

EFECTO DE LA DOSIS, DEL MOMENTO DE APLICACIÓN EN EL RENDIMIENTO Y EN LA ACTIVIDAD MICROBIANA DEL SUELO

Optimización de la fertilización en la producción integrada de arroz

Para avanzar en el desarrollo de un cultivo sostenible, es necesario mejorar la práctica agrícola arrocera mediante la optimización de la fertilización, así como conocer y conservar la estructura biótica de las Marismas del Guadalquivir, en las que se cultiva. El

proyecto desarrollado por Fundación Caja Rural del Sur, la Federación de Arroceros de Sevilla y AGQ pretende conseguir un uso más racionalizado y eficiente en el empleo de fertilizantes, sin perjuicios para las áreas protegidas vecinas.

Nathalie Chavrier¹, Jaime de Vicente² y Manuel Megías³

¹ Responsable técnico del sector Agroalimentario en Corporación Tecnológica de Andalucía.

² Responsable de Servicios Agrarios de Fundación Caja Rural del Sur.

³ Catedrático de Microbiología de la Universidad de Sevilla.

La sostenibilidad es uno de los grandes retos que afronta la agricultura moderna en un contexto de creciente preocupación por el impacto medioambiental de la huella humana. La investigación de tecnologías que favorezcan el mejor crecimiento de los cultivos con el menor efecto contaminante posible constituye uno de los principales caminos abiertos en esta dirección. La innovación, que no es otra cosa que la aplicación de nuevos conocimientos para mejorar los procesos, productos y servicios existentes, es una valiosa herramienta para avanzar hacia una agricultura más sostenible.

La Fundación Caja Rural del Sur, la Federación de Arroceros de Sevilla y la empresa AGQ colaboran en el desarrollo de un proyecto de I+D+i financiado por Corporación Tecnológica de Andalucía (CTA) y

la Agencia IDEA (Junta de Andalucía), para conseguir una fertilización química profesionalizada de los campos de arroz con el fin de reducir su impacto ambiental, sobre todo por la eliminación total de la contaminación del agua por nitratos. Además, el proyecto, bajo el nombre de Renupia, ha analizado el impacto de la fertilización en la actividad microbiológica del suelo mediante una huella genética o fotografía del ADN del suelo antes y después de la aplicación de los productos químicos, con el fin de aplicar la medida y composición justa para preservar los nutrientes naturales del suelo.

Los socios del proyecto pretenden liderar el proceso de transformación en un sector estratégico de la agricultura en Andalucía, como es el arrocero, mediante la minimización de cualquier impacto ambiental, en este caso en las Marismas del Guadalquivir, por su cercanía al Parque Nacional de Doñana.

El proyecto, en el que participa el grupo de investigación de biotecnología de la interacción beneficiosa planta-microorganismo de la Universidad de Sevilla, ha validado la utilización de una tecnología de sondas de succión (o lisimétricas) en el cultivo de arroz para determinar la fertilización adecuada al terreno y al cultivo en cuestión, de forma que se aprovechen los recursos nutricionales y la conservación de la estructura biótica del

suelo. Además, las investigaciones realizadas sientan las bases para el uso de biofertilizantes como medida para disminuir los productos químicos que se utilizan en la actualidad en los cultivos de arroz.

España es la segunda mayor productora de arroz de la Unión Europea, con un 27% del total de la producción comunitaria, precedida sólo por Italia, con un 56%. Andalucía es, a su vez, la primera comunidad productora de arroz de España, con la mayor parte de la producción concentrada en Sevilla, que produce el 40% del total nacional. Desde 2003, casi la totalidad de la superficie arrocera se encuentra acogida al sistema de producción integrada, que es un paso intermedio entre la agricultura convencional y ecológica y que se define como un sistema de alta calidad que utiliza mecanismos de regulación naturales, respetuosos con el medio ambiente y capaces de mantener la rentabilidad de las explotaciones.

Sondas de succión para optimizar la fertilización

Uno de los objetivos específicos del proyecto ha sido probar la viabilidad de las sondas de succión o lisimétricas como tecnología para optimizar el uso de los fertilizantes. El estudio de viabilidad validaría esta meto-

dología para conocer los nutrientes del suelo previos a la siembra, adecuar los métodos de fertilización y los momentos de aplicación al cultivo, valorar la movilidad de nutrientes en el sistema suelo-agua, evaluar el impacto ambiental del uso de los fertilizantes en la actividad microbiana del suelo y analizar la posibilidad del uso de biofertilizantes como alternativa a los productos químicos.

Dado que la práctica totalidad del cultivo del arroz de la provincia de Sevilla (Marismas del Guadalquivir) se encuentra acogida al sistema de producción integrada (sistema de producción agrario respetuoso con el medio ambiente), los trabajos se desarrollaron tanto en una situación de ambiente controlado (parcela experimental) como en parcelas agronómicas, en las que el agricultor realiza las prácticas culturales recogidas en el Reglamento específico de producción integrada. Para seleccionar estas parcelas agronómicas, se utilizó la memoria técnica del cultivo elaborada por la Federación de Arroceros de Sevilla desde 1998 y cofinanciada por la Fundación Caja Rural del Sur.

Uno de los objetivos fundamentales en los ensayos en parcelas de experimentación fue el estudio del efecto de la dosis de fertilizante nitrogenado sobre el contenido de nitrógeno en el suelo en el momento de la siembra y sobre la disponibilidad de este nutriente a lo largo del ciclo. También se pretendía caracterizar su influencia sobre los aspectos nutricionales más relevantes del sistema suelo-planta-agua a lo largo de todo el ciclo del cultivo, así como el estudio de la influencia de los microorganismos como coadyuvantes en la fertilización.

Durante el primer año de trabajo de campo, se realizó un ensayo en parcelas experimentales teniendo en cuenta cuatro niveles de fertilización nitrogenada (0, 125, 150 y 175 UFN) en forma de urea 46% sobre dos variedades comerciales muy utilizadas en las Marismas arroceras sevillanas, como son J. Sendra (tipo Japónica) y Puntal (tipo Índica). Se realizaron muestreos foliares, de agua de inundación y de solución de suelo a 10 cm en tres estadios fenológicos: ahijado, floración y grano pastoso. Como resultado de estos muestreos, se generó una base de datos constituida por 72 análisis foliares y 144 soluciones. Para el análisis de datos, se realizaron análisis de la varianza teniendo en cuenta tres factores fijos (variedad, estado fenológico y dosis) y siete variables depen-



Ensayo en parcelas experimentales durante 2007 con cuatro niveles de fertilización nitrogenada sobre dos variedades comerciales: J. Sendra y Puntal.

dientes (N, P, K, Ca, Mg, Cl y Na). En cuanto a las parcelas agronómicas, se caracterizaron ocho zonas de cultivo y en cada una de ellas se seleccionaron parcelas agrícolas referenciadas catastralmente y sobre una variedad de arroz (Puntal). De nuevo, se realizaron muestreos foliares, de agua de inundación y de solución de suelo en tres estadios fenológicos (ahijado, floración y grano pastoso) y en cinco puntos de la parcela según la dirección del riego (dos puntos en la zona próxima a la entrada del agua de riego, un punto de recogida central de la parcela y dos puntos en la zona de salida del agua de riego). Los datos fueron estudiados mediante análisis

de la varianza tomando dos factores fijos (estado fenológico y zonas) y siete variables dependientes (N, P, K, Ca, Mg, Cl y Na).

En el segundo año de trabajo de campo, se ensayaron dos momentos de fertilización nitrogenada (fondo y cobertera) en parcelas experimentales y sobre la variedad Puntal, con un diseño en bloques al azar con tres repeticiones.

Por último, se generó una base de datos analíticos integrada por 56 análisis de suelo, 112 análisis foliares y 252 soluciones (140 agua de inundación y 112 solución de suelo 10 cm) y todos los datos se analizaron estadísticamente mediante análisis de la varian-

za. En parcelas agronómicas, se volvieron a escoger las mismas zonas caracterizadas y se seleccionaron dos parcelas contiguas de la variedad Puntal. Se seleccionó la entrada y la salida del agua como puntos de muestreo, mientras que para la toma de datos del suelo se determinaron dos momentos: antes de la fertilización y quince días después de la inundación. Para las muestras de agua de inundación se seleccionaron cuatro estadios fenológicos: a los quince días de la inundación, ahijado, preñez y grano lechoso-pastoso. Finalmente, para las muestras foliares y de solución de suelo, se escogieron tres momentos: ahijado, preñez y grano lechoso-pastoso.

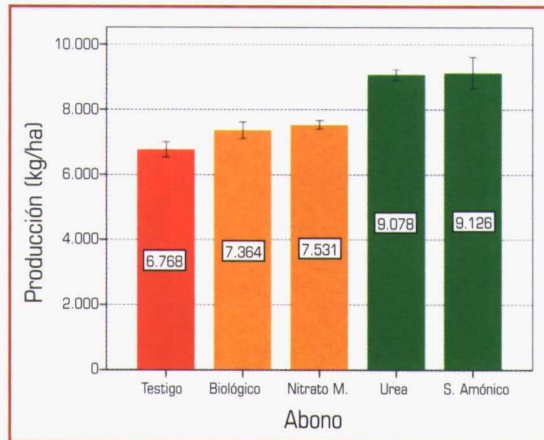
Resultados del proyecto

El proyecto Renupia ha realizado, por primera vez un estudio de la diversidad de microorganismos en los arrozales sevillanos. Los trabajos llevados a cabo permiten conocer la fertilidad propia de los suelos y el estado de salud ambiental del ecosistema agua-suelo-arroz-microorganismos.

Los estudios se realizaron durante las campañas 2006/07 y 2007/08, en las que las condiciones de escasez de agua obligaron a reducir la superficie habitualmente cultivada en Sevilla. Los resultados del análisis físico-químico de las muestras

FIGURA 1.

Producción de arroz en los estudios realizados en parcelas experimentales con diferentes tipos de fertilización.



Biológico: Biofertilizantes bacteriano; Nitrato M: Nitrato cálcico; Urea: Ureicos y S. Amónico: Sulfato Amónico

obtenidas por la aplicación de sondas lisimétricas se compararon con los análisis de la actividad microbiana del suelo (que indica lo "vivo" que se encuentra el mismo), con la influencia de los microorganismos en la movilización del fertilizante nitrogenado mediante el estudio de la actividad ureasa en el suelo y con el análisis de los parámetros agronómicos del rendimiento de las cosechas.

Podemos distinguir entre los resultados obtenidos en las parcelas agronómicas y los obtenidos en las parcelas experimentales, en las que realmente se probaron las dife-

rentes condiciones de fertilización con abonos nitrogenados, ya que en las parcelas agronómicas se siguieron las prácticas agrícolas propias de la producción integrada de arroz.

Parcelas experimentales

En las parcelas de experimentación, el nitrógeno total existente en el suelo antes de la siembra es independiente del tipo de abono utilizado y las formas de nitrógeno mayoritarias en el suelo fueron amonio y nitratos. El nitrógeno mineral en las diferentes parcelas de ensayo sigue la pauta esperable: tras el abonado de fondo, los niveles N_{min} suben en todas las parcelas fertilizadas, excepto en las testigos y abono biológico. Esta consecuencia es aún más acusada en las parcelas en las que toda la dosis se aplica en fondo. El sulfato armónico y la urea fueron los abonos que mayores concentra-

ciones de nitrógeno mineral indujeron en el suelo en el momento de la siembra. En el sistema suelo-planta-agua, el tipo de abono nitrogenado utilizado afectó significativamente a los rendimientos de arroz. La urea y el sulfato armónico incrementaron sensiblemente la producción en más de 2.000 kg/ha respecto al testigo (figura 1).

El abonado produce sólo un ligero aumento en las concentraciones de amonio y nitrato en el suelo. El aporte de toda la dosis en fondo produjo niveles de nitrógeno soluble algo superiores respecto a la cobertura. El fraccionamiento del abono nitrogenado aumentó ligeramente los rendimientos del arroz, aunque de forma no significativa (el aumento se estimó en unos 500 kg/ha).

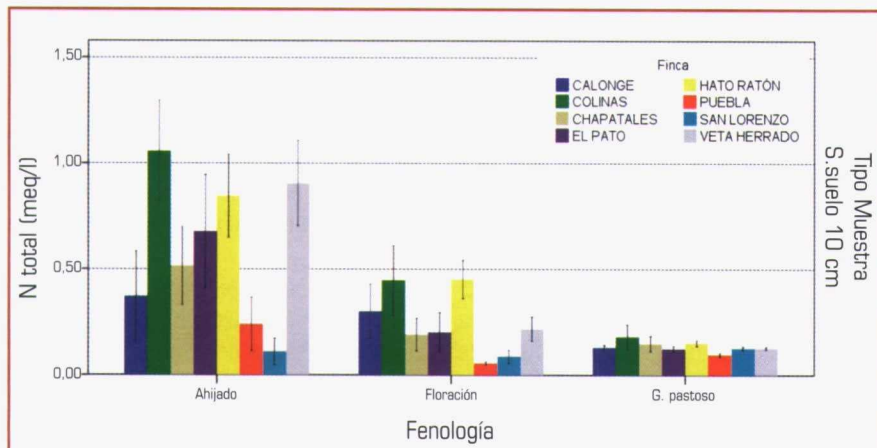
Al igual que lo observado para el tipo de abono, el fraccionamiento del abono nitrogenado aparentemente no modifica la disponibilidad del nitrógeno en el suelo para la planta, y se observa que los niveles de nitrógeno en el agua de inundación y suelo son similares a lo largo de todo el ciclo. Esto podría indicar que los niveles de nitrógeno en disolución en el sistema agua-suelo están más relacionados con el grado de eutrofización del agua de inundación que con el tipo de fertilización realizada.

Parcelas agronómicas

En cuanto a las parcelas agronómicas, las campañas 2006/07 y 2007/08 estuvieron marcadas por la escasez de agua, lo que

FIGURA 2.

Evolución del contenido de nitrógeno en los diferentes estados fenológicos del cultivo de arroz en diferentes parcelas agronómicas de las Marismas del Guadalquivir.



ha reducido la superficie sembrada de 36.500 ha a 18.398 ha. La mala calidad del agua de riego durante casi toda la campaña, sobre todo en la margen derecha del río, junto al elevado índice de salinidad y la alta incidencia de plagas como el pulgón, originaron una importante merma en la producción de arroz respecto a los últimos cinco años. Pese a que en 2008 la campaña puede ser calificada de catastrófica, los rendimientos industriales son aceptables, al igual que la calidad del grano, lo que permitió obtener conclusiones muy importantes en estos periodos de crisis climáticas.

Los análisis realizados de los contenidos de nitrógeno del sistema suelo-planta-agua de las Agrupaciones de Producción Integrada (APIs) indicaron que las parcelas con dosis más bajas de nitrógeno son las que muestran una disponibilidad de nitrógeno más alta al inicio del ciclo. A partir de la floración, todas las APIs muestra disponibilidades similares de nitrógeno, independientemente de la dosis aplicada. No parece existir una relación clara entre la disponibilidad de nitrógeno en el agua de inundación y el rendimiento, ni sobre la disponibilidad en el suelo.

Tras estudiar la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en las diferentes APIs, no se han encontrado relación entre el nivel de rendimiento y la disponibilidad de estos nutrientes en el suelo.

La disponibilidad de nitrógeno en el suelo fue mayor que en el agua de inundación al inicio del ciclo, pero, conforme éste avanzaba, las diferencias se redujeron hasta registrarse concentraciones de nitrógeno en el suelo inferiores a las del agua de inundación al final del ciclo. Esto podría deberse al agotamiento del abonado de fondo a lo largo del periodo de cultivo (**figura 2**). Cabe resaltar que, mientras que en el suelo la mayor parte del nitrógeno aparecía en forma amoniacal, en el agua de inundación predominaban los nitratos. Se observó a lo largo de todo el ciclo que la disponibilidad de nitrógeno en el suelo era superior en la zona de salida del agua de inundación respecto a la de entrada. Sin embargo, ocurría lo contrario con el agua de inundación, donde la concentración de nitrógeno se reducía conforme ésta atravesaba la tabla.

Estudio de la biodiversidad del suelo

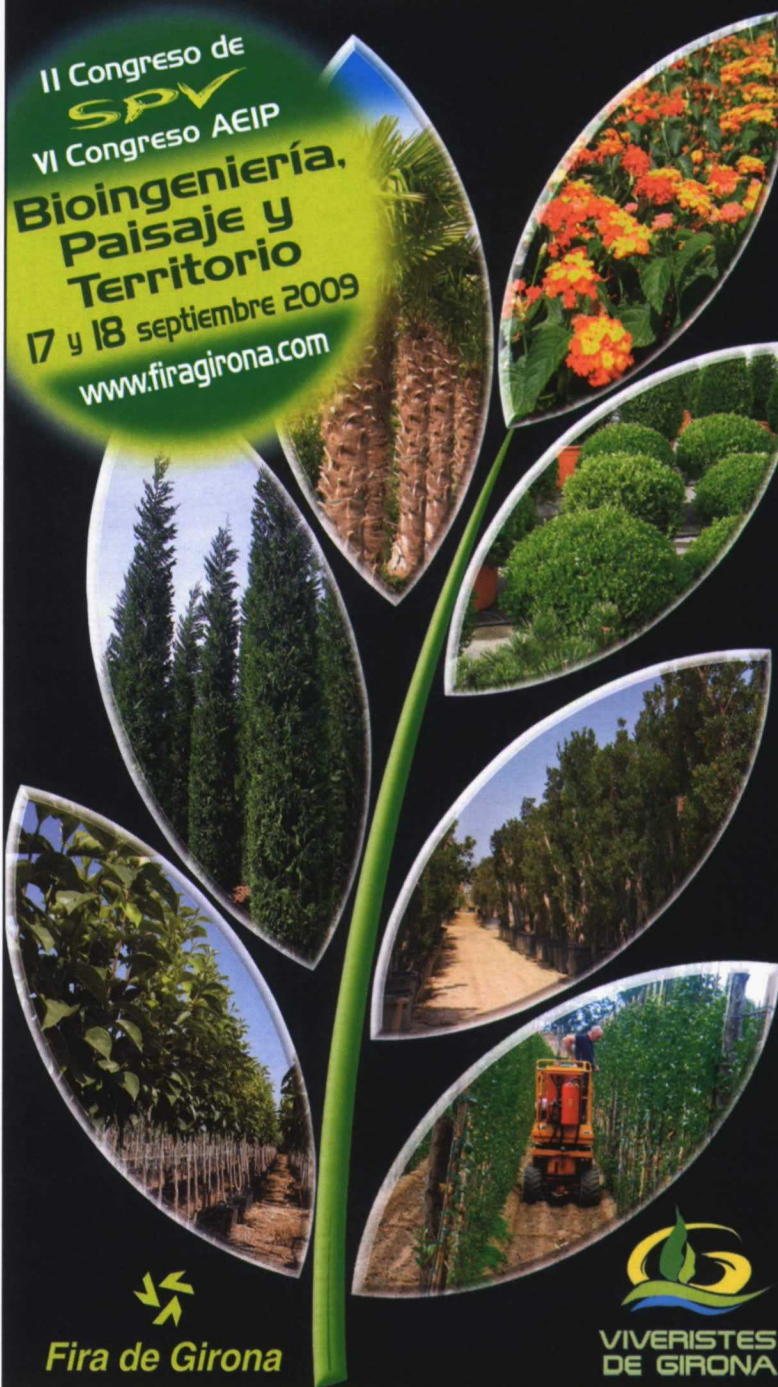
El estudio de los microorganismos del suelo determina su fertilidad, ya que dichos microorganismos intervienen en los ciclos biológicos de las materias. En este proyecto, se estudió la actividad microbiana de los suelos mediante la medida de síntesis de ácidos nucleicos y de la síntesis de proteínas por los microorganismos, lo que demuestra que éstos son activos metabólicamente. Por otra parte, dado que la fertilización de la mayoría de parcelas agronómicas se abona con urea, se consideró interesante estudiar la actividad ureasa que tenían los microorganismos del suelo como indicador de la participación de éstos en la movilización de nutrientes nitrogenados. Además, se caracterizó la población total de microorganismos, tanto cultivables como no cultivables, como índice de la riqueza de los suelos y como marcador o huella genética del suelo, capaz de mostrar las modificaciones debidas a las prácticas agrícolas.

Para el estudio de la biodiversidad, se tomaron muestras de suelo de arrozal y rizosfera en distintos momentos del cultivo en ocho parcelas diferentes, distribuidas por toda la Marisma y pertenecientes a distintas comunidades de regantes, con lo que se abarcaron diversos tipos de agua, por si esto tuviera alguna in-



SALÓN DE LA PLANTA JARDÍN Y COMPLEMENTOS GIRONA

II Congreso de
SPV
VI Congreso AEIP
**Bioingeniería,
Paisaje y
Territorio**
17 y 18 septiembre 2009
www.firagirona.com



Fira de Girona

VIVERISTES
DE GIRONA

17, 18 y 19 SEPTIEMBRE 2009

info@firagirona.com - www.firagirona.com

34 900 352 930

Con el soporte de



Generalitat de Catalunya
Departament d'Agricultura
Alimentació i Acció Rural



Diputació de Girona



Ajuntament de Girona

Colabora



VIVERISTES
DE CATALUNYA

Patrocina

LA VANGUARDIA

"la Caixa"

FIGURA 3.

Estudio de la actividad biológica de los suelos de las parcelas de experimentación en diferentes estados fenológicos de la planta mediante marcaje radioactivo con leucina.

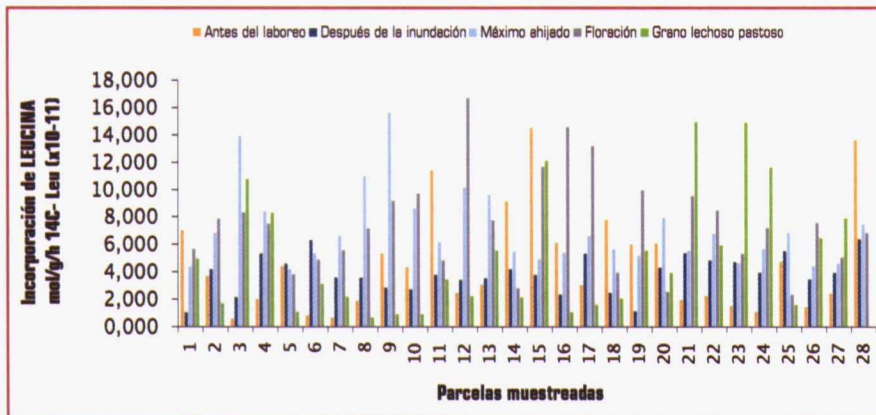
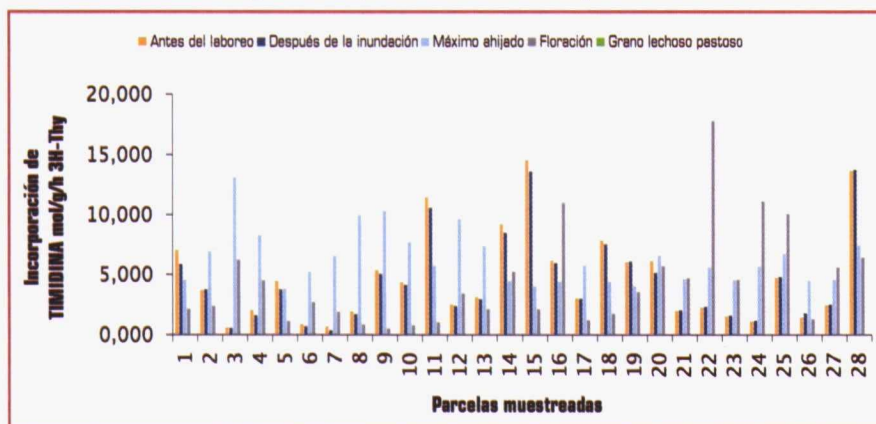


FIGURA 4.

Estudio de la actividad biológica de los suelos de las parcelas de experimentación en diferentes estados fenológicos de la planta mediante marcaje radioactivo con timidina.



fluencia. Como factores comunes entre dichas parcelas, se eligió la variedad de arroz (Puntal) y el tipo de abono (urea, 150 UFN/ha en fondo antes de la siembra).

También se estudiaron de las mismas muestras de suelo o suelo rizosférico la actividad biológica de los suelos en las parcelas agronómicas y parcelas experimentales y se estudió el marcaje radioactivo con timidina (indicador de síntesis de ácidos nucleicos) o con leucina (indicador de síntesis de proteínas) (figuras 3 y 4).

Conclusiones generales

Las principales conclusiones del proyecto son las siguientes:

- No se han observado diferencias significativas en los rendimientos obtenidos con

dosis de nitrógeno en forma de urea comprendidas entre 125 y 175 UF de nitrógeno, tanto en la variedad Puntal como en J. Senadra.

- El nitrógeno total del suelo no es un buen indicador de la fertilidad nitrogenada en los suelos destinados al cultivo del arroz en la Marisma del Guadalquivir. Sin embargo, la determinación del nitrógeno mineral se ha mostrado más útil para valorar la fertilidad del suelo y, por tanto, para diseñar las dosis de abonado necesarias en cada parcela.

- Los bajos contenidos en nitrógeno observados en la solución del suelo, independientemente de la dosis aplicada, sobre todo a partir de floración donde los contenidos son incluso inferiores a los del agua de riego, indican que los riesgos de lixiviación de nitrógeno son escasos.

- Los niveles foliares de N, P, K, Ca y Mg en el

arroz cultivado en la Marisma del Guadalquivir presentan valores y cambios estacionales característicos a lo largo del ciclo, que difieren significativamente de los recogidos en los estándares que la bibliografía propone para la interpretación de los análisis foliares de arroz.

- Los abonos a base de amonio y urea producen niveles de nitrógeno mineral (nitratos, amonio y urea) sensiblemente más altos que el resto de fuentes nitrogenadas tras el abonado de fondo, por lo que resultan los más eficientes.

- El tipo de abono nitrogenado utilizado afectó significativamente a los rendimientos de arroz, siendo la urea y el sulfato amónico los que mayor productividad inducen, incrementando la producción más de 2.000 kg/ha sobre el testigo.

- El fraccionamiento de la dosis de nitrógeno reduce ligeramente la disponibilidad de nitrógeno mineral en el momento de la siembra pero aumenta ligeramente los rendimientos del arroz, aproximadamente en 500 kg/ha.

- No se ha observado un efecto claro de la dosis de nitrógeno aplicada en la APIs con los rendimientos ni los niveles foliares de nitrógeno observados.

- En general, se observa muy baja disponibilidad de fósforo en todas las APIs estudiadas, y no se observan diferencias significativas entre diferentes zonas de las parcelas.

- Observamos que, en todas las parcelas experimentales, siempre se produce un aumento de la actividad biológica en el estado fenológico máximo ahijado y floración (siendo mayor el primero) con respecto a los estados fenológicos restantes. Dicho aumento podría deberse al aporte de nutrientes suministrados por la planta lo que favorece el crecimiento de los microorganismos próximos a la raíz.

- En relación a las APIs, la tendencia general de la evolución de la actividad biológica es similar a la observada en las parcelas experimentales, produciéndose también un aumento significativo en la fase de máximo ahijado y floración respecto a los estados fenológicos anteriores.

- Por término general, existe más actividad de microorganismos en la entrada que en la salida de la parcela. Como es lógico, el agua puede arrastrar microorganismos o materia en suspensión que favorecen esta condición.



Vista de los ensayos realizados durante 2008 con la aplicación de nitrógeno en fondo y cobertera sobre la variedad Puntal.

- Las parcelas con condiciones de cultivos y riego similares guardan similitudes respecto a la actividad biológica de los suelos.
- La actividad ureasa es más elevada en los estadios de máximo ahijado y floración y en menor medida en grano lechoso pastoso, lo que también resulta lógico, ya que estos dos estadios son en los que la planta necesita más nitrógeno. La influencia de la ureasa podría estar directamente relacionada con las aplicaciones agrícolas.
- Los métodos utilizados para el aislamiento de ADN de suelos obtienen muy buenos resultados con este tipo de terreno. Para el estudio de la biodiversidad de bacterias culti-

vables y no cultivables en los arrozales se pueden utilizar técnicas basadas en la amplificación del ADN 16S y electroforesis en gradiente desnaturalizante (DGGE).

- Los datos resultantes del estudio de los perfiles moleculares de los suelos nos indican una tendencia común de todos los suelos a lo largo de la evolución del cultivo. La planta de arroz ejerce una alta presión selectiva sobre la población microbiana presente en los suelos de las Marismas. La diversidad bacteriana fluctúa en función de los exudados producidos por la raíz, siendo más reducida cuando la planta se encuentra en estadios más avanzados.

Como novedad del proyecto, es importante destacar el carácter multidisciplinar y consorciado de los miembros, así como el grado de coordinación del mismo. Con el fin de mantener el objetivo principal del proyecto, se han abordado líneas de investigación aplicada que incluyen una transferencia tecnológica directa, entre las que destacan líneas biotecnológicas de investigación molecular, tecnológicas y agronómicas.

Además, el desarrollo con éxito del proyecto ha derivado en la creación de una spin-off surgida de uno de los grupos de investigación participantes en el proyecto (BIO-169) y otros grupos de la Universidad de Sevilla. ●



El 26 de septiembre 2009 los agentes Antonio Carraro le esperamos para presentarle la Serie Ergit 100, una nueva idea de tractor: cinco modelos de características exclusivas para la agricultura especializada de gama alta. Venga a sorprenderse y a probar una serie destinada a convertirse en mítica. Para saber más visite la web ANTONIOCARRARO.COM y los agentes adheridos a la iniciativa.



Tractor people