

Ing. Agr. Ricardo Melgar  
Est. Exp. Pergamino INTA  
rjrmelgar@gmail.com

# LAS INNOVACIONES EN LA EFICIENCIA del uso de nutrientes

La agricultura tiene por delante un gran desafío para satisfacer la creciente demanda mundial de alimentos, fibras y biocombustibles. En este sentido, el rol de los países del Mercosur en la producción de granos es esencial para la satisfacción de esta demanda. Al ritmo actual de crecimiento de la producción de cereales, en diez años el Mercosur suministrará 425 millones de toneladas de granos por año, un aumento de 113 millones de toneladas por sobre el producido en 2012. Se espera que este aumento sea logrado por el aumento de la superficie cultivada, de casi 22 millones de hectáreas, además del aumento de los rendimientos de grano por unidad de área, que para la región es 1,6 % y 2,2 % anual para la soja y el maíz respectivamente.

El crecimiento económico mundial y el surgimiento de la clase media en las naciones emergentes, junto con la expansión de la población mundial, son los principales responsables de la creciente presión colocada en la agricultura para lograr ese aumento de la producción de productos agrícolas. La pobreza está claramente en disminución, sobre todo en las grandes economías emergentes como China, India y Brasil. Así como también el número de hogares de clase media en los países en desarrollo que pasará de alrededor del 24% de los hogares en 2012 a una previsión del 51 % en 2020. Esto tendrá un impacto significativo en las dietas consumidas en estas naciones, tanto en términos de cantidad y calidad, y va a liberar una mayor proporción más del ingreso disponible para gastar en alimentos «de lujo», tal como una mayor cantidad de proteínas de origen animal.

Los agricultores y empresas agrícolas pueden tranquilamente satisfacer esta creciente demanda de alimentos, fibras y combustibles, ya sea cultivando más tierras, aumentando los rendimientos en las tierras ya cultivadas o por una combinación de ambos efectos. La expansión de la superficie cultivada en cantidades significativas solo es factible en un limitado número de países. Por otra parte son cuestionables varios aspectos sobre la calidad de la tierra adicional posible de utilizarse así como el impacto ambiental en otros ecosistemas, y la infraestructura disponible en estas áreas nuevas, normalmente a una distancia considerable de los puertos y de los mercados.

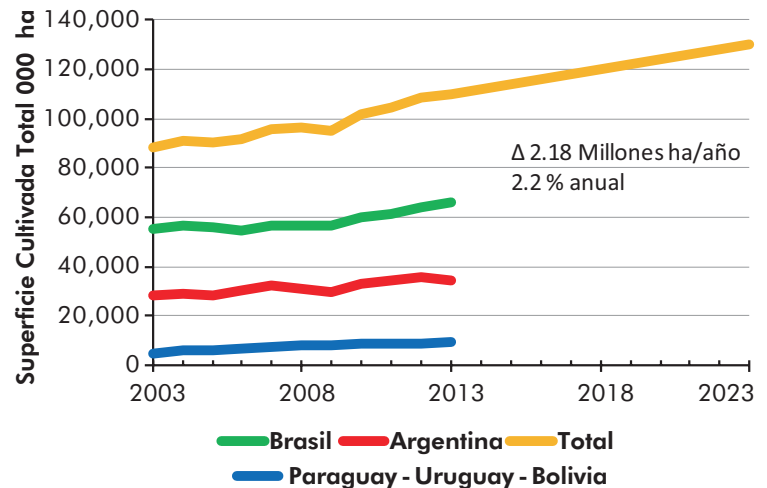
Elevar los niveles de rendimiento parece ser la opción más fructífera. Este aumento de la productividad por unidad de área es el resultado de un complejo de innovaciones en toda la cadena de valor. Es la combinación de factores tales como programas de mejoramiento genético, mejores medidas de nutrición y de protección de cultivos, así como una mayor educación de los agricultores para la aplicación de las mejores prácticas de manejo de cultivo. Al analizar en detalle el aumento de la productividad debido a una mejor nutrición, advertimos que ésta no solo depende de la cantidad de nutrientes necesarios para sostener un aumento potencial de la producción, sino de una mayor eficiencia esperada en el uso de estos nutrientes; la que más allá de un cierto nivel de aplicación, esta última tiende a disminuir con el aumento de la dosis del nutriente aplicado. A su vez, este problema puede abordarse mediante una mejora en la sincronización del suministro de nutrientes con la demanda del cultivo, lo que reduce las pérdidas de estos nutrientes del suelo así como los mecanismos de inmovilización de nutrientes dentro del suelo.

### FERTILIZANTES DE EFICIENCIA MEJORADA

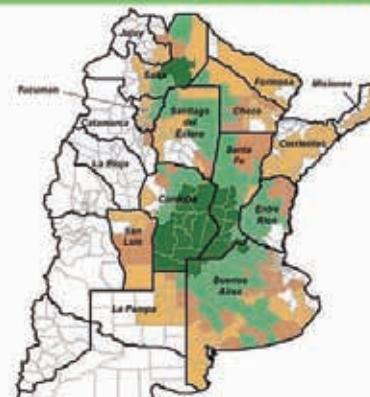
Los avances en tecnología de fertilización pueden ayudar. La eficiencia del uso de nitrógeno se puede elevar, por ejemplo, a través de la aplicación de fertilizantes estabilizados, como por ejemplo urea con inhibidores de ureasa o de la nitrificación. También los fertilizantes fosfatados pueden mejorar la tasa de aprovechamiento con polímeros que mejoran la protección y liberación de nutrientes. Ambos tipos de productos, aditivos para mejorar la eficiencia de uso de N y de P en fertilizantes nitrogenados y fosfatados existen ya en el mercado disponible para uso de los productores. En Brasil solamente, cerca del 10 % de toda la urea consumida se trata con estos productos, y más de un millón de t de fosfatos son tratados con polímeros de distintas compañías. Sin embargo, para que estos productos sean adoptados en una mayor escala deben ser rentables, y hasta la fecha, la incorporación de este tipo de productos por la comunidad agrícola internacional ha sido lenta. ¿Será este el caso en el futuro? La tendencia global en innovaciones tecnológicas es que pasado los primeros años los nuevos productos se abaratan y se adoptan más masivamente. Y más importante aún: ¿Tendrán estos productos diseñados para mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes un papel más importante para desempeñar en el futuro? De aquí la relevancia de estas preguntas. ¿Podrá esta tecnología de fertilizantes de mayor eficiencia mitigar la expansión de la agricultura hacia tierras de

**Figura 1.**

Evolución del área cultivada en el Mercosur y su proyección al 2023. Distribución geográfica de la soja en Brasil y Argentina.



### Soja en Argentina



| * % de Producción por Provincias |    |
|----------------------------------|----|
| Cordoba                          | 29 |
| Buenos Aires                     | 27 |
| Santa Fe                         | 24 |
| Entre Rios                       | 7  |
| Santiago del Estero              | 4  |
| Salta                            | 3  |
| Chaco                            | 3  |
| Tucuman                          | 2  |
| La Pampa                         | 1  |
| Otras Provincias                 | ~1 |

\* Promedio 2005/06 a 2009/10  
Fuente: SAGPyA

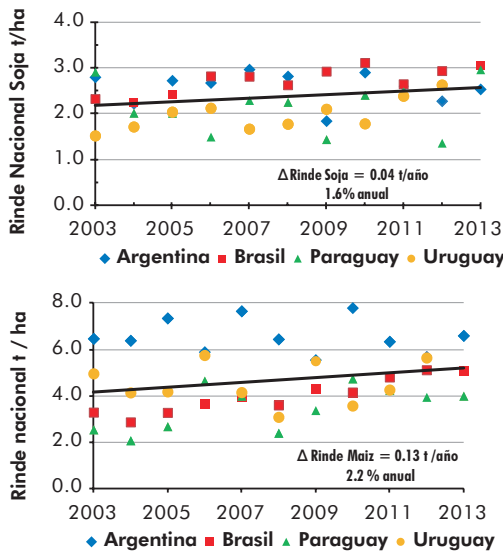


### Soja en Brasil



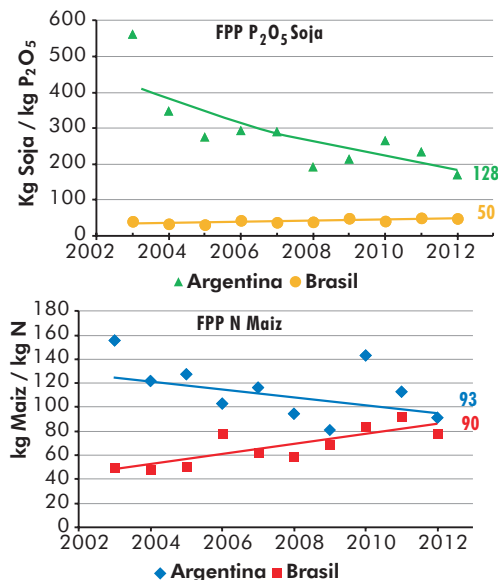
**Figura 2.**

Evolución de los rendimientos nacionales de soja y maíz en los países del Mercosur en la última década.



**Figura 3.**

Evolución de los Factores Parciales de Productividad de N y P (como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) para maíz y soja en Brasil y Argentina en la última década.



**Tabla 1.**

Producción de soja y maíz en Argentina y Brasil. Dosis de uso corriente de N y de P en maíz y soja respectivamente, productividades actuales y factores parciales de productividad de N y de P.

| Rendimiento medio nacional |           | FPP P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>      | Dosis P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
|----------------------------|-----------|--|-------------------------------------|
|                            | t/ha      | kg Gr/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | kg/ha                               |
| Soja                       | Argentina | 2.8                                    | 22 ↑                                |
|                            | Brasil    | 3.0                                    | 60 =                                |
|                            |           | FPP N                                  | Dosis N                             |
|                            | t/ha      | Kg grano /kg N                         | Kg/ha                               |
| Maíz                       | Argentina | 6.5                                    | 70 ↑                                |
|                            | Brasil    | 3.6                                    | 40 =                                |

menor calidad, limitando el impacto de la deforestación, de la erosión y otras formas de degradación ambiental?

**La expansión de la agricultura en la región. ¿Necesaria?**

Solo dos regiones tienen potencial para un importante aumento de la superficie cultivada en el futuro: África al sur del Sahara tiene algo más de 200 millones de hectáreas de tierras disponibles, bastante más que otras 123 millones de ha en América Latina. Pero el estudio de base (Dyers, 2012) indica que de estas últimas, el 76 % está a menos de 6 horas de distancia de los principales mercados mientras que en África esta proporción es del 47 %. Lejos, en tercer lugar, las regiones de Europa del Este y Asia Central en conjunto disponen de 51 millones de hectáreas de tierras disponibles para cultivo.

Sobre la base de la expansión de la agricultura entre 2003 y 2013, el área cultivada de los países del Cono Sur (Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay y Bolivia) se estima que aumentará probablemente en torno al 2,2 % pa (2,18 millones de hectáreas al año) hasta alrededor de 130 millones de ha en 2023. Área que compara lejos de las 90 millones de ha en 2003, y más cerca de las 105 millones de hectáreas en 2012. Por otra parte los aumentos corrientes en los rendimientos de grano en el pasado reciente en estas naciones han sido mucho menores. En maíz el promedio se acerca a las 0,13 t/año y en soja de 0,04 t/año.

Se postula un escenario en el que la eficiencia del uso del nitrógeno (EUN) podría incrementarse en un 10 % o 20 %, y la eficiencia de los otros factores de producción (agua, genética, etc.) podría mantenerse igual, si no mejor, sin afectar negativamente al ambiente. En este marco el éxito de esta situación puede aumentar la rentabilidad lo suficiente como para aumentar el ritmo de adopción de técnicas diseñadas para aumentar la EUN.

**Qué es el Factor de Productividad Parcial**

El concepto de Factor de Productividad Parcial (FPP), es una medida de la eficiencia de las aplicaciones de nutrientes para aumentar los rendimientos de los cultivos, es decir: cuántos kg de grano resultan de la aplicación de un kg de nutriente, sea N o P, o cualquier otro, por eso se especifica a qué Factor de Productividad Parcial se está haciendo referencia. En los últimos años en la Argentina estos FPP<sub>x</sub> han disminuido entre el período de 2002 a 2012, ya sea para el N en el caso del maíz (FPPN), como del P para la soja (FPPP), esto es porque las dosis de uso de estos nutrientes en estos cultivos ha ido aumentando más que proporcionalmente mientras que los rendimientos de estos cultivos no han aumentado proporcionalmente. Por el contrario, en Brasil el FPP para N del maíz ha mejorado considerablemente durante el mismo período, mientras que el FPP del P (como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) para la soja se mantuvo casi constante entre 2002 y 2012. Esto se explica por el considerable aumento de productividad para el maíz en los últimos años, manteniendo las dosis de n relativamente constantes y bajas. No obstante estas últimas han comenzado a aumentar en respuesta a la mayor demanda de N por los nuevos híbridos.

**Grano (t) = Área (ha) x rendimiento unitario (kg/ha)**

**rendimiento = Σ (FPP x n), (i.e. fertilizantes, agua, etc.)**

**Rendimiento = FPP x Dosis**

- Soja (t/ha) = FPP P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg grano/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) x kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> /ha

- Maíz (t/ha) = FPP N (kg grano/kg N) x kg N /ha

La producción total de granos en el Cono Sur, que estuvo en el orden de las 200 millones de t en 2003, aumentó a alrededor de 300 millones de t en 2012, previéndose un crecimiento en torno las 350 millones de t en 2017 y de 420 millones de toneladas en 2023; un aumento promedio de alrededor de 11,6 millones de toneladas por año. En Argentina, el rendimiento nacional de soja en la actualidad promedia 2,8 t/ha, con una dosis media de aplicación de fósforo de 22 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, resultando un FPP P de 128 kg de grano por kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado. Las cifras comparables para Brasil son 3,0 t/ha, 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha y 50 kg soja/kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado.

Para el maíz, los rendimientos medios nacionales en Argentina se si-

**“Es redundante afirmar, a la luz de los avances de los últimos años, que la tecnología es clave para satisfacer la futura demanda de productos agrícolas.”**

túan actualmente en 6,5 t/ha hectárea, con una dosis de aplicación promedio de 70 kg de N /ha, cifras que resultan en un FPP N de 93 kg de grano por kg de N aplicado. Las cifras comparables para Brasil son de 3,6 t/ha, 40 kg N/ha y 90 kg maíz/kg N. Dadas las tendencias de aumento de rendimiento unitario esperados en la próxima década para el maíz y la soja mencionados anteriormente, las dosis de aplicación de nutrientes para estos cultivos deberán aumentar concomitantemente a fin de mantener fijo el factor parcial de productividad.

**Hipótesis**

Al aumentar los **FPP<sub>N</sub>**, es decir al aumentar los rendimientos por unidad de nutriente aplicado, se producirá un ahorro de área cultivada equivalente a la necesaria para producir una cantidad determinada de grano. Elevar el **FPP<sub>N</sub>** y **FPP<sub>P</sub>** en un 10% podría significar para el caso de soja en Argentina un aumento del rendimiento desde 2,8 a 3,6 toneladas por hectárea y de maíz desde 6,5 a 9,8 toneladas por hectárea en los próximos diez años.

En el caso de Brasil, este supuesto incremento de 10 % de los **FPP<sub>x</sub>**, implicaría un aumento del rendimiento de soja desde 3,3 hasta 3,9 t/ha, y del rendimiento de maíz desde 3,6 hasta 5,5 t/ha. Elevar el FPP en un 20% en Argentina podría elevar el rendimiento de soja 2,8 a 3,9 t/ha y de 6,5 a 10,7 t/ha de maíz. Para Brasil, dado el incremento supuesto de 20 % en el **FPP**, el rendimiento de soja podría aumentar de 3,3 a 4,3 t/ha y el rendimiento del maíz desde 3,6 a 7,1 toneladas por hectárea.

**¿Cuál es el impacto en la producción de soja y maíz de un aumento en la Eficiencia de Uso de Nutrientes que afecte los Factores Parciales de Productividad del N y del P?**

Un aumento en el **FPP<sub>N</sub>** y **FPP<sub>P</sub>** de 10 % en Argentina y Brasil podría resultar en un aumento de la producción combinada de soja y maíz de alrededor de 300 millones de toneladas en 2016, en comparación con el nivel proyectado actual de alrededor de 250 millones de toneladas a esa fecha, y hasta 380 millones de toneladas en 2023, frente al nivel proyectado actual de 334 millones de toneladas para ese año.

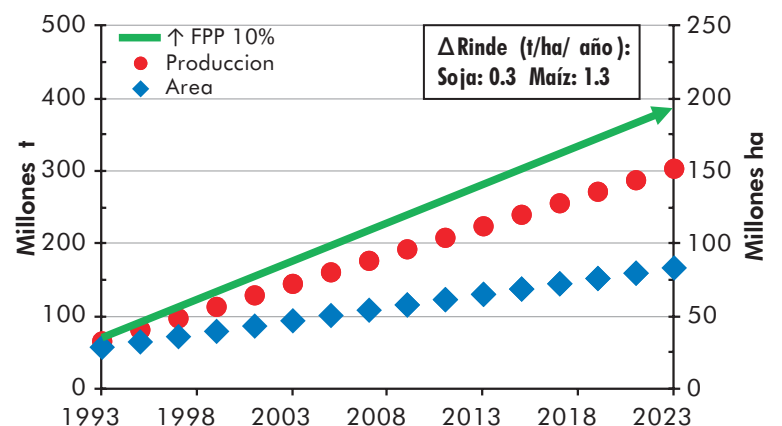
Estas cifras y proyecciones suponen que la tierra bajo cultivo con estas dos especies, que comprenden el 80% del total producido, en estos dos países pasará de cerca de 60 millones de hectáreas en 2010 a unos 85 millones de hectáreas en 2023. Si la Eficiencia de Uso de Nutrientes provoca un aumento del 20 % sobre el nivel actual de los **FPP<sub>N</sub>** y **FPP<sub>P</sub>**, la previsión de producción en 2023 podría lograrse sin que medie un aumento de la superficie cultivada en comparación con el nivel de producción en 2012.

Por otra parte, aun si la superficie cultivada alcanza los niveles previstos, este aumento del 20% en la EUN produciría 419 millones de toneladas de maíz y soja en 2023, 85 millones de toneladas por encima del nivel proyectado actual. Como consecuencia, esta mejora en la EUN podría reducir la necesidad de tierras agrícolas por más de 20 millones de hectáreas para ese nivel de producción, o bien podría aumentar la producción de granos en un 25 %, sobre la base actual de crecimiento del área cultivada.



**Figura 4.**

Evolución de la producción y área sembrada con maíz y soja en Brasil y Argentina y su proyección al 2023 comparada con la producción simulada asumiendo un aumento de la Eficiencia de Uso de Nutrientes del 10 %.



## ¿Podrá mitigarse el avance de las fronteras agrícolas con una mejora en las productividades unitarias y en consecuencia en la producción de granos?

En conclusión puede afirmarse categóricamente que una mejora en la eficiencia de uso de nutrientes que afecte a los factores parciales de productividad de N y P para maíz y soja solamente, puede significar un considerable ahorro de nuevas tierras cultivables, solo considerando en nuestro análisis al maíz y a la soja en Argentina y en Brasil. Mayores magnitudes podrían esperarse si se tomaran en cuenta a otros cultivos y a otros países de la región. Esta mitigación del ritmo de avance de agricultura, normalmente a expensas de tierras de pasturas, también puede significar menos deforestación, erosión y degradación ambiental.

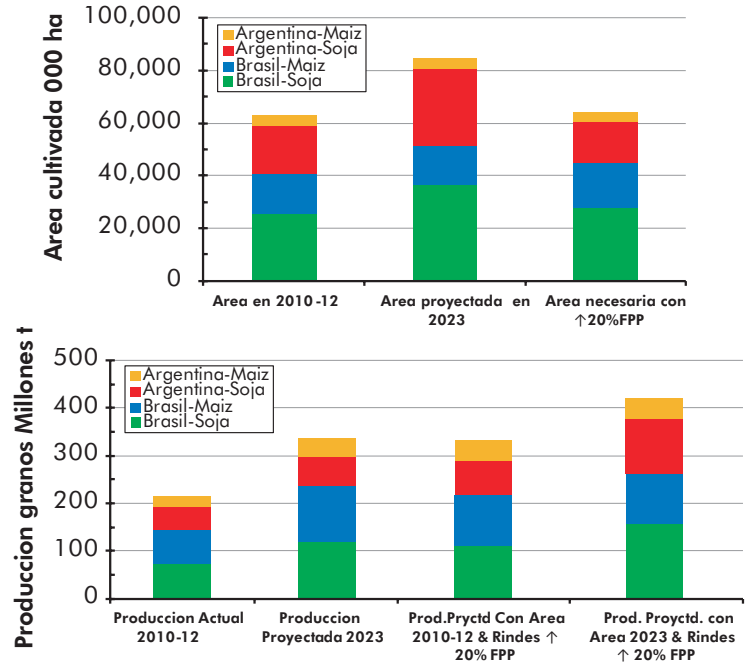
Es redundante afirmar, a la luz de los avances de los últimos años, que la tecnología es clave para satisfacer la futura demanda de productos agrícolas. El uso de la tecnología y la constante innovación, por parte de las empresas e institutos nacionales de investigación son fundamentales para impulsar el rendimiento por unidad de área y la producción total. La adopción por parte de los productores de técnicas que conducen a aumentos en la EUN es normalmente impulsado por la rentabilidad, lo que se traduce en mayores rendimientos e ingresos. La búsqueda de rendimientos más altos por parte de los productores con la finalidad de capturar mayores ingresos en general da lugar a un mayor uso de la tecnología, a su vez conducente a un nuevo ciclo de innovación.

Por otra parte mayores rendimientos implican una mayor intensificación. Muchas veces esta intensificación compite con la «extensificación», que, según los principios de la economía, éstos en parte son procesos sustitutivos. Una mayor intensificación por lo tanto, reduce la necesidad de habilitar nuevas tierras para la agricultura con el fin de aumentar la producción.

Por esta razón, los «drivers» u operadores de la adopción tecnológica están determinados por las rentabilidades parciales de los factores de la producción, incluyendo a los insumos de la agricultura, los que incluyen el valor de la tierra, el costo de los fletes, de los fertilizantes y de los aditivos mejoradores de la eficiencia de uso. A mayor rentabilidad parcial de alguno de estos derivará el balance intensificación <-> «extensificación» hacia uno u otro extremo. Asimismo también los precios de los granos desbalancean este equilibrio. Un fuerte aumento de los niveles de precios de los productos agrícolas es probable que resulte en un aumento de las superficies cultivadas.

Figura 5.

Proyección del área y producción de soja y maíz en Brasil y Argentina asumiendo distintos escenarios



| Rendimiento Actual Soja | Dosis P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | ↑ FPP 10%                              | Rinde Soja 2023 | ↑ FPP 20%                              | Rinde Soja 2023 |
|-------------------------|-------------------------------------|--|-----------------|--|-----------------|
| t/ha                    | kg/ha                               | kg Gr/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | t/ha            | kg Gr/kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | t/ha            |
| 2.8                     | 26                                  | 141                                    | 3.6             | 154                                    | 3.9             |
| 3.3                     | 71                                  | 55                                     | 3.9             | 60                                     | 4.3             |

| Rendimiento actual Maíz | Dosis N | ↑ FPP 10%  | Rinde Maíz 2023 | ↑ FPP 20%  | Rinde Maíz 2023 |
|-------------------------|---------|------------|-----------------|------------|-----------------|
| t/ha                    | kg/ha   | kg Gr/kg N | t/ha            | kg Gr/kg N | t/ha            |
| 6.5                     | 96      | 102        | 9.8             | 112        | 10.7            |
| 3.6                     | 66      | 99         | 6.5             | 108        | 7.1             |

|           | Dosis P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Soja | Δ Rinde Soja | Extracción                               | Δ dosis                         | Dosis P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |    |
|-----------|-------------------------------------|------|--------------|--|---------------------------------|-------------------------------------|----|
|           | kg/ha                               | t/ha | t/ha/año     | 11.5 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /t | kg/ha                           | kg/ha                               |    |
| Argentina | 22                                  | 2.8  | 0.03         | 0.3                                      | Δ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 3                                   | 25 |
| Brasil    | 66                                  | 3.0  |              |  |                                 | 3                                   | 69 |

|           | Dosis N | Maíz | Δ Rinde Maíz | Extracción | Δ dosis | Dosis N |    |
|-----------|---------|------|--------------|------------|---------|---------|----|
|           | kg/ha   | t/ha | t/ha/año     | 20 kg N/t  | Kg/ha   | kg/ha   |    |
| Argentina | 70      | 6.5  | 0.13         | 1.3        | Δ N     | 26      | 96 |
| Brasil    | 40      | 3.6  |              |            |         | 26      | 66 |

Tabla 2.

Rendimientos actuales y dosis corrientes de N y de P de soja y maíz en Argentina y Brasil y rendimientos potenciales de soja y maíz ante un aumento supuesto de los Factores Parciales de Productividad como resultado de cambios en la Eficiencia de Uso de esos Nutrientes.

Tabla 3.

Incrementos necesarios de P y N aplicados en soja y maíz en Argentina y Brasil para sostener los aumentos esperados de rendimientos de esos cultivos.