del manejo del cultivo para establecer modelos productivos más eficientes y sostenibles ambientalmente, reduciendo el uso de insumos.

Si bien se ha empezado a generar información sobre la biología del sistema, es escasa la información sobre la diversidad de microorganismos de suelo asociados y las funciones que cumplen en estos procesos.

Así, se planteó en el mismo sentido estudiar la estructura, la función y los cambios ocurridos en las comunidades microbianas asociadas en las rotaciones propuestas con respecto al tradicional sistema de arroz y pasturas (Proyecto INIA AZ\_40 Diversidad de microorganismos en suelos arroceros) y su relación con la salud del suelo.

## LOS MICROORGANISMOS DEL SUELO

Los suelos son hábitats de gran diversidad biológica, no solo por la micro y meso fauna que sostienen, sino principalmente por los microorganismos que la habitan.

Estas comunidades microbianas de suelo están conformadas principalmente por tres grandes grupos de organismos: bacterias, hongos y protistas, cada uno cumpliendo funciones diversas y de diferente importancia en la formación y conservación del suelo.

Las bacterias en el suelo desempeñan un papel clave en la regulación de la dinámica del carbono terrestre, los ciclos de nutrientes y la productividad de las plantas. Sin embargo, la distribución y el rol que cumplen en los diferentes suelos permanece en gran parte sin conocerse. Estudios previos indican que unos pocos grupos de bacterias son dominantes en la mayor parte de los suelos

del mundo, bajo agricultura y en ambientes naturales. Además, la mitad de las comunidades bacterianas en suelos de todo el mundo están representadas por solo un 2% de las especies conocidas.

Por su parte, los hongos de suelo presentan una enorme diversidad de formas y estrategias de vida, desde saprofitas, pasando por mutualistas, hasta parásitos. Además, son los principales descomponedores de residuos lignocelulósicos (rastros) debido a las complejas enzimas extracelulares que producen. Los hongos tienen un impacto fundamental en los ecosistemas del suelo al producir y canalizar nutrientes a través de los diferentes niveles tróficos. Por ejemplo, transformando moléculas complejas en moléculas más simples utilizables por otros microorganismos como las bacterias.

Los protistas son organismos que no pertenecen a los animales, hongos y plantas, son omnipresentes en el suelo y contribuyen en forma clave al ciclo de nutrientes y la transferencia de energía. La mayoría de los suelos están dominados por protistas consumidores, aunque los parásitos y los fotosintetizadores son abundantes en algunos ecosistemas cálidos. La composición de estos depende en mayor medida de la precipitación anual, muy diferente de los predictores que dan forma a las comunidades de bacterias y arqueas (el pH del suelo). Algunos protistas y bacterias coexisten a nivel mundial, lo que destaca la importancia potencial de estas interacciones subterráneas, en gran parte no descritas.

Las comunidades microbianas poseen un alto nivel de diversidad, a su vez, debido a la diversidad y complejidad de los suelos que las sustentan.

La sustentabilidad de las rotaciones arroceras impone asociar la productividad con la sostenibilidad de los ecosistemas microbianos del suelo.

Comunidades particulares de microorganismos, ya sea bacterias, hongos o protistas, están asociadas a condiciones particulares de textura, pH y concentración de nutrientes, notablemente P, N y C. Por ejemplo, el pH del suelo es una de las determinantes más notables de las comunidades de bacterias presentes en un suelo determinado. Esta característica de manejar las comunidades de bacterias se estima que está influenciada principalmente por la alta sensibilidad y la baja tolerancia a rangos de pH de las células bacterianas. Otras relaciones particulares de los microorganismos existen con respecto a las características físicas y químicas del suelo, y algunas recién comienzan a conocerse.

Las plantas y microorganismos han coevolucionado y desarrollado relaciones de diversa índole, desde simbiosis hasta relaciones de patogenicidad, las que les permiten coexistir. Además, las plantas reciben estímulos del suelo y reaccionan a esos estímulos en formas muy variadas que afectan a las comunidades microbianas.

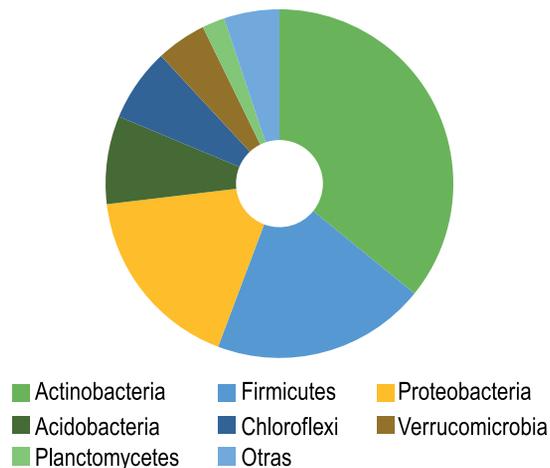
Las comunidades de microorganismos del suelo pueden contribuir de diversas maneras a la sustentabilidad de los sistemas agrícolas por la descomposición de residuos y reincorporación de nutrientes para ser utilizados por las plantas. Además, contribuyen a incorporar cantidades sustanciales de nitrógeno del aire, secuestran carbono, contribuyen al control de plagas y enfermedades, forman micorrizas con las plantas contribuyendo así a su adaptación al estrés o en la absorción de nutrientes y solubilización de minerales.

De esta forma, los microorganismos del suelo son capaces de afectar directa e indirectamente la productividad de los cultivos. Por el otro lado, el manejo agrícola de los suelos puede provocar impactos adversos en la estructura y funcionamiento de las comunidades que lo habitan.

Así, es de gran interés conocer los microorganismos más abundantes y ubicuos, la composición de las comunidades microbianas y los factores que estructuran las comunidades asociadas a los suelos cultivados con arroz en rotaciones con pasturas y otros cultivos. Conocer cómo estas comunidades se estructuran, cambian y las funciones asociadas que poseen, permitiría implementar medidas de manejo del cultivo de arroz más saludables que permitan mantener productividades sustentables en el tiempo.

Las comunidades de bacterias están determinadas por el porcentaje de tiempo que se cultiva arroz en el sistema.

## Bacterias



**Figura 2** - Porcentaje total de los principales grupos de bacterias encontrados en suelos arroceros del experimento de Largo Plazo de la Unidad Experimental de Paso de la Laguna.

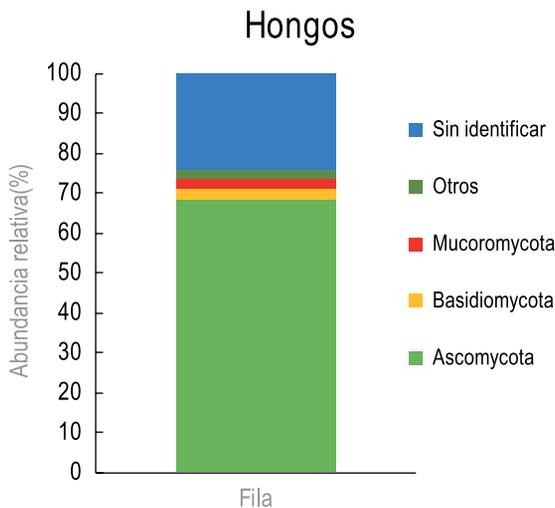
El estudio realizado en el ELP de la Unidad Experimental de Paso de la Laguna incluye estudiar la microbiota y las características físico-químicas de los suelos de las seis rotaciones arroceras. Estas incluyen arroz, otros cultivos, como sorgo y soja, y pasturas. Los extremos (testigos) de estos sistemas son el tradicional sistema arroz y pasturas, dos años consecutivos de arroz y tres años de pasturas, y rotaciones con 100% de agricultura, incluyendo arroz continuo o rotaciones agrícolas, con 50% de tiempo con arroz y el restante con soja y sorgo.

Para el experimento se muestrearon los suelos de siete fases del experimento previo a la siembra del cultivo de arroz. Estas fases permiten comparar el sistema arroz-pasturas luego de tres años de pradera y de un año de arroz, fases de cultivos con soja y sorgo y luego de uno y dos años de pasturas (Figura 1).

### DIVERSIDAD DE MICROORGANISMOS ENCONTRADA

Las bacterias identificadas como más comunes, basados en amplificación del gen 16S, pertenecen a los Fila Actinobacteria (35,8%), Firmicutes (19,9%) y Proteobacteria (17,4%), y en menor medida Acidobacteria, Chloroflexi, Verrucomicrobia, Planctomycetes y otros (Figura 2). Estos grupos son los más reportados en todo el mundo y son, además, los más comunes en suelo de pradera de Uruguay.

La mayor diversidad se encontró en suelos de la rotación arroz continuo y la menor en suelos de rotación de arroz con cultivos, como soja y/o sorgo. Además, algunos de esos grupos como Actinobacteria, Proteobacteria,



**Figura 3** - Porcentaje total de los principales grupos de hongos encontrados en suelos arroceros del experimento de Largo Plazo de la Unidad Experimental de Paso de la Laguna basado en el gen 18S.

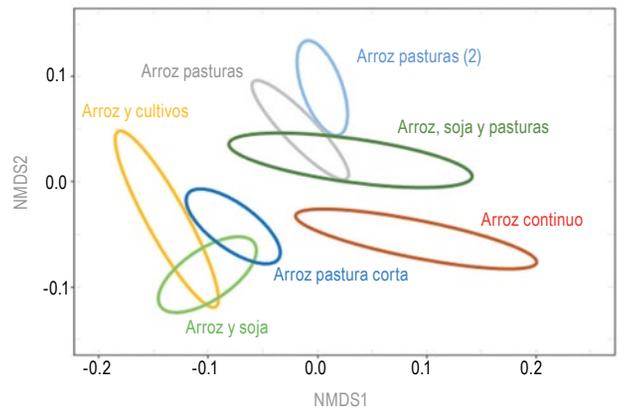
Verrucomicrobia, pero también Cianobacterias, estuvieron correlacionados a parámetros químicos del suelo, como contenido de P, K, C, N y pH.

Las comunidades de hongos, identificadas por los genes 18S e ITS, están dominadas por Ascomycetes. El segundo grupo en importancia fueron los Basidiomycetes, pero se encontraron representantes de todos los grupos fúngicos, aunque en baja frecuencia (Figura 3). Estos dos grupos de hongos son muy diversos e incluyen especies en todos los grupos tróficos y gremios conocidos. Ascomycetes, Basidiomycetes y Glomeromycota son los grupos más abundantes reportados en la mayoría de los suelos arroceros del mundo. Para los hongos se encontraron, además, correlaciones con el P para algunos grupos de menor abundancia, la escasa variación en niveles de C y N entre las diferentes rotaciones determina esas relaciones.

Dentro de los protistas fueron identificados como más abundantes en suelos arroceros las clases Rhizaria, Amebozoa y Stramenopilos, pero sin gran diferenciación entre rotaciones. Aunque aproximadamente un 50% de los protistas encontrados fueron rhizarios, varios grupos menores con roles ecológicos muy diversos y específicos están definiendo las comunidades bajo determinadas condiciones de cultivo o manejo. Algunos grupos, como Stramenopilos, tienen importancia para algunas rotaciones debido a que poseen miembros parásitos de plantas.

### COMUNIDADES DE MICROORGANISMOS EN LAS ROTACIONES

Las comunidades de bacterias están altamente determinadas por la frecuencia de arroz en la rotación más



**Figura 4** - Comunidades de bacterias encontrados en suelos arroceros del experimento de Largo Plazo de la Unidad Experimental de Paso de la Laguna. En el esquema se diferencian tres grupos separados por los ejes (NMFDS) de acuerdo a porcentaje de arroz en la rotación: 1) arroz continuo (100%), 2) arroz y pasturas (arroz 1 y 2) y arroz con soja y pasturas (33-40%), y 3) arroz y cultivos, arroz y soja y arroz y pastura corta (50%).

que por la frecuencia de los diferentes cultivos. Las tres grandes comunidades de bacterias están asociadas a: 1) arroz continuo (100% arroz), 2) arroz con otros cultivos (soja y/o sorgo) o pastura corta (50% de arroz), y 3) asociada a las rotaciones más laxas con soja y/o pasturas (33-40% de arroz) que incluye las dos fases de arroz y pasturas. Para el sistema tradicional de arroz y pasturas no se encontraron grandes diferencias en las comunidades para arroz de primer o segundo año (Figura 4).

La abundancia de Proteobacteria diferenció al sistema arroz-pasturas y arroz continuo de las rotaciones con cultivo. Además, Chloroflexi lo diferencia de arroz continuo y Verrucomicrobia de las rotaciones de arroz con cultivos. Los grupos Archaea y Cyanobacteria fueron características del arroz continuo, afectadas por el mayor tiempo en condiciones de inundación que posee este sistema.

Las comunidades de hongos fueron algo diferentes a las de bacterias y, aunque con leves diferencias entre los genes 18S e ITS, se encontraron cuatro comunidades de acuerdo con las rotaciones. Además, la rotación arroz y pasturas posee dos comunidades diferentes, dependiendo del ciclo post pastura o arroz. Las cuatro comunidades de hongos encontradas se agrupan de

Las principales especies de hongos son descomponedores de residuos (rastros) y similares entre rotaciones.



**Figura 5** - Cultivo de arroz sobre rastrojo de sorgo en parcela del experimento de Largo Plazo de la Unidad Experimental de Paso de la Laguna. El residuo grueso del sorgo no determina una comunidad de microorganismos diferente a la de otras rotaciones de cultivos.

acuerdo a: 1) rastrojo de arroz de rotación arroz-pastura (previo a segundo año) y arroz continuo (arroz sobre arroz), 2) rotaciones menos intensas, después de dos o tres años de pasturas (33-40% arroz), 3) arroz con otros cultivos como soja y sorgo (arroz año por medio, 50%), y 4) arroz pastura corta, con una comunidad similar e intermedia a las dos anteriores (50% arroz) (Figura 5).

Aunque se encontraron pequeñas diferencias entre rotaciones, las mismas especies fueron dominantes en todas ellas. Las especies más comunes fueron todas Ascomycetes: *Fusarium oxysporum*, un patógeno ocasional de diversos cultivos, *Chaetomium globosum*, asociado a la descomposición de residuos celulósicos de los cultivos y *Talaromyces purpurogenus* y varias especies de *Penicillium*.

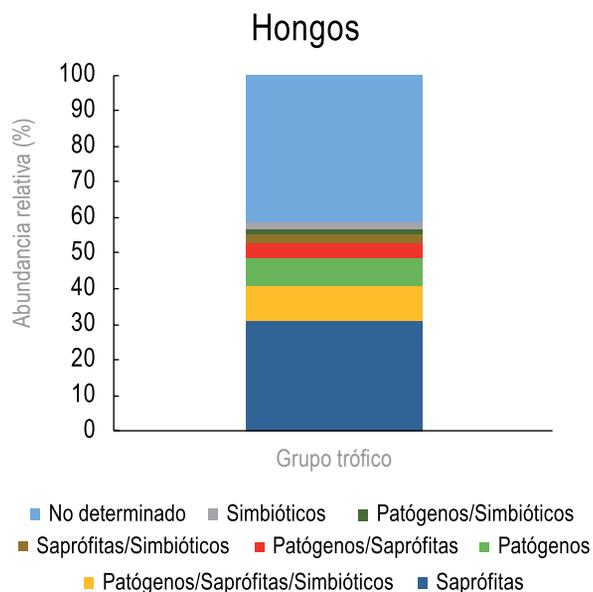
El segundo grupo en importancia, los Basidiomycetes, está mayoritariamente representado por levaduras perteneciente a los Tremellomycetes y que en gran medida descomponen residuos lignocelulósicos y poseen importancia en formar agregados de suelo. En las rotaciones con soja, principalmente arroz con cultivos y arroz soja, fue más abundante *Athelia rolfsii* (*Sclerotium rolfsii*), reportado como patógenos en soja.

Las comunidades de hongos están dominadas principalmente por especies saprófitas que descomponen los residuos del rastrojo (Figura 6). En segundo lugar, por la abundancia, aparecen especies de hongos con capacidad patogénica bajo determinadas condiciones.

No se encontró una abundancia importante de *Pyricularia oryzae*, agente causal del “brusone” y principal hongo patógeno del arroz. Otros hongos patógenos, como *Nakataea oryzae*, causante de la “podredumbre de tallo”, y especies de *Rhizoctonia* causantes de “manchado de vainas”, aparecieron en frecuencia bajas y no fueron dominantes en ninguna de las rotaciones. Era esperable encontrar mayores frecuencias de estos patógenos

ya que permanecen en el suelo y rastrojos en forma de esclerocios y son enfermedades características de suelos con altos niveles de intensificación y/o simplificación.

Conocer la composición de las comunidades microbianas en el ELP permitirá en un futuro asociar los organismos a prácticas de manejo que permitan proponer sistemas más sostenibles ambiental y productivamente. Para ello, se continúan los estudios para dilucidar las funciones que cumplen estas comunidades.



**Figura 6** - Porcentaje total de los principales grupos tróficos de hongos encontrados en suelos arroceros del experimento de Largo Plazo de la Unidad Experimental de Paso de la Laguna basado en el gen ITS. Los porcentajes indican el porcentaje de individuos asociados más probablemente a esa función en el ecosistema.