

Campo técnico

La presente invención se refiere, en general, al uso de un vidrio de aluminosilicato específico como una fuente de silicio para proporcionar silicio a una planta en forma asimilable. También se refiere a un método para tratar una planta que usa dicho vidrio de aluminosilicato. Finalmente, se refiere, como nuevo producto, a polvos de dicho vidrio de aluminosilicato.

En particular, la invención tiene aplicación en el campo de la agricultura.

Técnica previa

El silicio es un elemento que promueve el correcto desarrollo vegetativo de las plantas, tales como *Solanaceae*, *Asteraceae*, *Poaceae* y *Sinapis Albae*. En términos generales, las plantas solo pueden asimilar el silicio en forma de ácido silícico. Generalmente, este es transportado en el flujo de la transpiración, desde las raíces hasta los órganos aéreos, donde se acumula y precipita para formar ópalos biogénicos denominados fitolitos.

En las investigaciones de los últimos años se ha demostrado que el silicio absorbido aumenta la productividad y calidad de los cultivos agrícolas. En particular, se ha mostrado que el silicio mejora la tolerancia a la sequedad y demora el marchitamiento de

ciertas plantas cuando se demora la irrigación. También puede aumentar la resistencia de los tallos de arroz o de trigo al evitar que colapsen en momentos de mucha lluvia o vientos fuertes.

Dadas dichas ventajas, se han iniciado investigaciones para desarrollar composiciones para proporcionar silicio a una planta de una forma asimilable.

Por ejemplo, en el documento de patente con el número WO 2010/040176, se propone utilizar, como una fuente de silicio asimilable por una planta, partículas de vidrio de sosa y cal que contienen un nivel de al menos 50 % en peso de dióxido de silicio (*silica*, SiO_2) y al menos 2 % en peso de óxido de sodio (Na_2O). No obstante, para obtener un efecto satisfactorio, dichas partículas deben ser muy finas y tener una mediana de tamaño generalmente inferior a 37 μm .

El proceso descrito en el documento previo para la fabricación de las mencionadas partículas de vidrio es relativamente costoso para ser implementado a escala industrial, dado que requiere una prolongada trituración y el uso de un espacio confinado, y medios específicos de protección personal, para obtener y utilizar las partículas en cuestión.

Más aun, se ha observado que las partículas de vidrio de sosa-cal-dióxido de silicio de acuerdo con las

explicaciones de este documento anterior, no liberan, prácticamente silicio en presencia de los ácidos que liberan, en general, las plantas, y que las cantidades de fitolitos formadas en las plantas tratadas con dichas partículas de vidrio de sosa y cal permanecen relativamente bajas, lo que refleja una captación limitada de silicio.

En el documento de patente con el número FR 3051463, se ha mostrado que el silicio estimula la captación de nitrógeno, en particular, en forma de urea, en las plantas. Se mencionan muchas fuentes de silicio en dicho documento, tales como formas minerales sólidas o líquidas, productos vítreos o dióxidos de silicio orgánicos. En los ejemplos que remarcan la estimulación de la absorción de nitrógeno, se utiliza silicato de sodio con una contribución de níquel.

No obstante, se ha observado que, a pesar de la disolución casi inmediata en presencia de ácidos que pueden generarse por medio del suelo, el silicato de sodio conlleva a una limitada formación de los fotolitos en las plantas, lo cual, una vez más, refleja limitada captación de silicio.

Descripción de la invención

En este contexto, el propósito de la presente invención consiste en resolver el problema técnico para proporcionar una fuente de silicio asimilable por las

plantas y que genere la formación de una gran cantidad de fitolitos, lo que puede obtenerse y usarse de una manera simple y económica en una escala industrial.

Se ha descubierto –y esto constituye la base de la presente invención– que vidrios de aluminosilicato específicos utilizados, en particular, en forma de partículas, resultan particularmente eficaces para proveer de silicio a una planta de una forma asimilable. Se ha demostrado, en particular, que dichos vidrios conllevan a la formación de altas cantidades de fitolitos, a diferencia de las fuentes de silicio descritas en la técnica relacionada. Además, se ha observado que este ingreso de silicio se puede obtener con partículas de tamaños más grandes que aquellos descritos en el documento de patente con el número WO 2010/040176 y, en consecuencia, resulta con menor costo para obtener en una escala industrial. Finalmente, estas partículas de aluminosilicato se pueden formular sin dificultad en composiciones fertilizantes, en particular, en forma de gránulos, lo cual facilita particularmente el uso en la agricultura.

Sin estar limitados a una interpretación teórica, los inventores consideran que la absorción mejorada de silicio en forma asimilable, demostrada por la presencia de una cantidad significativa de fitolitos en una planta, es consecuencia de la capacidad del vidrio de aluminosilicato

para disolverse congruentemente bajo la acción de ácidos orgánicos liberados por las plantas.

Así pues, se ha observado que el dióxido de silicio, a pesar de ser un constituyente estructural del vidrio, se disuelve junto con los otros constituyentes en medios ácidos idénticos a los ácidos orgánicos liberados por las plantas. Por lo tanto, el suministro de silicio a las plantas se realiza en una forma progresiva y controlada.

Más aun, debido a su particular composición, y, en particular, a su alto contenido de alúmina, este vidrio de aluminosilicato se disuelve poco, si lo hiciera, en un medio acuoso cercano a un pH neutral, lo que permite formularlo en composiciones fertilizantes, en particular, en forma de gránulos.

Por ende, de acuerdo con un primer aspecto, el tema de la presente invención es el uso de un vidrio de aluminosilicato que comprende los siguientes constituyentes, en un contenido en peso que varía dentro de los límites definidos a continuación:

SiO_2	30 a 60 %
Al_2O_3	10 a 26 %
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	15 a 45 %

como fuente de silicio, para proporcionar silicio a una planta en forma asimilable.

De acuerdo con un segundo aspecto, el tema de la

presente invención es un método para tratar una planta, caracterizado porque, con miras a proporcionar silicio a dicha planta en forma asimilable, se aplica un vidrio de aluminosilicato, tal como se define en la siguiente descripción, a dicha planta o al medio de crecimiento de dicha planta.

De acuerdo con un tercer aspecto, el tema de la presente invención es un polvo de vidrio de aluminosilicato, tal como se definió con anterioridad, donde dicho polvo tiene una distribución de tamaño de partícula tal que la mediana del diámetro en volumen de dichas partículas "D50" está comprendido entre 60 y 250 micrones, preferentemente, entre 75 y 180 micrones.

Definiciones

A los fines de la presente descripción: el término "planta" se refiere a una planta considerada en forma completa, con inclusión de su sistema de raíces, su aparato vegetativo, granos, semillas y frutas;

el término "diámetro" de la partícula se refiere al diámetro de la esfera equivalente en volumen de dicha partícula;

la sigla "DX" es el valor expresado en micrones del diámetro de partículas, de manera que, en una muestra determinada de partículas, y considerando una distribución

de tamaño de partícula en volumen, el porcentaje de X de la distribución tiene un diámetro menor que este diámetro DX; por ejemplo, en el caso de un polvo que tiene un D90 igual a 300 micrones, las partículas que tienen un diámetro inferior a 300 micrones ocupan 90 % del volumen total de la muestra. En otras palabras, en una distribución de volumen acumulativa, el valor DX corresponde al diámetro para el cual la función acumulativa es el porcentaje de X; la distribución de tamaño de partícula en volumen se puede obtener, en particular, por difracción de rayos láser;

la frase "sustancia fertilizante" se refiere a cualquier producto o composición cuyo uso tiene el propósito de asegurar o mejorar las propiedades físicas, químicas o biológicas de suelos y nutrición de plantas;

el término "fertilizante" se refiere a cualquier fertilizante cuya función principal consiste en proporcionar plantas con nutrientes que pueden ser elementos vestigiales, secundarios o principales;

la frase "planta acumuladora de silicio" se refiere a cualquier planta susceptible de contener más de 1 % (peso/peso) de silicio en relación con la masa seca de una planta y una relación molar de Si/Ca superior a 1.

La definición general de un vidrio de aluminosilicato está comprendida en el significado de la invención.

En general, el vidrio de aluminosilicato utilizado de

acuerdo con la invención comprende los siguientes constituyentes, en un contenido en peso que varía dentro de los límites definidos a continuación:

SiO_2	30 a 60 %
Al_2O_3	10 a 26 %
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	15 a 45 %
K_2O	0 a 10 %
Fe_2O_3 (hierro total)	0 a 15 %
P_2O_5	0 a 4 %

Contenidos preferidos de acuerdo con la invención

El contenido de SiO_2 , preferentemente, está comprendido en un rango que oscila entre 35 y 49 %, en particular, entre 36 y 45 %, o incluso entre 38 y 44 %.

El contenido de Al_2O_3 , preferentemente, está comprendido en un rango que oscila entre 12 y 25 %, en particular, entre 14 y 24 %, o incluso entre 15 y 23 %.

Se ha observado que un vidrio de aluminosilicato con contenido de SiO_2 y Al_2O_3 comprendido en los rangos generales y preferidos definidos con anterioridad, tiene la propiedad ventajosa de poder disolverse en forma congruente bajo la acción de ácidos orgánicos liberados por las plantas y, así, liberar silicio que puede ser directamente asimilado por las plantas. También se ha observado que dicho vidrio se disuelve poco, si lo hace, en medios acuosos con pH próximo al neutral, lo cual resulta

particularmente ventajoso desde un punto de vista industrial, dado que este vidrio se puede emplear sin ningún límite en particular en la preparación de fertilizantes, particularmente, en forma de gránulos.

La suma de los contenidos de CaO , MgO , Na_2O y K_2O (indicado como $\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$), preferentemente, está comprendido en un rango que oscila entre 20 y 40 %, en particular, entre 25 y 35 %. La presencia de dichos óxidos alcalinotérreos y alcalinos facilita la fusión del vidrio y también contribuye favorablemente para la disolución del vidrio en contacto con ácidos orgánicos.

El contenido de CaO , preferentemente, está comprendido en un rango que oscila entre 8 y 30 %, preferentemente, entre 10 y 30 %, en particular, entre 12 y 28 %. El contenido de MgO , preferentemente, está comprendido en un rango que oscila entre 1 y 15 %, en particular, entre 1 y 12 %, o incluso entre 1 y 11 %.

El contenido de Na_2O , preferentemente, está comprendido en un rango que oscila entre 0 y 12 %, en particular, entre 1 y 10 %. El contenido de K_2O , preferentemente, está comprendido en un rango que oscila entre 0 y 8 %, preferentemente, entre 1 y 8 %, en particular, entre 1 y 7 %, o incluso entre 1 y menos de 5 %.

De acuerdo con una forma de realización, la suma de

los contenidos de CaO y MgO está comprendida en un rango que fluctúa entre 25 y 40 %, en particular, entre 27 y 35 %, y la suma de los contenidos de Na_2O y K_2O está comprendida en un rango que fluctúa entre 0 y 6 %, en particular, entre 0 y 5 %, o incluso entre 1 y 5 %.

De acuerdo con otra forma de realización, la suma de los contenidos de CaO y MgO está comprendida en un rango que fluctúa entre 10 y 25 %, en particular, entre 12 y 20 %, y la suma de los contenidos de Na_2O y K_2O está comprendida en un rango que fluctúa entre 8 y 15 %, en particular, entre 9 y 13 %.

El contenido de óxido de hierro total, expresado como Fe_2O_3 , preferentemente, está comprendido en un rango que oscila entre 0 y 13 %, en particular, entre 2 y 12 %, o incluso entre 4 y 12 %. El óxido de hierro puede estar presente en forma de óxido ferroso FeO y/u óxido férrico Fe_2O_3 . La reacción redox (reducción-oxidación), definida como la relación del contenido de óxido ferroso, expresado como FeO , con respecto al contenido molar total de óxido de hierro, expresado como Fe_2O_3 , preferentemente, está comprendida en un rango que oscila entre 0,1 y 0,9, en particular, entre 0,2 y 0,9.

Preferentemente, el contenido total de SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , y Fe_2O_3 es al menos 94 %, en particular, al menos 95 % e incluso, de al menos 96 % o de

al menos 97 %.

El contenido de P_2O_5 , preferentemente, es igual o menor que 4 %, en particular que 3 %, o incluso que 2 % y aun que 1 %. En forma ventajosa, es, como máximo, de 0,5 % e incluso es cero, excepto por las impurezas inevitables.

El contenido de BaO , preferentemente, es igual o menor que 5 %, en particular que 4 %, o incluso que 3 % y aun que 2 % o que 1 %. En forma ventajosa, es, como máximo, de 0,5 % e incluso es cero, excepto por las impurezas inevitables.

El contenido de SrO , preferentemente, es igual o menor que 5 %, en particular, que 4 %, o incluso que 3 % y aun que 2 % o que 1 %. En forma ventajosa, es, como máximo, de 0,5 % e incluso es cero, excepto por las impurezas inevitables.

El contenido de ZnO , preferentemente, es igual o menor que 5 %, en particular, que 4 %, o incluso que 3 % y aun que 2 % o que 1 %. En forma ventajosa, es, como máximo, de 0,5 % e incluso es cero, excepto por las impurezas inevitables.

El contenido de B_2O_3 , preferentemente, es igual o menor que 5 %, en particular, que 4 %, o incluso que 3 % y aun que 2 % o que 1 %. En forma ventajosa, es, como máximo, de 0,5 % e incluso es cero, excepto por las impurezas inevitables.

El contenido de TiO_2 , preferentemente, es igual o menor que 5 %, en particular, que 4 %, o incluso que 3 % y aun que 2 % o que 1 %.

El contenido de ZrO_2 , preferentemente, es igual o menor que 5 %, en particular, que 4 %, o incluso que 3 % y aun que 2 % o que 1 %. En forma ventajosa, es, como máximo, de 0,5 % e incluso es cero, excepto por las impurezas inevitables.

Otros componentes pueden estar presentes en la composición química del vidrio de aluminosilicato utilizado de acuerdo con la invención, ya sea en forma voluntaria o como impurezas presentes en las materias primas, o que provienen de materiales refractarios de hornos. Los mencionados pueden ser, en particular, SO_3 , que es el resultante del agregado de sulfato de sodio o calcio como un refinador para vidrios.

No es necesario mencionar que los diversos rangos mencionados anteriormente pueden combinarse en forma libre entre sí, pues no se pueden mencionar todas las combinaciones por motivos de brevedad.

A continuación se describen diversas combinaciones preferidas.

De acuerdo con una forma de realización preferida, el vidrio de aluminosilicato utilizado de acuerdo con la invención tiene una composición química que comprende los

siguientes constituyentes, en un contenido en peso que varía dentro de los límites definidos a continuación:

SiO_2	35 a 49 %
Al_2O_3	12 a 24 %
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	20 a 40 %
Fe_2O_3	0 a 12 %.

De acuerdo con una forma de realización particularmente preferida, este vidrio tiene una composición química que comprende los siguientes constituyentes, en un contenido en peso que varía dentro de los límites definidos a continuación:

SiO_2	36 a 45 %
Al_2O_3	14 a 23 %
$\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	25 a 35 %
Fe_2O_3	0 a 10 %.

Los diferentes rangos indicados más arriba para los otros óxidos son de curso aplicable a dichas formas de realización preferidas. En particular, el contenido de P_2O_5 , preferentemente, es igual o menor que 4 %, en particular que 3 %, el contenido de BaO , preferentemente, es igual o menor que 5 %, en particular, que 4 %, el contenido de SrO , preferentemente, es igual o menor que 5 %, en particular, que 4 %, el contenido de ZnO , preferentemente, es igual o menor que 5 %, en particular, que 4 %, el contenido de B_2O_3 , preferentemente, es igual o menor que 5 %, en particular,

que 4 %, el contenido de TiO_2 , preferentemente, es igual o menor que 5 %, en particular, que 4 %, el contenido de ZrO_2 , preferentemente, es igual o menor que 5 %, en particular, que 4 %.

El vidrio de aluminosilicato utilizado de acuerdo con la invención se puede fabricar por todos los métodos de fusión conocidos. Una mezcla vitrificable que contiene materias primas naturales y/o artificiales se calienta a una temperatura de al menos 1300 °C, en particular, comprendida entre 1400 y 1600 °C, con el fin de obtener una masa de vidrio fundido. Las materias primas se seleccionan entre, entre otros, arena de dióxido de silicio, feldespatos, basalto, bauxita, escoria de horno alto, nefelina, sienita nefelina, piedra caliza, dolomita, fonolita, carbonato de sodio, carbonato de potasio, óxido de hierro, yeso, sulfato de sodio, fosfato de calcio. La mezcla vitrificable se calienta, en particular, en un horno para vidrios, por medio de llamas de quemadores aéreos o sumergidos y/o electrodos, o en una bóveda, mediante la combustión de coque.

El vidrio de aluminosilicato se obtiene después de enfriar la mezcla vitrificada preparada de esta forma.

En el contexto de la presente invención, el vidrio de aluminosilicato definido con anterioridad, preferentemente, se utiliza en forma de partículas, en particular,

partículas que tienen una distribución de tamaño tal que la mediana del diámetro en volumen de dichas partículas "D50" está comprendida entre 60 y 250 micrones, preferentemente, entre 75 y 180 micrones.

En forma ventajosa, dichas partículas también tendrán un valor de D90 comprendido entre 150 y 600 micrones, preferentemente, entre 150 y 350 micrones, e incluso más preferentemente, entre 150 y 300 micrones.

En forma ventajosa, dichas partículas también tendrán un valor de D10 comprendido entre 10 y 40 micrones, preferentemente, entre 15 y 30 micrones.

Las mencionadas partículas se pueden obtener mediante trituration del vidrio preparado como se indicó antes, por ejemplo, mediante un molino de péndulo asociado con un selector aerodinámico o con un molino de bolas. Las citadas partículas también se pueden obtener mediante la trituration de fibras de vidrio.

El vidrio de aluminosilicato recién descrito puede utilizarse, en forma ventajosa, en un método para tratar una planta mediante la aplicación de una cantidad eficaz de dicho vidrio a dicha planta. En forma ventajosa, este método se aplicará a una planta en una condición de nitrógeno subóptima, como se comprenderá más adelante en la presente descripción.

Las plantas tienen una necesidad absoluta de

nitrógeno. De hecho, el nitrógeno es esencial en su crecimiento y es un nutriente determinante del rendimiento porque es el factor principal que limita el desarrollo de una planta. Por este motivo, el crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo depende de sustanciales ingresos de nitrógeno.

En la actualidad, el uso del nitrógeno en agricultura suma más de 80 millones de toneladas por año en el mundo, y la producción de cultivos debe continuar creciendo junto con la demanda en aumento de la población mundial. No obstante, el uso cada vez mayor de nitrógeno en agricultura plantea problemas ecológicos. Como resultado, el hecho de mejorar rendimientos mientras que se preserva el medioambiente a través de una producción agrícola sustentable genera un desafío significativo para la agricultura actual.

El uso de fertilizantes específicamente desarrollados para cumplir mejor con los requerimientos de nitrógeno de las plantas ha conllevado a considerables mejoras en la producción agrícola. No obstante, dichos fertilizantes tienen una producción costosa y su uso puede ser problemático en términos medioambientales, porque la pérdida hacia el medioambiente del exceso de nitrógeno que no es correctamente asimilado por una planta. Por lo tanto, es absolutamente necesario maximizar la eficacia del uso

del fertilizante de nitrógeno. Esta eficacia se corresponde con la relación entre producción (rendimiento) y las unidades de fertilizante aplicadas. Esta depende de diversos procesos complejos ligados al desarrollo de una planta, la variedad (factor genético) y las condiciones medioambientales (clima, tipo de suelo, etc.).

Aunque aplicar más nitrógeno genera mayores rendimientos, no es una relación lineal. Existe un índice de aplicación "óptimo" que logrará el rendimiento óptimo, es decir, más allá del cual no aumentará el rendimiento, de manera que el nitrógeno en exceso se perderá hacia el medioambiente. Esto trae como resultado una escasa eficacia del nitrógeno.

Tal como se observa en la Figura 1, a manera de ejemplo en el caso del trigo (*Triticum aestivum*), un bajo suministro de nitrógeno de 48, 96 o 144 Kg N. ha⁻¹ yr⁻¹ conlleva a un crecimiento impedido y, por lo tanto, a bajos rendimientos. Por otra parte, las pérdidas de nitrógeno son bajas. Un suministro de nitrógeno óptimo de 192 Kg N. ha⁻¹ yr⁻¹ o nitrógeno en exceso (cantidades superiores a 192 Kg N. ha⁻¹ yr⁻¹) genera altos rendimientos, pero está acompañado por altas pérdidas de nitrógeno y baja eficacia del nitrógeno.

Así pues, con el fin de limitar las pérdidas de nitrógeno hacia el medioambiente, y para reducir el impacto

de la fertilización sobre el medioambiente, a la vez que se generan ganancias financieras, es esencial lograr un rendimiento óptimo con menos de la cantidad óptima de nitrógeno (entradas de nitrógeno).

En este contexto, el método de acuerdo con la invención es particularmente ventajoso puesto que se ha demostrado que el uso del vidrio de aluminosilicato mencionado anteriormente permite aumentar el rendimiento bajo condiciones de suministro de nitrógeno subóptimo hasta un nivel próximo, o incluso idéntico, al nivel obtenido bajo condiciones de suministro de nitrógeno óptimas, y que, de esta forma, cumple con los requisitos de crecimiento del cultivo.

Para los fines de la presente descripción, la frase "dosis de nitrógeno subóptima" se refiere a una dosis que corresponde a una reducción de al menos 20 %, preferentemente, de al menos 30 %, de la dosis óptima calculada para lograr un rendimiento óptimo.

La dosis óptima de nitrógeno necesaria para maximizar la producción se calcula de acuerdo con las necesidades de una planta. Tal como se observa en la Tabla 1, estos requisitos pueden variar según la variedad y condiciones de suelo-clima, entre otras variables.

Tabla 1

Cultivos	Dosis óptima de	Dosis subóptima de
----------	-----------------	--------------------

	nitrógeno para lograr rendimiento óptimo (Kg N/ha)	nitrógeno que no logra rendimiento óptimo (Kg N/ha)
Semilla de colza	230 a 260	160 a 180
Caña de azúcar	120 a 150	84 a 105
Trigo	240 a 280	168 a 195
Cebada	160 a 180	112 a 126
Choclo	230 a 250	160 a 175
Girasol	115 a 160	80 a 110
Pasto	140 a 200	100 a 140
Soja	80 a 150	55 a 105
Arroz	160 a 180	110 a 125
Avena	160 a 180	110 a 125

Así pues, al hacer posible la reducción de las dosis de nitrógeno aplicadas, a la vez que se mantienen los rendimientos en su nivel óptimo, el método de tratamiento de acuerdo con la invención proporciona una respuesta a los efectos no deseables sobre el medioambiente de fertilización por nitratos (problema de infiltración) o por urea (problema de volatilización).

En una forma de realización particular, la planta tratada se elige entre arroz, pasto, semilla de colza, girasol, trigo, avena, caña de azúcar, cebada, soja, maíz, preferentemente, pasto.

El vidrio de aluminosilicato utilizado de acuerdo con la invención, por lo tanto, actúa como un estimulante de los mecanismos de crecimiento y rendimiento, particularmente en condiciones de suministro de nitrógeno subóptimas en una planta. La presente invención, por ende, cubre el uso de un vidrio de aluminosilicato, tal como se definió previamente, para aumentar el rendimiento en condiciones de suministro de nitrógeno subóptimas en una planta.

Para los fines de la invención, la frase "rendimiento estimulante en condiciones de ingreso de nitrógeno subóptimo" se refiere a la actividad que genera un aumento del rendimiento incrementado en al menos 10 % en condiciones de baja entrada de nitrógeno.

El vidrio de aluminosilicato utilizado de acuerdo con la invención también actúa como un estimulante de eficacia del nitrógeno, particularmente en condiciones de suministro de nitrógeno subóptimas en una planta. La presente invención, así pues, también cubre el uso de un vidrio de aluminosilicato tal como se definió previamente para aumentar la eficacia del nitrógeno en condiciones de suministro de nitrógeno subóptimas en una planta.

Para los fines de la invención, la frase "eficacia del estimulante de nitrógeno en condiciones de ingreso de nitrógeno subóptimo" se refiere a la actividad que trae

como resultado un incremento aumentado en al menos 10 % en la eficacia del nitrógeno, en condiciones de baja entrada de nitrógeno.

En el método de la invención, se proporciona una cantidad eficaz de un vidrio de aluminosilicato a una planta para estimular el rendimiento y la eficacia del nitrógeno en condiciones de nitrógeno subóptimas. La expresión "cantidad eficaz" se refiere a una cantidad para aumentar el rendimiento y la eficacia del nitrógeno de una planta en condiciones de suministro de nitrógeno subóptimas en al menos 10 %, al menos 15 %, al menos 20 %, al menos 25 %, al menos 30 %, en forma ventajosa, en al menos 30 %, al menos 35 %, al menos 40 %, al menos 45 %, en forma ventajosa, en al menos 50 %, al menos 55 %.

El aumento en rendimiento se mide determinando la biomasa producida por una planta. El término "aumento" se refiere a una planta que no ha recibido ningún ingreso de un vidrio de aluminosilicato.

El aumento en eficacia del nitrógeno se mide determinando la relación entre el rendimiento y la cantidad de nitrógeno aplicados a una planta. El término "aumento" se refiere a una planta que no ha recibido ningún ingreso procedente de un vidrio de aluminosilicato.

En el método de tratamiento de una planta de acuerdo con la invención, el vidrio de aluminosilicato está

provisto, en forma ventajosa, a una planta por medio de las raíces.

Este tratamiento se puede aplicar, en particular, en el campo, aunque también en invernaderos, posiblemente en sustratos fuera del terreno (*off-ground*) (hidroponía).

En una forma de realización particular, el vidrio de aluminosilicato se proporciona a una planta en una cantidad comprendida entre 2 Kg/ha (kilogramos/hectárea) y 1000 Kg/ha. En esta forma de realización, el vidrio de aluminosilicato, en forma ventajosa, se esparce uniformemente sobre un campo o un cultivo de plantas.

En otra forma de realización particular, el vidrio de aluminosilicato se proporciona a una planta en forma de fertilizantes sólidos, pulverulentos/en polvo o en gránulos, preferentemente, en una cantidad comprendida entre 5 y 800 Kg/Ton de fertilizante (T) y, preferentemente, en el orden de 50 a 300 Kg/Ton de fertilizante (T).

Así pues, el vidrio de aluminosilicato puede ser utilizado como suplemento en composiciones fertilizantes, tales como los fertilizantes, como un impulsor de rendimiento y eficacia del nitrógeno en condiciones de suministro de nitrógeno subóptimas en una planta. En particular, este vidrio se puede combinar con otra sustancia fertilizante convencionalmente empleada en

composiciones fertilizantes.

En una forma de realización particular de la invención, se utiliza una cantidad eficaz de un vidrio de aluminosilicato en una composición fertilizante en asociación con una o más sustancias fertilizantes. Las sustancias fertilizantes que se pueden usar en asociación con el vidrio de aluminosilicato pueden ser de varios tipos y se seleccionan, por ejemplo, entre urea, solución de nitrógeno, sulfato de amonio, nitrato de amonio, fosfato de roca, cloruro de potasio, sulfato de amonio, nitrato de magnesio, nitrato de manganeso, nitrato de cinc, nitrato de cobre, ácido fosfórico, ácido bórico. En forma ventajosa, esta sustancia fertilizante adicional se selecciona entre urea, sulfato de amonio, nitrato de amonio, solución de nitrógeno y/o nitrato de potasio.

La invención también se refiere a un método para estimular el rendimiento y eficacia del nitrógeno en condiciones de suministro de nitrógeno subóptimas en una planta, caracterizado porque comprende suministrar a dicha planta o al suelo, una cantidad eficaz del vidrio de aluminosilicato, tal como se definió con anterioridad.

El vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención puede incorporarse en formulaciones destinadas a la preparación de fertilizantes en forma de gránulos.

Dichos gránulos pueden prepararse en la forma usual,

ya sea secos, por ejemplo, compactando la mezcla en polvo entre dos rodillos cilíndricos, o húmedos, por ejemplo humedeciendo la mezcla en polvo con un aglutinante líquido, seguido por secado y clasificación y/o cribado.

Estos gránulos pueden, en particular, tener las siguientes composiciones en peso:

Nitrógeno : desde 20 hasta 28 %

SO₃ : desde 18 hasta 23 %

CaO : desde 4 hasta 8 %

SiO₂ : desde 6 hasta 10 %

Dichos gránulos, preferentemente, se obtendrán mediante el proceso húmedo mezclando urea, sulfato de amonio, cloruro de potasio, carbonato de calcio y un aglutinante para la granulación.

A continuación se ilustrará la presente invención mediante los siguientes ejemplos no taxativos, con referencia a las Figuras 1 a 5 anexas.

En estos ejemplos, a menos que se indique de otra forma, los porcentajes son en peso y la temperatura es la temperatura ambiente.

Se utilizan las siguientes abreviaturas:

L: litro

V/V: volumen/volumen

Kg N. ha⁻¹yr⁻¹: kilogramos de nitrógeno por hectárea por año.

Breve descripción de las ilustraciones

La Figura 1 es un gráfico que muestra el impacto de la aplicación del fertilizante de nitrógeno sobre (i) el rendimiento de granos (líneas enteras y con forma de diamante), (ii) pérdidas por filtración de nitrógeno (gráfico de barras) y (iii) eficacia del nitrógeno (líneas de guiones y con forma de cuadrados).

La Figura 2 es un gráfico que representa el porcentaje de silicio (de un vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención) disuelto en varios ácidos.

La Figura 3 es un gráfico que representa el porcentaje de silicio (de un vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención, silicato de calcio, tierras de diatomeas y vidrio de sosa-cal-dióxido de silicio) disuelto en varios ácidos (ácido málico A, ácido oxálico B, ácido cítrico C y ácido succínico D).

La Figura 4 reproduce las fotografías que muestran la formación de fitolitos en una hoja de arroz (*Oryza sativa*) tratada con un vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención (V1) y con silicato de sodio.

La Figura 5 es un gráfico que representa el rendimiento de plantas de raigrás (*ryegrass*, césped inglés), es decir, la masa seca de las plantas de raigrás, (i) con un alimento libre de nitrógeno, (barra "0"); (ii) con un alimento con contenido de 60 Kg. ha¹ de nitrógeno,

(barra "60"); (iii) con un alimento con contenido de 100 Kg. ha⁻¹ de nitrógeno, (barra "100"); donde esta dosis se considera la dosis de nitrógeno subóptima que no logra rendimiento óptimo, (iv) con un alimento que incluye 140 Kg. ha⁻¹ de nitrógeno, (barra "140"), donde esta dosis se considera como la dosis de nitrógeno óptima que permite lograr el rendimiento óptimo, y (v) con un alimento que comprende 100 Kg. ha⁻¹ de nitrógeno y 50 Kg. ha⁻¹ de un vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención, (barra "100 + vidrio de aluminosilicato").

La Figura 6 es un gráfico que representa la eficacia del nitrógeno de las plantas de raigrás, es decir, la masa seca de las plantas de raigrás dividido por la cantidad de nitrógeno suministrado, (i) con un alimento que comprende 60 Kg. ha⁻¹ de nitrógeno, (barra "60"); (ii) con un alimento que comprende 100 Kg. ha⁻¹ de nitrógeno, (barra "100"); (iii) con un alimento que comprende 140 Kg. ha⁻¹ de nitrógeno, (barra "140"); (dosis óptima de nitrógeno que permite lograr un rendimiento óptimo) y (iv) con un alimento que comprende 100 Kg. ha⁻¹ de nitrógeno y 50 Kg. ha⁻¹ de un vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención, (barra "100 + vidrio de aluminosilicato").

La Figura 7 es un histograma que muestra la distribución de tamaño de partícula de un polvo de vidrio utilizado de acuerdo con la invención.

Descripción de las formas de realización

Ejemplo 1: Preparación de partículas de vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención

Se prepararon dos composiciones de vidrio de aluminosilicato ilustrativas de la invención fundiendo una mezcla vitrificable adecuada de acuerdo con un método usual de obtención de una masa de vidrio fundida.

Las composiciones de estos dos vidrios de aluminosilicato se observan en la siguiente Tabla 2.

Tabla 2

	«Vidrio 1 »	«Vidrio 2 »
SiO ₂	40,8	43,1
Al ₂ O ₃	16,8	22,8
Na ₂ O	1,7	6,2
K ₂ O	1,4	4,0
MgO	6,0	1,8
CaO	25,0	14,6
Fe ₂ O ₃	5,8	5,8
Impurezas	2,5	1,7

Después de enfriar, la masa de vidrio obtenida se trituro por medio de un molino de péndulo asociado con un selector aerodinámico (un molino en el cual la trituración se obtiene triturando el vidrio entre un anillo cilíndrico fijo con un eje vertical y rodillos centrífugos por rotación de su soporte).

Se midió el tamaño de partícula de las partículas de vidrio obtenidas de esta forma mediante la medición del tamaño por difracción con láser y la Figura 7 muestra la

distribución de tamaño de partícula de dichas partículas.

En este ejemplo, se utilizaron las siguientes condiciones de operación:

- dispositivo utilizado:

Mastersizer 2000, Malvern

Accesorio Hydro Cell 2000

- parámetros operativos:

Proceso líquido

Dispersante: alcohol

Índice refractivo (partícula):1,52

Índice de absorción (partícula):0,01

Velocidad de agitación: 2000 rpm

Uso ultrasónico: no

Tiempo de medición: 6 segundos

Tiempo de medición en blanco: 6 segundos

Rango de oscurecimiento: 6,21 %.

El polvo obtenido tuvo los siguientes valores de características:

D90: 189 micrones

D50: 81 micrones

D10: 18,4 micrones

Ejemplo 2: Demostración de las propiedades de disolución de un vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención en presencia de ácidos orgánicos

Las plantas tienen la particularidad de liberar

diversos ácidos orgánicos a través de sus raíces, tales como, en particular, ácido cítrico, ácido láctico, ácido málico, ácido oxálico, ácido succínico, ácido fórmico, ácido acético, ácido pirúvico, ácido maleico, ácido oxaloacético, ácido ascórbico, ácido isocítrico.

Con el fin de demostrar las propiedades de disolución especiales de un vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención en dichos ácidos orgánicos, se trataron las partículas del vidrio 1 preparadas de acuerdo con el ejemplo 1 con el siguiente protocolo.

Preparación de medios con diferentes ácidos orgánicos

Se prepararon diversos medios y su composición se muestra en la siguiente Tabla 3:

Tabla 3

Medio	Composición del medio	pH del medio de entorno
Agua ultrapura	Agua ultrapura	7,0
Ácido sulfúrico	Agua ultrapura ajustada a pH 2 con ácido sulfúrico concentrado	2,0
Ácido nítrico	Agua ultrapura ajustada a pH 2 con ácido nítrico concentrado	2,0
Ácido clorhídrico	Agua ultrapura ajustada a pH 2 con ácido clorhídrico concentrado	2,0
Tampón de fosfato citrato	360 mL de Na ₂ HPO ₄ 0,5 M + 220 mL de ácido cítrico 0,5 M + 1420 mL de agua ultrapura	4,5

Tampón de fosfato oxalato	360 mL de Na_2HPO_4 0,5 M + 220 mL de ácido oxálico 0,5 M + 1420 mL de agua ultrapura	4,2
Tampón de fosfato tartrato	360 mL de Na_2HPO_4 0,5 M + 220 mL de ácido tartárico 0,5 M + 1420 mL de agua ultrapura	4,4
Ácido cítrico 2 %	40 g de ácido cítrico en 2 L de agua ultrapura	2,0
Ácido succínico 2 %	40 g de ácido succínico en 2 L de agua ultrapura	2,5
Ácido oxálico 2 %	40 g de ácido oxálico en 2 L de agua ultrapura	1,2
Ácido tartárico 2 %	40 g de ácido tartárico en 2 L de agua ultrapura	2,0
Ácido málico 2 %	40 g de ácido málico en 2 L de agua ultrapura	2,1
Ácido glucurónico 2 %	40 g de ácido glucurónico en 2 L de agua ultrapura	2,1
Ácido pirúvico 2 %	40 g de ácido pirúvico en 2 L de agua ultrapura	1,6
Ácido malónico 2 %	40 g de ácido malónico en 2 L de agua ultrapura	1,8
Ácido glucónico 2 %	40 g de ácido glucónico en 2 L de agua ultrapura	2,3
Tampón de fosfato	2,75 g de KH_2PO_4 en 2 L de agua ultrapura ajustada a pH 8,5	8,5
Tampón de fosfato	2,75 g de KH_2PO_4 en 2 L de agua ultrapura ajustada a pH 11	11

Prueba de disolución

Se colocaron 100 mg de cada producto en una caja para píldoras de 60 ml. Se agregaron 50 ml de cada medio de disolución y, luego, se puso bajo agitación continua con un

agitador rotatorio (*Heidolph reax 2*). Después de 48 h de agitación, la muestras se filtraron con papel de filtro con un diámetro de poro de 15 μm . El silicio se midió para determinar el porcentaje de disolución en cada medio.

Medición de silicio

La determinación del contenido de silicio (Si) de las muestras se llevó a cabo para cada muestra y para cada tiempo de obtención de muestras mediante espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente usando ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy*, Thermo Elemental Co. Iris Intrepid II XDL).

Los resultados se muestran en la Figura 2.

Como se puede observar, el vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención se solubiliza en presencia de los ácidos orgánicos generalmente liberados por las plantas.

Por otra parte, se observa que no se produce liberación de silicio en medios acuosos próximos al pH neutral.

Esta Figura también muestra que el efecto de solubilidad del vidrio de aluminosilicato no está relacionado solamente con el pH, puesto que la disolución de silicio es relativamente débil en ácidos fuertes tales como ácido sulfúrico, nítrico o clorhídrico.

En otras pruebas se muestra que la liberación de

silicio es congruente con la liberación de los otros constituyentes del vidrio.

Ejemplo 3: Demostración de las propiedades de disolución de un vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención en presencia de ácidos orgánicos en comparación con otras formas de silicio

Con el fin de demostrar las propiedades de disolución en particular de un vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención en ciertos ácidos orgánicos, y para poder comparar dicha disolución con la de otras formas de silicio, las partículas del vidrio 1 preparadas de acuerdo con el ejemplo 1, silicato de calcio, tierras de diatomeas y un vidrio de sosa-cal-dióxido de silicio que ilustra las instrucciones del documento de patente con el número WO 2010/040176 se trataron de acuerdo con el siguiente protocolo:

Preparación de medios con diferentes ácidos orgánicos

Se prepararon 4 medios, cada uno con contenido de un tampón de fosfato y un ácido orgánico:

Medio 1, basado en ácido málico, está compuesto por: 360 mL de Na_2HPO_4 0,5 M, 220 mL de ácido málico 0,5 M, completado hasta 2 L con agua ultrapura. El pH medido es 4,9.

Medio 2, basado en ácido cítrico, está compuesto por: 360 mL de Na_2HPO_4 0,5 M, 220 mL de ácido cítrico 0,5 M,

completado hasta 2 L con agua ultrapura. El pH medido es 4,5.

Medio 3, basado en ácido oxálico, está compuesto por: 360 mL de Na_2HPO_4 0,5 M, 220 mL de ácido oxálico 0,5 M, completado hasta 2 L con agua ultrapura. El pH medido es 4,2.

Medio 4, basado en ácido succínico, consiste en 2 % de ácido succínico preparado con 40 g de ácido succínico, suplementado hasta 2 L con agua ultrapura. El pH medido es 2,4

Prueba de disolución

Se colocaron 100 mg de cada producto en una caja para píldoras de 60 ml. Se agregaron 50 ml del medio de disolución y, luego, se colocaron bajo agitación continua con un agitador rotatorio (*Heidolph reax 2*). A continuación se tomaron sucesivas muestras de la solución después de 1, 2, 5, 8, 24 y 48 horas de agitación. Las muestras tomadas se filtraron con un papel de filtro con un diámetro de poro de 15 μm . El ensayo del silicio se llevó a cabo para cada muestra, a fin de determinar su cinética de disolución en el medio.

Medición de silicio

La determinación del contenido de silicio (Si) de las muestras se llevó a cabo para cada muestra y para cada tiempo de obtención de muestras mediante espectrometría de

emisión óptica de plasma acoplado inductivamente usando ICP-OES (Thermo Elemental Co. Iris Intrepid II XDL).

Los resultados se muestran en la Figura 3.

Como se puede observar, el vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención se solubiliza gradualmente en presencia de los ácidos orgánicos generalmente liberados por las plantas, tales como ácido málico A, ácido oxálico B, ácido cítrico C o ácido succínico D. Por otra parte, no se produce liberación de silicio en dichos medios para productos de tierras de diatomeas o vidrio de sosa-cal-dióxido de silicio.

Ejemplo 4: Demostración de la formación de fitolitos en una planta tratada con un vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención.

Preparación de material vegetal

Se colocaron semillas del arroz *Oryza sativa* L. Var ARELATE a +4 °C el día antes de la germinación para asegurar una emergencia homogénea. Luego, se sembraron sobre una capa de perlita en tanques con contenido de agua desmineralizada y se dejaron en la oscuridad durante 10 días antes de proveerles luz. Después de 7 días, las plántulas se trasplantaron a macetas de 2 L que contenían una mezcla de esferas de arcilla y vermiculita (50 %/50 %; V/V) y, luego, recibieron los diversos tratamientos en el momento del trasplante. Las plantas se regaron tres veces a

la semana con una solución de Hoagland de: KNO_3 (0,2 mM); $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,4 mM); KH_2PO_4 (0,2 mM); $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,6 mM), $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (0,4 mM); H_3BO_3 (20 μM); $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (5 μM); $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (3 μM); $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0,7 μM) ; $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,7 μM) y Fe-EDTA (200 μM). El experimento se realizó en un invernadero para cultivo a 22 °C con un fotoperíodo de 12 h de día/12 h de noche. Las plantas se cosecharon 48 días después de la aplicación del tratamiento.

Alimento que no incluyó vidrio de aluminosilicato (control)

Estas plantas recibieron solamente la solución de nutrientes descrita con anterioridad, con una frecuencia de tres veces a la semana. Las plantas se cultivaron en un invernadero para cultivo a 22 °C con un fotoperíodo de 12 h de día/12 h de noche.

Alimento que incluyó vidrio de aluminosilicato de acuerdo con ejemplo 1

Dichas plantas recibieron la solución de nutrientes descrita con anterioridad tres veces a la semana. El vidrio de aluminosilicato se agregó durante el trasplante a una dosis de 50 Kg. ha^{-1} (correspondiente a 21 Kg. ha^{-1} de SiO_2). Las plantas se cultivaron en un invernadero de cultivos a 22 °C con un fotoperíodo de 12 h de día/12 h de noche.

Alimento que incluyó silicato de sodio

Las citadas plantas recibieron la solución de nutrientes descrita con anterioridad, tres veces a la semana. Se agregó silicato de sodio durante el trasplante a una dosis de 42,6 Kg. ha⁻¹, con el fin de tener el mismo SiO₂ equivalente (21 Kg. ha⁻¹). Las plantas se cultivaron en un invernadero de cultivos a 22 °C con un fotoperíodo de 12 h de día/12 h de noche.

Observación y cuantificación de fitolitos en una planta

Para cada una de las condiciones de cultivo (control, vidrio de aluminosilicato y silicato de sodio), se formaron cuatro lotes de cuatro plantas cosechadas (1 lote = 1 réplica biológica). El método para la observación de fitolitos se basó en la autofluorescencia de fitolitos desarrollada por Dabney III et al. Plant Methods (2016) 12:3 *A novel method to characterize silica bodies in grasses.*

Se cortó una sección mediana de cada lámina de hoja a lo largo de la hoja de cada planta, se las colocó entre dos portaobjetos de microscopio y, luego, se las ubicó en un horno de mufla a 500 °C durante 3 horas para completar la carbonización de las muestras de las hojas. Después de un período de enfriamiento, los portaobjetos se colocaron bajo un microscopio de fluorescencia (Zeiss Axio Observer Z1) a una magnificación x 10. La autofluorescencia de los

fitolitos se midió usando un filtro GFP, con activación entre 450 y 490 nm y emisión entre 500 y 550 nm. La cuantificación de los fitolitos se llevó a cabo usando el software "Zen 2 Pro". Al preseleccionar un área del mismo aire sobre la imagen y para cada modalidad, se calculó el número de fitolitos usando el software como "número de fitolitos. mm⁻²".

Los datos obtenidos se presentaron como fotografías (para la observación de fitolitos) o los medios (para el número de fitolitos) y la variabilidad de los resultados se dio como un error estándar de la media para n = 4. Se llevó a cabo un análisis estadístico de los resultados usando la prueba t de Student.

La acumulación de fitolitos en una planta se muestra en la Figura 4.

Conclusión: las plantas tratadas con vidrio de aluminosilicato muestran una mayor acumulación de fitolitos en las hojas. El número de fitolitos en presencia de vidrio de aluminosilicato aumenta en +86 % en comparación con el control y en +93 % en comparación con el silicato de sodio. Esto refleja una mejor absorción de silicio de una planta en presencia del vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención.

Las pruebas adicionales, cuyos resultados no se informan en el presente documento, han demostrado que un

vidrio de sosa y cal que ilustran las indicaciones del documento de patente con el número WO 2010/040176 también conlleva a una formación limitada de fitolitos.

Ejemplo 5: Demostración de mejora del rendimiento y eficacia del nitrógeno en condiciones de nitrógeno subóptimas en una planta tratada con un vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención

Preparación de material vegetal

Se sembraron semillas de raigrás *Lolium perenne* L. Var Abys a una densidad de 240 Kg. ha⁻¹ (correspondiente a 2 g de semillas por maceta) en macetas de 2 L que contenían una mezcla de tierra y arena (50/50 - V/V) y, luego, se ubicaron en un invernadero en las siguientes condiciones: temperatura durante el día de 25 °C y un fotoperíodo de 12 h / temperatura durante la noche de 20 °C y un fotoperíodo de 12 h. La tierra utilizada tenía las siguientes características: tierra arenosa arcillosa, pH 7,1 y contenía 1,6 % de materia orgánica. Durante todo el período de duración del ensayo, las plantas se regaron en peso para mantener la tierra en el 70 % de su capacidad en el campo.

La frase "regadas en peso", tal como se utiliza en la presente descripción, se refiere a que el riego se realiza en una cantidad necesaria para compensar las pérdidas de agua que pueden ocurrir a través de la evapotranspiración.

En este caso, se agrega agua en una cantidad que traerá el peso de la maceta de nuevo a su peso original.

Con el fin de quitar el nitrógeno residual del suelo para obtener una curva de respuesta de nitrógeno, las plantas se cultivaron durante días antes de hacer el primer corte. Dicho primer corte no se analizó porque en esta etapa no se había aplicado ningún tratamiento, pues el objetivo consiste en tomar el nitrógeno residual inicialmente presente el suelo. Los posteriores tratamientos se aplicaron 28 días después de la siembra (4 días después del primer corte), con variación de la cantidad de nitrógeno aplicado (0, 60, 100, 140 Kg.ha⁻¹):

- la primera fertilización de nitrógeno se llevó a cabo 28 días después de la siembra;

- el segundo corte/cosecha se llevó a cabo 68 días después de la siembra;

- la segunda fertilización de nitrógeno se llevó a cabo 69 días después de la siembra;

- el tercer corte/cosecha se llevó a cabo 103 días después de la siembra.

La biomasa de las plantas cosechadas en el segundo y tercer corte, luego, se agregaron conjuntamente para obtener la biomasa total.

Se hicieron las siguientes observaciones.

Alimento que no incluyó nitrógeno - (0 Kg. ha⁻¹)

No se aplicó fertilización de nitrógeno a las plántulas. Esta condición se consideró una condición con deficiencia de nitrógeno, puesto que no permitió lograr un rendimiento óptimo. Las plantas se regaron en peso durante todo el período para mantener el suelo en el 70 % de su capacidad de campo.

Alimento que incluyó 60 Kg de nitrógeno por hectárea -
(60 Kg. ha⁻¹)

Dichas plantas recibieron 60 Kg de N. ha⁻¹ en la primera fertilización en forma de urea, y no se aplicó nitrógeno en la segunda fertilización de nitrógeno. Esta condición se consideró como una condición con deficiencia de nitrógeno, dado que no permitió lograr un rendimiento óptimo. Las plantas se regaron en peso durante todo el período del ensayo con el fin de mantener el suelo en el 70 % de su capacidad de campo.

Alimento que incluyó 100 Kg de nitrógeno por hectárea
- (100 Kg. ha⁻¹)

Las citadas plantas recibieron 60 Kg de N. ha⁻¹ como urea en la primera fertilización, y 40 Kg de N. ha⁻¹ como urea en la segunda fertilización de nitrógeno. Esta condición se consideró como una condición de nitrógeno subóptima, dado que no permitió lograr un rendimiento óptimo. Las plantas se regaron en peso durante todo el período del ensayo con el fin de mantener el suelo en el

70 % de su capacidad en el campo.

Alimento que incluyó 140 Kg de nitrógeno por hectárea
- (140 Kg. ha⁻¹)

Dichas plantas recibieron 60 Kg de N. ha⁻¹ como urea en la primera fertilización, y 80 Kg de N. ha⁻¹ como urea en la segunda fertilización de nitrógeno. Esta condición se considera una condición de nitrógeno óptima porque permite lograr un rendimiento óptimo. Las plantas se regaron en peso durante todo el período del ensayo con el fin de mantener el suelo en el 70 % de su capacidad en el campo.

Alimento que incluyó 100 Kg de nitrógeno por hectárea
y 50 Kg. ha⁻¹ de un vidrio de aluminosilicato de acuerdo con
ejemplo 1 (vidrio 1)

Las citadas plantas recibieron 60 Kg de N. ha⁻¹ como urea en la primera fertilización, y 40 Kg de N. ha⁻¹ como urea en la segunda fertilización de nitrógeno. Se proporcionó el vidrio de aluminosilicato durante la primera fertilización en las dosis de 50 Kg. ha⁻¹ y en asociación con la urea. Esta condición se considera como una condición de nitrógeno subóptima porque no permite lograr un rendimiento óptimo. Las plantas se regaron en peso durante todo el período del ensayo con el fin de mantener el suelo en el 70 % de su capacidad en el campo.

Medición de rendimiento y eficacia del nitrógeno

Se determinó el rendimiento por medio de la evaluación

de la biomasa de las hojas de acuerdo con el siguiente protocolo.

Para cada una de las condiciones de cultivo (0, 60, 100, 140 y 100 + 100 vidrio de aluminosilicato), y para cada corte/cosecha (segundo y tercer corte/cosecha), se formaron seis lotes de plantas cosechadas (1 lote = 1 réplica biológica). Las partes aéreas (hojas y tallos) de las plantas se pesaron (biomasa fresca) luego, se secaron en un horno (a 70 °C durante 2 días) para obtener la biomasa seca total. Se agregaron las biomásas de la segunda y tercera cosecha para obtener la biomasa total. Las mediciones de la biomasa seca de las plantas, que representa el rendimiento, se muestran en la Figura 5. Los datos obtenidos se presentaron como una media y la variabilidad de los resultados se dio como un error estándar de la media para $n = 6$. Un análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo usando la prueba t de Student.

Conclusión: En condiciones de nitrógeno subóptimas (es decir, 100 Kg. ha⁻¹), las plantas tratadas con el vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención muestran un aumento significativo del 12 % en rendimiento, lo que se traduce en mejor crecimiento de raigrás en esta condición de nitrógeno bajo. La Figura 5 también muestra que las plantas que recibieron la dosis subóptima de nitrógeno y el

vidrio de aluminosilicato tienen el mismo rendimiento que las plantas que recibieron la dosis óptima de nitrógeno (140 Kg.ha^{-2}). Este resultado muestra que el vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención estimula el rendimiento en condiciones de nitrógeno subóptimas y permite lograr el mismo rendimiento que el obtenido con las plantas que recibieron la dosis óptima de nitrógeno.

Subsiguientemente, se calculó la eficacia del nitrógeno usando la siguiente fórmula, presentada por Good et al. 2004; Dawson et al. 2008:

$$\text{Eficacia de nitrógeno} = \frac{\text{Biomasa total producida (corte 1 + corte 2)}}{\text{Cantidad total de nitrógeno provisto}}$$

Las medidas resultantes de eficacia del nitrógeno se muestran en la Figura 6. Los datos obtenidos se presentaron como una media y la variabilidad de los resultados se dio como un error estándar de la media para $n = 6$. Un análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo usando la prueba t de Student.

Conclusión: En condiciones de nitrógeno subóptimas (es decir, 100 Kg. ha^{-1}), las plantas tratadas con el vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención muestran un aumento significativo de 11 % en eficacia del nitrógeno, lo cual se traduce como un mejor aumento en el rendimiento por unidad de nitrógeno suministrado en esta condición de suministro de nitrógeno bajo. Este resultado también muestra que las plantas que recibieron la dosis subóptima

de nitrógeno y el vidrio de aluminosilicato tienen una eficacia del nitrógeno +42 % superior a la obtenida con plantas que recibieron la dosis óptima de nitrógeno (140 Kg.ha⁻²). El vidrio de aluminosilicato de acuerdo con la invención, por ende, mejora la eficacia del nitrógeno en condiciones de nitrógeno subóptimas.