Universidad Nacional de Villa María

Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Básicas y Aplicadas

Trabajo Final de Grado
para optar al título de Ingeniero Agrónomo

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL MINERAL ZEOLITA EN MEZCLA CON UREA EN EL CULTIVO DE TRIGO *(Triticum aestivum)*

AUTOR
Emilio H. Abba

Villa María - Córdoba
Junio de 2014

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL MINERAL ZEOLITA EN MEZCLA CON UREA EN EL CULTIVO DE TRIGO *(Triticum aestivum)*

Universidad Nacional de Villa María

Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Básicas y Aplicadas

Título del Trabajo Final de Grado: **EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL MINERAL ZEOLITA EN MEZCLA CON UREA EN EL CULTIVO DE TRIGO *(Triticum aestivum)***

Autor: Emilio H. Abba

Director: Ing. Agr. (M.Sc.) Sebastián Gambaudo

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Tribunal evaluador *(Art. Nº 15, Res. Nº 48/2000 del Consejo Superior)*

_____	_____
Nombre y apellido	**Firma**
_____	_____
Nombre y apellido	**Firma**
_____	_____
Nombre y apellido	**Firma**

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Asesor *(Art. Nº 2, Res. 77/2006 del Consejo Directivo IAP Ciencias Básicas y Aplicadas)*

_____	_____
Nombre y apellido	**Firma**

Lugar y fecha de aprobación:

Universidad Nacional de Villa María

Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Básicas y Aplicadas

Trabajo Final de Grado
para optar al título de Ingeniero Agrónomo

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL MINERAL ZEOLITA EN MEZCLA CON UREA EN EL CULTIVO DE TRIGO *(Triticum aestivum)*

AUTOR
Emilio H. Abba

DIRECTOR
Ing. Agr. (M.Sc.) Sebastián Gambaudo

Villa María - Córdoba
Junio de 2014

DEDICATORIA

A mi Familia, mis más fervientes hinchas.

A mis amigos (G8).

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por el esfuerzo económico y comprensión ante todo.

Al Ing. Agr. (M.Sc.) Sebastián Gambaudo, director de éste trabajo.

A todo el equipo de la EEA-INTA Rafaela, por el esfuerzo físico durante el transcurso del ensayo.

A la Ing. Agr. Cecilia Milán y al Ing. Agr. Ángel Barrenechea de la U.N.V.M., por confiar en mí en el Concurso Interuniversitario realizado en la Expo Suipacha – Bs. As., 2008.

ÍNDICE

Pág.

1. INTRODUCCIÓN.....1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....3
2.1. Generalidades de las zeolitas.....4
2.1.1. Definición.....4
2.1.2. Formación geológica de las zeolitas.....5
2.1.3. Estructura y características.....5
2.1.4. Clasificación de las zeolitas.....7
2.2. Propiedades de las zeolitas.....7
2.2.1. Capacidad de intercambio catiónico.....7
2.2.2. Absorción de agua.....8
2.3. Uso de las zeolitas naturales.....8
2.4. El cultivo de trigo.....9
2.4.1. Generalidades y fenología.....9
2.4.2. Requerimientos ecofisiológicos.....11
2.4.3. Estrés hídrico.....14
2.4.4. Luz.....16
2.4.5. Requerimientos nutricionales.....17
2.4.6. Dinámica del nitrógeno.....18
3. OBJETIVOS.....19
3.1. Objetivo general.....19
3.2. Objetivos específicos.....19
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....20
4.1. Caracterización del área de estudio.....20
4.1.1. Localización del ensayo.....20
4.1.2. Caracterización de suelo.....20
4.1.3. Caracterización climática.....21
4.2. Ensayo.....22
4.2.1. Diseño experimental.....22
4.2.2. Tratamientos y manejo del cultico.....22
4.3. Determinaciones.....23
4.3.1. Suelo.....23
4.3.2. Planta.....23

4.4. Análisis estadístico.....24
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....25
5.1. Clima……25
5.2. Suelo……25
5.3. Análisis de Rendimiento y sus componentes……..28
6. CONCLUSIONES.....32
7. CONSIDERACIONES FINALES……33
8. BIBLIOGRAFÍA.....34
9. ANEXO.....40

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Nutrientes necesarios para producir una tonelada de trigo.....18

Tabla 2. Características químicas del suelo en pre-siembra.....21

Tabla 3. Características químicas del suelo en pre-cosecha……..27

Tabla 4. Oferta y Residualidad de $N\text{-}NO_3^-$ en el suelo y consumo del cultivo.....28

Tabla 5. Resumen de resultados de Rendimiento y sus componentes.....30

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Estructura típica de las zeolitas.....6
Figura 2. Gráfico de barras. Rendimiento.....29
Figura 3. Gráfico de estrellas. Rendimiento y sus componentes.....30

ÍNDICE DE SIGLAS O ABREVIATURAS

CIC	Capacidad de intercambio catiónico
PCE	Período de crecimiento de la espiga
pH	Potencial hidrógeno
Zcu	Zeolita sódica

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL MINERAL ZEOLITA EN MEZCLA CON UREA EN EL CULTIVO DE TRIGO *(Triticum aestivum)*

Autor: Emilio H. Abba

Director: Ing. Agr. (M.Sc.) Sebastián Gambaudo

RESUMEN

A través de los años, el creciente ritmo de intensificación agrícola llevó a una paulatina disminución de la fertilidad edáfica de la región pampeana, la cual debe ser recuperada mediante técnicas de fertilización adecuadas, que no perjudicaran al ambiente. Se evaluó en éste trabajo el comportamiento agronómico de mezclas físicas de urea granulada con el mineral zeolita, como regulador de la disponibilidad de nitrógeno (N) en la solución del suelo y su efecto sobre el rendimiento del cultivo de trigo *(Triticum aestivum)*. La zeolita, al poseer grandes cavidades en su estructura interna, le confiere una particularidad muy especial, la de impedir el lavado del N. Para determinar la dosis de mezcla de urea con zeolita que optimice su eficiencia, se usó un diseño experimental en bloques al azar, con cuatro repeticiones en cada tratamiento. Los tratamientos fueron ocho, un aporte de 150 kg N/ha sin zeolita como testigo, y tres mezclas físicas de urea con 10, 20 y 30% de zeolita respectivamente, de la misma manera pero con un aporte de 100 kg N/ha sin zeolita como testigo y sus tres mezclas correspondientes con 10, 20 y 30% del mineral zeolita. Se obtuvo como resultado que el cultivo de trigo produjo tendencias a incrementar los componentes numéricos de rendimiento a excepción del peso de mil granos, a partir de la adición de un 20% de zeolita en mezcla física con urea, además de permanecer el N en la zona radicular, evitando el lavado o lixiviación hacia capas más profundas, y pudiendo quedar disponible para la demanda de un cultivo posterior.

Palabras clave: urea, zeolita, lixiviación, nitrógeno, trigo, suelo.

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL MINERAL ZEOLITA EN MEZCLA CON UREA EN EL CULTIVO DE TRIGO *(Triticum aestivum)*

Autor: Emilio H. Abba

Director: Ing. Agr. (M.Sc.) Sebastián Gambaudo

1. INTRODUCCIÓN

La intensificación de la agricultura que se ha registrado durante los últimos años en la región Pampeana, ha conducido a una paulatina y constante disminución de los niveles de fertilidad edáfica. El primer elemento que comenzó a manifestar deficiencias en forma generalizada fue el nitrógeno (N), que se repone generalmente a través del uso de fertilizantes como práctica bastante generalizada (Fontanetto *et al*., 2006).

Un aspecto negativo del fertilizante nitrogenado se debe a la movilidad del anión nitrato (NO_3^-) que puede emigrar hacia capas más profundas del suelo y llegar a entrar en contacto con la napa de agua (Echeverría y García, 2005).

Existen antecedentes que demuestran que el agregado del mineral zeolita a los suelos disminuye la lixiviación antes mencionada, debido a su alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) y su afinidad por el catión amonio (NH_4^+) (Ming y Mumpton, 1989). La zeolita es un mineral del grupo aluminio-silicatos hidratados compuestos por aluminio, sílice, hidrógeno y oxígeno, organizados en una estructura tridimensional tetraédrica altamente estable. Ésta estructura conforma cristales de zeolitas que poseen una red de micro poros interconectados entre sí cuyos diámetros varían dependiendo del tipo de mineral (Soroa *et al.,* 2006).

Las propiedades físicas y químicas de las rocas zeolíticas hacen de las mismas un mejorador potencial del suelo, debido a su gran afinidad por el ión NH_4^+ (Triana y Triana, 1992). Su aplicación incide en la reducción de las pérdidas del N en los suelos, lo cual incrementa el aprovechamiento de este elemento por los cultivos (John *et al*., 1998). Además, aplicar zeolitas al suelo puede mejorar sus propiedades físicas (estructura, retención de humedad, aireación, porosidad, densidad, ascensión capilar, etc.) y químicas

(potencial hidrógeno (pH), Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y micro nutrientes). Controla la acidez incrementando el pH, debido a su capacidad alcalinizadora; aumenta la resistencia a la compactación del suelo; y suministra una superficie ideal para la adherencia de bacterias nitrificantes que propician mayor nitrificación. Por esta misma razón aumenta la población de bacterias que atacan a hongos patógenos. Además, la estructura porosa de las zeolitas ayuda a mantener el suelo aireado y facilita la buena relación entre los nutrientes (Soroa *et al.*, 2006).

La finalidad de este trabajo de investigación fue aportar información necesaria para el mantenimiento de la capacidad productiva de los suelos de la región centro de Santa Fe, con producciones sustentables a través del aporte del fertilizante nitrogenado.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En la actualidad, comienzan a surgir artículos y opiniones que remarcan el aspecto negativo del uso de los fertilizantes nitrogenados en cuanto a su contaminación en el suelo, producto de la movilidad del anión nitrato ($N\text{-}NO_3^-$) hacia las capas más profundas del mismo y que a veces puede llegar a entrar en contacto incluso con el nivel freático. Esta situación puede verse agravada cuando se efectúan fertilizaciones con altas dosis, debido que el N no aprovechado por el cultivo se acumula en el perfil y puede ser lixiviado (Soca *et al*., 2004).

Tradicionalmente, la investigación y desarrollo en el uso de fertilizantes estuvo concentrada en la maximización del beneficio económico generado a partir del agregado de un determinado nivel de nutrientes. En los últimos tiempos y sobre todo en los países desarrollados, se ha focalizado el interés en minimizar los efectos potencialmente adversos del uso de fertilizantes sobre el ambiente (Darwich, 1998).

La fertilización nitrogenada es la que mayor atención requiere en este marco. Está demostrado que la producción agrícola participa activamente de la contaminación nitrogenada de napas y la eutrofización de aguas superficiales (Adiscott, 1995).

En Argentina, y en particular en la región pampeana, las características edafoclimáticas y la intensificación en el uso de fertilizantes nitrogenados acaecida a partir de la década del ‘80, predisponen situaciones favorables para la ocurrencia de dicha problemática (Gambaudo, 2008, com. pers [1]).

En un ecosistema agropecuario, la fertilización y el proceso de mineralización, al incrementar la provisión de N en el suelo potencian la lixiviación de las formas minerales de éste elemento provocando un impacto negativo sobre el ambiente, generando en las aguas superficiales un fenómeno conocido como eutrofización. Los procesos de contaminación con nitratos asociados a sistemas de producción agrícola, han sido investigados en los últimos años y todos ellos indican que la problemática aún está

[1] Ing. Agr. (M.Sc.) Gambaudo, S. - Área Manejo de Suelos - INTA EEA. Rafaela.

presente y de no mediar medidas de corrección, la magnitud de estos fenómenos podría ser importante (Andriulo *et al.*, 2000).

A mayor dosis de fertilizante, mayor será la mineralización edáfica en el largo plazo, es probable entonces, esperar un aumento en la contaminación con nitratos en estos casos (Andriulo *et al*., 2000; Rimski-Korsakov *et al*., 2000).

Ante esta problemática, se evalúan actualmente alternativas para controlar la lixiviación de las formas inorgánicas del N desde la zona no saturada del suelo, tales como la maximización de la eficiencia de la fertilización nitrogenada y el empleo de técnicas de manejo que disminuyan la mineralización de la materia orgánica, por ejemplo a través de la reducción de labranzas y el empleo de fertilizantes de liberación lenta.

En este trabajo, se pretende abordar una de ellas, que comprende el agregado en el suelo de minerales zeolíticos, práctica que aún no se ha probado en la zona de estudio. Además, si se logra una “liberación” más lenta del N se mejoraría sustancialmente la absorción por parte de las raíces. Sin embargo, los ensayos llevados a cabo hasta el presente, fueron realizados sobre macetas en condiciones controladas, o bien sobre cultivos forrajeros y hortícolas (John *et al*., 1998). Por esta razón, se propuso realizar la experiencia a campo y con el cultivo de trigo.

2.1. Generalidades de las zeolitas

2.1.1. Definición

El término “zeolita” fue utilizado inicialmente para designar a una familia de minerales naturales que presentaban, como propiedades particulares, el intercambio de iones y la desorción reversible del agua (Tisdale *et al.,* 1985).

En 1757, Cronstedt descubrió el mineral estilbita, el cual perdía agua al calentarse con una llama de soplete, proceso ahora conocido como intumescencia. Cronstedt llamó a dicho mineral "zeolita", del griego "zeo", hervir y "lithos", piedra; ya que muchas zeolitas parecen hervir cuando se calientan. A partir de este descubrimiento, las zeolitas son consideradas

como uno de los grupos de minerales más abundantes sobre la tierra. Hasta ahora se han descubierto cerca de 40 especies naturales (Castellanos, 2000).

2.1.2. Formación geológica de las zeolitas

Su formación ocurre en rocas sedimentarias que se categorizan, según los ambientes geológicos o sistemas hidrológicos, en:

1. Lagos salinos o alcalinos.
2. Suelos salinos o alcalinos.
3. Sedimentos marinos profundos.
4. Sistemas hidrológicos abiertos.
5. Zonas de alteración hidrotermal.
6. Ambientes digenéticos o metamórficos.

Las zeolitas se forman por las reacciones del material volcánico con distintos tipos de aguas subterráneas, de lagos o de mar, bajo diferentes condiciones geológicas de presión, temperatura, concentración de disolución y pH (Porta *et al.,* 1999). El pH de las soluciones donde se forman las zeolitas varía desde neutro o 7 hasta 10, pero la formación se favorece más en los ambientes con pH alcalino (elevado), donde la solubilidad de la sílica es alta. La actividad de las especies disueltas en iones alcalinos y alcalinotérreos es determinante en la formación de zeolitas (Navarro, 2000).

2.1.3. Estructura y características

Las zeolitas son aluminosilicatos con cavidades de dimensiones moleculares de 3 a 10 Å que contienen iones (Na^+, K^+ y Ca^{2+}, entre otros) y moléculas de agua con libertad de movimiento, lo que favorece su capacidad de intercambio iónico con el medio circundante. Estos minerales se encuentran en rocas sedimentarias, variando significativamente en sus propiedades físicas y químicas. Entre los diferentes tipos de zeolitas, la clinoptilolita y la mordenita se distinguen por su utilidad en la agricultura (Mumpton, 1983; Nus y Brauen, 1991; Huang y Petrovic, 1994; Ming y Allen, 2001), debido a que al reaccionar con el NH_4^+ del medio acuoso en el que se

encuentran, lo retienen en su estructura interna y externa, la que presenta una gran carga aniónica, funcionando entonces como un fertilizante nitrogenado de lenta liberación.

Diversos trabajos han demostrado la utilidad del uso de la zeolita, ya sea como un medio para reducir la cantidad de $N\text{-}NO_3^-$ y $N\text{-}NH_4^+$ residual en la solución del suelo (Ando *et al.,* 1996), abatir la tasa de nitrificación en suelos arenosos (MacKown y Tucker, 1985) o incrementar el contenido de N en el tejido vegetal (Barbarick *et al*., 1990; Allen *et al*., 1996; Challinor *et al*., 1997).

La clinoptilolita es una de las especies más importantes y ampliamente difundidas con múltiples usos, debido a su estructura con cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento que permiten el cambio iónico y la deshidratación reversible (Breck, 1974).

Las zeolitas pertenecen a la familia de los tectosilicatos y son aluminosilicatos cristalinos, con elementos de los grupos I y II como cationes. Consisten en un armazón de tetraedros de $[SiO_4]^{4-}$ y $[AlO_4]^{5-}$ conectados el uno al otro en las esquinas por medio de átomos de oxígeno (Figura 1) (Soca *et al*., 1991).

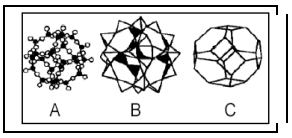

Figura 1. Estructura típica de las zeolitas. A) Atómica, B) Tetraédrica y C) Cristalina.

Su estructura presenta canales y cavidades de dimensiones moleculares en las cuales se encuentran los cationes de compensación, moléculas de agua u otros adsorbatos y sales. Este tipo de estructura microscópica hace que las zeolitas presenten una superficie interna extremadamente grande, entre 500 y 1000 m^2g^{-1}, con relación a su superficie externa. Sin embargo esta superficie es poco accesible para los contaminantes de tipo macromolecular. La microporosidad de estos sólidos es abierta y la estructura permite la transferencia de materia entre el espacio

intracristalino y el medio que lo rodea. Esta transferencia está limitada por el diámetro de los poros de la zeolita, ya que sólo podrán ingresar o salir del espacio intracristalino aquellas moléculas cuyas dimensiones sean inferiores a un cierto valor, el cual varía de una zeolita a otra (Soca *et al*., 1991).

2.1.4. Clasificación de las zeolitas

Una primera clasificación de las zeolitas surge a partir de considerar el número de átomos de oxígeno que forman los anillos o poros por los cuales se penetra al espacio intracristalino.

Las zeolitas pueden clasificarse en: a) zeolitas de poro extra grande, b) zeolitas de poro grande, c) zeolitas de poro mediano y d) zeolitas de poro pequeño, dependiendo de que el acceso al interior de los mismos se realice a través de anillos de 18, 12, 10 u 8 átomos de oxígeno respectivamente (Soca *et al*., 1991).

Otra forma de clasificar a las zeolitas es la siguiente:

- *Zeolitas sintéticas*, son sólidos obtenidas a partir de soluciones acusas saturadas de composición apropiada en un dominio de temperatura comprendida entre 25^{o} C y 300^{o} C.
- *Zeolitas naturales*, son aquellas que se forman por la acción del material volcánico con distintos tipos de agua subterráneas, de lagos o de mar, bajo diferentes condiciones geológicas de presión, temperatura, concentración de disolución y pH (Soca *et al*., 1991).

2.2. Propiedades de las zeolitas

2.2.1. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Su CIC es elevada, 650 meq 100 g^{-1} y es compensada por calcio, sodio y potasio intercambiable, que se sitúan en los espacios reticulares. Las zeolitas están íntimamente ligadas a las arcillas en lo referente a presencia y origen (Mumpton, 1984).

Por su intercambio de cationes y absorción, tiene un considerable interés para la industria (Westerman y Tucher, 1987) también se utilizan

como enmienda para los suelos, en la fabricación de fertilizantes de liberación lenta, en la dieta de los animales, etc. (Mumpton, 1984).

2.2.2. Adsorción de agua

Sus propiedades y comportamiento están íntimamente ligados con las cavidades y el sistema de canales que presentan. Su característica más importante es la posibilidad de absorber o adsorber agua de forma reversible (Mumpton, 1984).

2.3. Usos de las zeolitas naturales

En el cuarto Taller Europeo sobre Zeolitas Naturales, celebrado en Nápoles (Italia), auspiciado por la Federación Europea de Asociaciones de Zeolitas, se determinaron tres usos fundamentales para las zeolitas naturales:

- Control ambiental
- Materiales de la construcción
- Agricultura (Gianetto y Rodríguez, 1990).

Los agricultores japoneses la utilizan desde hace tiempo con resultados satisfactorios (Barbarick y Pirela, 1984). Con el uso de estos materiales se han obtenido incrementos significativos en el rendimiento de diferentes cultivos (Mumpton, 1984).

Las propiedades que hacen atractivas a las zeolitas para ser usadas en la agricultura son:

- La capacidad y selectividad al intercambio iónico.
- La modificación de la granulometría del suelo por la presencia de la partícula de zeolita.
- La adsorción de agua.

Los mejores resultados han sido obtenidos usando mezclas de fertilizantes minerales y material zeolítico, lo que reduce la dosificación del fertilizante y la pérdida de los nutrientes por lixiviación durante la irrigación de los cultivos (Soca *et al*., 1991).

2.4. El cultivo de trigo

2.4.1. Generalidades y fenología

El trigo es una gramínea anual, de crecimiento invierno-primaveral, que debido a su gran diversidad genética está capacitada para crecer y producir en ambientes muy diferentes entre sí. Esta es la razón principal de la amplia difusión que tiene el cultivo de trigo a nivel mundial y en Argentina en particular (INTA, 1981).

El ciclo de los cereales está determinado por una secuencia de eventos ontogénicos controlados por factores ambientales principalmente temperatura (incluida la vernalización) y el fotoperiodo (Slafer and Rawson, 1994; Miralles and Slafer, 1999).

Las distintas combinaciones de clima y suelo a través de la acción e interacción de sus elementos constitutivos producen modificaciones en el funcionamiento de la planta con repercusiones directas sobre el rendimiento. Por eso, resulta útil describir las principales características funcionales de la planta de trigo, sus necesidades en relación a las etapas de crecimiento, como también la acción positiva o negativa de los elementos del ambiente sobre los componentes básicos de rendimiento.

Según el INTA (1981), desde la siembra del grano hasta la cosecha, la planta de trigo atraviesa los siguientes estadios fenológicos:

a) *Germinación*: cuando el grano de trigo es depositado en el suelo con suficiente humedad, el agua y el oxígeno disuelto en ella penetran en la semilla y se desencadena el proceso de la germinación. La semilla requiere acumular un mínimo de 30 a 40% de su peso en agua para que comience dicho proceso. Además, es necesario un mínimo de temperatura en el suelo de 3,5 a 5°C y se ha comprobado que existe una temperatura óptima para la germinación de 20 - 25°C.

b) *Emergencia*: cuando el coleóptilo, capuchón que protege la primera hoja de la plántula, rompe la corteza del suelo, se pone en funcionamiento el mecanismo denominado fotosíntesis. A través del mismo, las partes verdes de la planta captan la energía luminosa del sol. Mediante dicha energía transforman el gas carbónico del aire y el agua y los minerales del suelo en

materia orgánica. La planta se alimenta desde ese momento independiente de las reservas existentes en el grano.

Si luego de la siembra, en el suelo se forma una costra superficial por efecto de una lluvia, la emergencia no se produce. Como el desarrollo de la planta hasta ese momento se hizo a expensas de las sustancias de reservas que existen en la semilla, agotadas las mismas, la planta muere. Por dicha razón, en presencia de suelos compactados se recomienda romper dicha costra para permitir la emergencia. Aquí queda definido el número de plantas por metro cuadrado, primer componente del rendimiento.

c) *Macollaje*: en éste estadío, se incrementa el número de tallos, hojas y raíces. Una vez emergidas las tres primeras hojas aparece, asimismo, la hoja bandera. Con la cuarta hoja nace también el primer macollo y, con la aparición de la quinta, el segundo. De esta forma, simultáneamente con la aparición de una nueva hoja aparece un nuevo macollo. Este proceso dura entre 30 y 40 días. El número de macollos es muy variable. Va desde uno por planta hasta un centenar. Esto depende de factores como variedad del cultivar, condiciones ambientales y técnicas culturales. El cultivo consume de 1 a 3 milímetros de agua por día en este estadio y queda determinado el número potencial de espiguillas por espiga (número de primordios de espiguillas) y se define también el número de macollos por metro cuadrado o número potencial de espigas.

d) *Alargamiento de los tallos*: a partir del macollamiento los tallos comienzan a crecer muy rápido para, finalmente, emitir la espiga. Éste estadio es denominado también *Encañazón*. Las necesidades de nutrientes, entre otros, gas carbónico, agua, nitrógeno y fósforo se incrementan, como así también el consumo de agua de 3 a 5 milímetros (mm) por día. En esta etapa quedan definidos el número de flores potenciales, el número de espigas por metro cuadrado y el peso de los óvulos.

e) *Espigazón y Floración*: al aparecer las espigas y alcanzar el trigo su altura máxima, el desarrollo vegetativo se ha completado. Comienza la floración. Aquí el cultivo necesita de 5 a 6 mm de agua por día. El proceso de la planta se encauza hacia la espiga. Las reservas acumuladas en los tallos y hojas, sobre todo las ubicadas en las partes más bajas se movilizan

hacia la espiga. En estos momentos y sobre todo en floración, el trigo resulta más susceptible a los factores limitantes del ambiente como altas o bajas temperaturas, sequías, exceso de agua, alimentación mineral deficiente, etc. Estos factores actúan disminuyendo sobre todo el número de granos por espiga.

f) *Llenado y Madurez del grano*: la duración del período comprendido entre la floración y la madurez fisiológica del grano depende de la variedad.

No obstante, puede acortarse o alargarse en función de las condiciones ambientales. Acortan la duración de este período la falta de agua (es decisivo, un estrés determina un menor período de llenado), temperaturas elevadas y alta insolación. Alargan este período los suelos húmedos, el tiempo frío y nublado.

El nitrógeno, el fósforo y otros nutrientes necesarios para el crecimiento del grano son absorbidos en su mayor parte durante esta fase.

El sistema fotosintético continúa trabajando, tanto en tallos y hojas como en la espiga, mientras existen tallos verdes. Queda el grano o semilla como único órgano vivo. Durante el período de llenado de granos existen dos órganos de la planta que cumplen un rol importante, ellos son: las aristas de la espiga y la hoja bandera, que resultan allí muy eficientes desde el punto de vista de la fotosíntesis y la transpiración. Se estima que un 12% del peso seco del grano proviene de la actividad asimiladora de las aristas.

Del mismo modo, la hoja bandera en una excelente fábrica de productos orgánicos destinados al grano. Su mayor superficie y las condiciones de buena exposición a la luz solar determinan que este órgano constituya con un 25% a la elaboración del peso total del grano.

2.4.2. Requerimientos ecológicos generales

El trigo, como cualquier otro vegetal necesita temperatura para crecer y desarrollarse. Se ha comprobado que la temperatura mínima absoluta del ambiente a partir de la cual se cumple el proceso de crecimiento es de 3 a 4°C. Con temperaturas superiores a dicho umbral mínimo se incrementa la velocidad de crecimiento. La temperatura óptima para el crecimiento del trigo se encuentra entre los 18° a 25°C y la máxima de 32°C. La acción negativa

de las bajas temperaturas (heladas), dependen del momento en que se produzcan (INTA, 1981). En los primeros estadios de crecimiento, las heladas originan con frecuencia daños en las hojas. Esto se produce como consecuencia del congelamiento del agua existente entre las células de los tejidos. Si las partes afectadas no alcanzan los puntos o zonas de crecimiento, el cultivo tiene posibilidad de recuperarse.

Durante la primavera, época crítica de espigazón y floración, las heladas pueden producir graves daños. Los mismos dependen de las características de las heladas, a saber: duración, intensidad y frecuencia.

En las espigas, al matar parte del polen y afectar los estigmas provocan esterilidad de las espiguillas. En la época de llenado de granos, las bajas temperaturas interrumpen las migraciones hacia la espiga. Afectan el rendimiento del cultivo y originan, asimismo, una semilla o producto de baja calidad (granos chuzos, bajo peso hectolítrico, bajo poder germinativo y baja energía germinativa).

Las altas temperaturas, al igual que las bajas, afectan al trigo de acuerdo con el momento en que se producen. En general, las temperaturas superiores a la normal están asociadas con períodos de falta de agua (sequía) (INTA, 1981).

Durante las primeras etapas de crecimiento, si existe una adecuada provisión de agua, las temperaturas altas favorecen el desarrollo. Si falta agua o ésta es insuficiente, se reduce el número de macollos viables por planta y es menor el crecimiento. Se observa, sobre todo una menor altura de plantas y una menor superficie de hojas. Las elevadas temperaturas y la falta de agua durante el llenado de granos acortan la duración de dicho período y afectan el rendimiento y la calidad de los granos.

La luz cumple también un papel importante en este proceso. En efecto, el trigo, como otros cereales de invierno, está considerado una planta de días largos. Esto quiere decir, que es una especie que florece cuando la duración de la luz del día es superior a 14 horas.

El agua es requerida para la síntesis de carbohidratos, para mantener la hidratación del protoplasma y como un vehículo para la translocación de carbohidratos y nutrientes. Además, influye sobre el comportamiento de los

microorganismos del suelo que, a niveles de humedad en extremo altos o en extremo bajos, son ineficaces en la transformación de nutrientes en formas disponibles para las plantas. El nivel de humedad del suelo tiene un efecto pronunciado en la absorción de nutrientes por las plantas ya que bajos niveles de agua disponible en la zona radical afectan los procesos de difusión, flujo masal e intercepción por las raíces. Como regla general, existe un incremento en la absorción de nutrientes cuando la disponibilidad de agua es alta (Rodríguez, 2008).

El trigo necesita, al igual que otras plantas, una elevada cantidad de agua para crecer. La mayor parte de ella se utiliza en el proceso transpiratorio. Al igual que otros cereales de invierno, es una planta con reducida eficiencia en su uso. En este aspecto se confirma su condición de planta C3, es decir, que posee moléculas de materia orgánica con tres átomos de carbono y se diferencia de las C4, con moléculas de cuatro átomos de carbono, como el maíz, por ejemplo. Las plantas C4 aprovechan incluso mejor la luz solar que las plantas C3. No obstante, las necesidades de agua, varían en los diferentes ambientes en función del clima y suelo (INTA, 1981).

En general, se puede afirmar que todas aquellas condiciones que favorecen en crecimiento vegetal, contribuyen a aumentar la eficiencia en el uso del agua; reducen la cantidad necesaria de agua para producir un kilogramo de materia seca. Por su parte, condiciones de clima y suelo adversas como altas temperaturas, baja humedad atmosférica, iluminación deficiente, vientos fuertes, baja fertilidad del suelo, bajo o alto contenido de agua en el suelo y/o disponibilidad no balanceada de nutrientes, contribuyen a disminuir la eficiencia y aumentan la cantidad de agua para producir un kilogramo de materia orgánica. Por lo expresado, la eficiencia en el uso del agua puede variar de 225 a más de 1000 unidades de agua por unidad de materia seca (INTA, 1981).

Se ha calculado que para obtener un rendimiento de 3000 kilogramos (kg) de grano son necesarios unos 450 mm de agua disponible durante el ciclo de este cereal. Pero, el consumo de ese milimetraje de agua no es uniforme durante todo el ciclo. El mismo se concentra en los períodos de

crecimiento vegetativo y durante el reproductivo. Así, desde cinco semanas antes de espigazón hasta cinco semanas posteriores a floración, el trigo consume del 65% al 75% del agua necesaria para todo su ciclo de vida.

2.4.3. Estrés hídrico

Como se mencionó, el trigo es el de mayor importancia en la región central semiárida de la Argentina, presentando una gran variabilidad en los rendimientos a través de los años. Esta inestabilidad se debe principalmente a las condiciones ambientales predominantes en la región, donde el trigo se desarrolla casi exclusivamente con el agua acumulada en el perfil del suelo.

Las etapas de pre-macollaje, macollaje e inicio de encañazón se suceden sin mayores limitantes; en cambio, a partir de encañazón hasta floración el cultivo se desarrolla con déficit hídrico y temperaturas cálidas. Bajo estas condiciones de estrés, se ve notablemente afectada la expresión de los componentes numéricos del rendimiento (Wollenweber *et al.*, 2003).

El agua disponible es, generalmente, el principal factor que limita el crecimiento y rendimiento de los cultivos en condiciones de secano. Por lo tanto, el factor clave para alcanzar mejores resultados en la agricultura de secano es tratar de maximizar el uso del agua por parte de los cultivos (Fraschina *et al.*, 2003).

Los vegetales se encuentran sometidos constantemente a agentes que pueden afectar la integridad de la planta, tales como los producidos por temperaturas anormales, condiciones físicas y químicas desfavorables en el suelo y la presencia de elementos patógenos. Sin embargo, a largo plazo, el déficit hídrico reduce el crecimiento y la producción de los cultivos más que otro déficit combinado, principalmente porque se involucra en todos los procesos físicos y químicos del organismo (Martín de Santa Olalla y De Juan, 1993).

A medida que se pierde la humedad del suelo cercano a la zona radicular, la transpiración se reduce debido a un cierre parcial de los estomas, provocando una disminución en la fotosíntesis y en consecuencia una merma del rendimiento final (Díaz *et al*., 1983).

En la región subhúmeda y semiárida pampeana el uso consuntivo de los cultivos de cosecha y forrajeros normalmente resulta superior a las precipitaciones, es decir la cantidad y distribución de estas no logran cubrir los requerimientos hídricos, limitando la productividad de los cultivos. De manera similar, en la región arenosa de Canadá se ha observado que el agua y los nitratos son los principales determinantes de la productividad de los cultivos de cereales, dando esto una estrecha relación entre la variación en la eficiencia de uso del N disponible (entre 4 y 41 kg de grano kg de N aplicado -1) y el uso de agua por el cultivo de trigo (Campbell *et al.,* 1993).

El estrés hídrico puede llegar a afectar negativamente al conjunto de las funciones fisiológicas de la planta, como fotosíntesis, respiración y reacciones metabólicas diversas, además de repercutir en variaciones anatómicas sobre el crecimiento, reproducción y desarrollo del fruto y la semilla. En términos agronómicos estos efectos se traducen en bajas de rendimiento cuantitativo y/o cualitativo, como es la modificación de la composición química de los productos agrícolas (Israelsen y Hansen, 1985).

Todo déficit hídrico produce una reducción de los rendimientos, sin embargo, todos los cultivos tienen períodos críticos en los cuales son más sensibles a los efectos de la sequía. Estos son estados fenológicos en donde el efecto detrimental de un estrés hídrico es mayor, debido a que son etapas con un activo crecimiento y división celular, las que generan en un breve período de tiempo, grandes cambios de tamaño en algún componente de producción de la planta (Jara y Valenzuela, 1998).

Al igual que el número de espigas por planta, el número de espiguillas por espiga se determina en una fase muy temprana del desarrollo del cultivo (Slafer & Rawson, 1994). Bajo condiciones de estrés hídrico, el éxito reproductivo de la planta depende en gran medida del equilibrio que se alcance en la expresión de ambos caracteres (destinos). En tal sentido, Richards *et al*. (2001) señalan que un mecanismo de adaptación importante en trigo bajo condiciones de sequía es la capacidad de regulación del área foliar mediante la inhibición de macollos vegetativos.

El estrés hídrico reduce el crecimiento celular, disminuye el área foliar, reduce la fotosíntesis y consecuentemente disminuye la producción y el

rendimiento de los cultivos (Acevedo *et al*., 1998). El efecto del déficit hídrico depende del período de desarrollo en que ocurre. Déficit suave de agua en el período vegetativo pueden producir poco efecto sobre el crecimiento del cultivo, pudiendo acelerar la maduración. El período de floración es muy sensible al déficit de agua, pues afecta la formación del polen y la fertilización. El número de granos puede disminuir bruscamente cuando el estrés ocurre en el período de crecimiento de la espiga y antesis (Hochman, 1982).

En todos los cultivos agrícolas existe un período en el cual cualquier factor que afecte el crecimiento produce una reducción mayor a la que produciría en otro momento del ciclo. A dicho momento se lo conoce como crítico para la determinación del rendimiento. En el cultivo de trigo el período crítico es el período de crecimiento de la espiga (PCE) que corresponde aproximadamente desde los dos últimos tercios de espiguilla terminal hasta la antesis (Abbate *et al*., 1994).

Los efectos de la deficiencia de agua estarían directamente relacionados con la intensidad y duración del estrés, con el estado fenológico del cultivo y la capacidad genética del cultivar utilizado (Panozzo & Eagles, 1999). El crecimiento del trigo bajo condiciones de estrés hídrico provoca un acortamiento del período efectivo de llenado de granos y, consecuentemente, un bajo peso de los granos (Frederik y Camberato, 1995).

La resistencia a la sequía en las especies del cultivo está asociada al grado en que éstas regulan el contenido de agua y el potencial hídrico foliar durante el estrés. La capacidad de una planta para mantener su estado hídrico a medida que el potencial hídrico del suelo disminuye constituye una adaptación al déficit hídrico (Acevedo *et al*., 1998).

2.4.4. Luz

En términos generales, la luz no es normalmente un factor limitante de la producción. No obstante, pueden existir ciertas condiciones particulares de excesiva nubosidad, como inviernos con poco sol por gran cobertura de

nubes, tienen influencia en la marcha del N dentro de la planta, principalmente en el metabolismo de nitratos.

En macollaje, la luz actuará desinhibiendo las yemas axilares que producirán por consiguiente nuevos macollos de no existir déficits nutricionales.

Después de la fecundación, puede ocurrir que las bajas intensidades de luz afecten notablemente el cuaje de los granos. Si durante esa semana se presentan días nublados se puede producir el aborto de flores fecundadas.

En la formación y el llenado de granos, la intensidad lumínica se halla ligada al ritmo de la fotosíntesis y por lo tanto al tamaño de los granos. Así, bajas intensidades lumínicas durante el proceso de llenado, reduce el tamaño de los grano, sobre todo el de las flores superiores dentro de la espiguilla (CREA, 1986).

2.4.5. Requerimientos nutricionales

El rendimiento del cultivo de trigo en una región determinada es la resultante de la interacción entre factores ecológicos, tecnológicos y genéticos. La potencialidad del cultivo de trigo defiere entre las distintas regiones productivas de Argentina debido a factores fundamentalmente climáticos. Sin embargo, en muchos casos, los rendimientos potenciales del cultivo no se alcanzan debido a la oferta reducida de recursos. La nutrición y su manejo a través de la fertilización constituyen uno de los principales recursos que limitan la producción de trigo en el país.

Los requerimientos nutricionales pueden variar de acuerdo con los aspectos mencionados anteriormente. De acuerdo a trabajos realizados (Tabla 1), se pueden establecer qué cantidad de nutrientes se necesitan para producir una tonelada de trigo y los mismos deben ser considerados como promedios ya que la concentración de nutrientes en planta y grano es bastante variable, según las condiciones de producción, niveles de rendimiento y fertilización realizada (García y Echeverría, 2008).

Tabla 1. Nutrientes necesarios para producir una tonelada (Tn) de grano de trigo (García y Echeverría, 2008).

Kg de nutriente/Tn de grano	
Nitrógeno (N)	30
Fósforo (P)	5
Potasio (K)	19
Calcio (Ca)	3
Magnesio (Mg)	3
Azufre (S)	4,5
Boro (B)	0,025
Cobre (Cu)	0,01
Hierro (Fe)	0,0137
Manganeso (Mn)	0,07
Zinc (Zn)	0,052

2.4.6. Dinámica del nitrógeno (N)

El N es el nutriente que con mayor frecuencia aparece como deficiente en la producción de cultivos y muchos de los procesos que gobiernan su transformación y disponibilidad, pueden ser manipulados a través de las prácticas de manejo del suelo y de cultivos (Tisdale *et al*., 1993). Éstas prácticas producen, en general, una alteración del ambiente edáfico, modificando las condiciones ambientales para la actividad de los microorganismos, los que son en definitiva, los responsables de las transformaciones del N (Power, 1994).

El proceso de mineralización/inmovilización es uno de los que más influye sobre la disponibilidad de N en el suelo (Doran y Smith, 1987). La intensidad de éste proceso puede variar en función de condiciones naturales (p.e. disponibilidad de agua, temperatura) o de alteraciones del ambiente edáfico provocado por prácticas de manejo (p.e. sistema de laboreo, disposición de los residuos) (Power y Legg, 1978).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Evaluar el comportamiento agronómico de mezclas físicas de urea granulada con el mineral zeolita, como regulador de la disponibilidad de N en la solución del suelo y su efecto sobre el rendimiento del cultivo de trigo *(Triticum aestivum)*.

3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el rendimiento y sus componentes en el cultivo de trigo *(Triticum aestivum)* ante el agregado de diversas dosis de N en mezcla física con el mineral zeolita.
- Definir la dosis de mezcla que optimice la eficiencia de uso del N del suelo.
- Evaluar el comportamiento del ion $N\text{-}NO_3^-$ en el suelo en función de distintas dosis de N utilizadas.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Caracterización del área de estudio

4.1.1. Localización del ensayo

El ensayo se llevó a cabo en los terrenos de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del INTA Rafaela, provincia de Santa Fe, Argentina cuyas coordenadas geográficas son: 31º 12´ Lat. S. y 61º 30´ Long. O. (Panigatti *et al*., 1982).

4.1.2. Caracterización del suelo

El suelo es un Argiudol típico (Serie Rafaela) profundo, bien a moderadamente bien drenado, desarrollado en paisajes muy planos y extensos, ampliamente distribuido en el sector centro-oeste de la Pampa llana Santafesina. Dicha serie, se caracteriza por presentar un horizonte A_1 de 20 a 24 cm, bien estructurado y con un contenido de materia orgánica medio del 2,53 %, seguido por un horizonte de transición B_1 de 9 a 12 cm, sobre un B_{2t} (INTA, 1991).

El lote tiene una historia agrícola superior a 25 años, con los últimos 20 en siembra directa (SD).

Se realizó en el sitio de ensayo, un análisis de suelo en pre-siembra, para evaluar la fertilidad química a través de las siguientes variables: Materia Orgánica (Walkley y Black micro), Nitrógeno total (Kjeldahl), N-Nitratos (Harper modificado), Fósforo (Bray y Kurtz 1), Azufre de Sulfatos (Turbidimetría) y pH actual (1:2,5).

El contenido de $N\text{-}NO_3^-$ hallado en los primeros 20 cm de suelo correspondió a una oferta de 18,7 kg de $N\text{-}NO_3^-$/ha, de 20 a 40 cm, a 4,8 kg de $N\text{-}NO_3^-$/ha y de 40 a 60 cm, de 3,1 kg de $N\text{-}NO_3^-$/ha. Esto equivale a una oferta total aproximada de 27 kg de $N\text{-}NO_3^-$/ha hasta los 60 cm de suelo (Tabla 2).

Tabla 2. Características químicas del suelo en pre-siembra.

Prof.	M.O.	Nt	$N\text{-}NO_3^-$	P	$S\text{-}SO_4^=$	pH
cm	%	%	ppm	ppm	ppm	1:2,5
0 - 20	2,8	0,135	7,8	37,6	13,5	6
20 - 40	-	-	2	-	-	-
40 - 60	-	-	1,3	-	-	-

Nota: Muestra tomada el 2 de julio de 2008. INTA EEA. Rafaela. Campaña 2008/09.

Se realizó un muestreo de la humedad del suelo hasta una profundidad de 1,50 m, dando una oferta de 169 mm de agua útil, que se consideraron adecuados para el inicio de la siembra. La densidad aparente utilizada para el cálculo de humedad fue de 1,26, 1,33, 1,38, 1,35, 1,31, 1,28 y 1,27 g/cm^3 a 15, 30, 55, 85, 110, 135 y 150 cm de profundidad respectivamente (Tosolini, 2008, com. pers[2]).

4.1.3. Caracterización climatológica

El clima de la zona en estudio se caracteriza por tener un régimen isohigro con precipitaciones que se distribuyen en un 70% en el período primavera - verano, un 23% durante el otoño y sólo un 7% en el invierno.

En cuanto a las precipitaciones, la media anual es de 958,8 mm, pero se presentan años en donde dichas precipitaciones, se apartan considerablemente de ese valor, como es el caso del quinquenio 1973-77, con una media de 1246,6 mm y, por otra parte, el quinquenio 1960-64 con 775,9 mm, dando una diferencia de 470,7 mm entre las medias de dichos quinquenios. La temperatura media anual para Rafaela es de 18,9 °C, mientras que las de enero y julio son 26,0 °C y 12,7 °C respectivamente, dando una amplitud térmica de 13,3 °C (Panigatti, 1980).

Se recopiló la información climática relevante del sitio en estudio durante todo el año 2008, como precipitaciones, temperaturas máximas, mínimas y medias, como así también las heladas ocurridas (Tablas 1, 2, 3, 4 y 5 – Anexo).

[2] Geól. Tosolini, R. - Área de Cartografía de Suelos - INTA EEA. Rafaela.

4.2. Ensayo

El ensayo se sembró el 11 de Julio de 2008 y la variedad utilizada fue Don Mario Cronox 655 RPIO, ciclo intermedio, bajo el sistema de SD, a una distancia entre surcos de 21 cm.

La densidad de siembra utilizada fue de 120 kg/ha, dosificada con una sembradora experimental marca Forti (Figuras 1, 2 y 3 – Anexo), con distribuidores a conos y aplicación del fertilizante al costado y debajo de la línea de siembra. Se aplicó Glifosato el 12 de Julio de 2008, a razón de 3 l/ha, para el control de malezas existentes en el lugar; y se observó que la emergencia de plántulas ocurrió el 23 de Julio de 2008.

4.2.1. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar, con 4 repeticiones, en parcelas de 14 m^2 (1,4 m de ancho por 10 m de largo), con un espaciamiento entre bloques de 3 m entre sí (Figura 4 - Anexo). El arreglo de los tratamientos fue factorial de 2 x 4, siendo el Factor A, el nivel de fertilización con N y el Factor B, el nivel de aplicación de zeolita.

4.2.2 Tratamientos y manejo del cultivo

El cultivo de trigo *(Triticum aestivum)* se fertilizó al momento de la siembra en función de proveer al mismo una cantidad de N que asegure un normal desarrollo y permita expresar su máximo potencial de rendimiento.

Se evaluaron dos ofertas de N, una de 150 kg/ha y otra de 100 kg/ha. Para alcanzar la oferta de 150 kg/ha de N se agregó 123 kg de N/ha, equivalente a 267 kg de urea/ha (374 g por parcela). Para lograr la oferta de 100 kg/ha de N se adicionaron 73 kg de N/ha, equivalente a 159 kg de urea/ha (223 g por parcela). Se utilizó urea granulada (46% de N) combinada con zeolita en mezcla física. Las características químicas de esta última fueron las siguientes: 51,7% de óxido de sílice (SiO_2), 14,8% de óxido de aluminio (Al_2O_3), 1,7% de óxido de hierro (Fe_2O_3) 1,2% de óxido de calcio (CaO) y 5,9% de óxido de sodio (Na_2O).

Los niveles de fertilización con N (Factor A) fueron:

- 150 kg N/ha
- 100 kg N/ha

Los niveles de aplicación de zeolita (Factor B) fueron:

1- 0% (Testigo)

2- 10%

3- 20%

4- 30%

La combinación de ambos factores resultó en 8 tratamientos:

1- 150 kg/ha de N, sin zeolita, como testigo.
2- 150 kg/ha de N + 10% de zeolita (mezcla física)
3- 150 kg/ha de N + 20% de zeolita (mezcla física)
4- 150 kg/ha de N + 30% de zeolita (mezcla física)
5- 100 kg/ha de N, sin zeolita, como testigo.
6- 100 kg/ha de N + 10% de zeolita (mezcla física)
7- 100 kg/ha de N + 20% de zeolita (mezcla física)
8- 100 kg/ha de N + 30% de zeolita (mezcla física)

4.3. Determinaciones

4.3.1. Suelo

En pre-cosecha (18 de Noviembre de 2008), se recolectaron sub-muestras de suelo en cada repetición, con calador de suelo (barreno), a tres profundidades diferentes (0-20, 20-40 y 40-60 cm), conformando muestras conjuntas por tratamiento. A cada una de las mismas se les determinó el N-NO_3^- residual por el método Harper modificado, para luego calcular el consumo del cultivo durante todo el ciclo.

4.3.2. Planta

Para la determinación de los componentes del rendimiento se marcó en cada una de las parcelas (repeticiones), un metro lineal en donde se

evaluó el número de plantas y espigas/m^2 (Figuras 5 y 6 – Anexo). Previo a la cosecha, se extrajeron al azar 3 espigas por parcela, dentro del metro lineal marcado (Figura 7 - Anexo), y se determinó el número de granos por espiga y el peso de mil granos. La cosecha se realizó el día 3 de Diciembre de 2008, con una cosechadora experimental de parcelas, automotriz, marca Wintersteiger (Figuras 8, 9, 10 y 11 – Anexo), sobre una superficie de 14 m^2 (1,4 m de ancho por 10 m de largo) y el rendimiento obtenido fue ajustado al 14% de humedad.

4.4. Análisis estadístico

Los datos de Rendimiento y sus componentes se analizaron estadísticamente a través del método de Análisis de la Varianza para arreglo factorial, las medias se compararon a través de contrastes y las medias de los tratamientos se compararon con el Test de LSD Fisher con una significancia del 5% (InfoStat, 2012).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Clima

El ciclo invernal 2008 se caracterizó por una adecuada reserva hídrica inicial, luego ocurrió una combinación de factores que determinó un ambiente restrictivo permanente durante todo el ciclo del cultivo, como ser ausencia de precipitaciones, o eventualmente muy reducidas, baja humedad relativa ambiente, heladas a inicio de encañazón y elevadas temperaturas al momento del llenado de los granos.

Las precipitaciones ocurridas durante el año 2008, acumularon unos 751,8 mm, cifra que se encuentra por debajo del promedio histórico (1930-2007) en 207 mm.

Éstas limitaciones hídricas reducen la intercepción de la radiación solar por una menor exposición de la superficie foliar por enrulamiento y acartuchamiento o por muerte de hojas (Gallagher y Biscoe, 1978).

5.2. Suelo

La germinación e implantación se logró gracias al agua acumulada en el perfil del suelo al momento de la siembra (169 mm).

Aunque no se descarta la óptima cantidad de N inorgánico inicial en el perfil, las plantas habrían tenido un desarrollo limitado por la falta de agua que también afectó la absorción de N, ya sea el disponible en el perfil del suelo como el aportado por el fertilizante al momento de la siembra.

La eficiencia de uso del N depende de la condición hídrica, y en estos ambientes afectados por sequía, la respuesta a su agregado como fertilizante puede reducirse notablemente.

Bajo ésta situación, la disponibilidad de N se transforma en una limitante de los rendimientos, no por su oferta sino por la inmovilidad del elemento.

El N en su forma asimilable por las plantas es nitrato (NO_3^-), al poseer carga negativa es un anión, nunca queda retenido por los coloides del suelo, por ende el ingreso de éste elemento a la planta se produce por flujo masal, cuando la planta transpira genera un gradiente de potencial y así el agua del suelo se mueve de una zona de mayor concentración a otra de menor

concentración, entonces al transpirar, la planta hace un uso del agua del perfil y la zona de menor concentración termina siendo la raíz.

De ésta manera, el NO_3^- es transportado hacia el interior del sistema vascular de la planta, pero en condiciones de estrés hídrico como éste caso, la planta no puede tomar agua del suelo, motivo por el cual no ingresará N en ninguna de sus formas, disminuyendo así la respuesta a la fertilización como así también conduciendo a una baja eficiencia (Gambaudo, 2008, com. pers[3]).

Con el análisis en pre-cosecha (Tabla 3), se pudo observar que la residualidad de $N\text{-}NO_3^-$ en el perfil del suelo, fue menor a medida que aumentó el porcentaje de zeolita utilizado, por ende el cultivo habría utilizado mayor cantidad de N de la oferta del perfil a medida que aumentaba la proporción de zeolita (Tabla 4), pero éste mayor consumo no se tradujo en rendimiento debido a una baja respuesta a la fertilización, producto de la menor disponibilidad del recurso agua.

[3] Ing. Agr. (M.Sc.) Gambaudo, S. - Área Manejo de Suelos - INTA EEA. Rafaela.

Tabla 3. Características químicas del suelo en pre-cosecha.

Análisis de Suelo			
Tratamiento	**Prof. (cm)**	**N-NO_3^- (ppm)**	**N-NO_3^- (Kg/ha)**
1	0 - 20	20,6	51,9
	20 - 40	10,2	27,1
	40 - 60	21,8	60,2
Residualidad		**52,6**	**139,2**
2	0 - 20	13,8	34,8
	20 - 40	9,9	26,3
	40 - 60	21,3	58,8
Residualidad		**45**	**119,9**
3	0 - 20	15,2	38,3
	20 - 40	8,8	23,4
	40 - 60	13,3	36,7
Residualidad		**37,3**	**98,4**
4	0 - 20	17,9	45,1
	20 - 40	14,7	39,1
	40 - 60	9,7	26,8
Residualidad		**42,3**	**111**
5	0 - 20	24,3	61,2
	20 - 40	10,8	28,7
	40 - 60	10	27,6
Residualidad		**45,1**	**117,6**
6	0 - 20	18,1	45,6
	20 - 40	13,1	34,8
	40 - 60	4,5	12,4
Residualidad		**35,7**	**92,9**
7	0 - 20	13,5	34
	20 - 40	4,8	12,8
	40 - 60	2,9	8
Residualidad		**21,2**	**54,8**
8	0 - 20	24	60,5
	20 - 40	6,9	18,4
	40 - 60	6,9	19
Residualidad		**37,8**	**97,9**

Nota: Muestra tomada el 18 de Noviembre de 2008. INTA EEA. Rafaela. Campaña 2008/2009.

Tabla 4. Oferta y Residualidad de $N\text{-}NO_3^-$ en el perfil de suelo y consumo del cultivo.
Nota: La oferta total de $N\text{-}NO_3^-$ en cada tratamiento, incluye una mineralización del 2% sobre el N total.

Tratamiento	Oferta Total (Kg/ha $N\text{-}NO_3^-$)	Residualidad (Kg/ha $N\text{-}NO_3^-$)	Consumo del Cultivo (Kg/ha $N\text{-}NO_3^-$)
1	214	139,2	74,8
2	214	119,9	94,1
3	214	98,4	115,6
4	214	111	103,0
5	154	117,6	36,4
6	154	92,9	61,1
7	154	54,8	99,2

5.3. Análisis de Rendimiento y sus componentes

La variable Nº de plantas/m^2, primer componente numérico del rendimiento, fue relativamente óptimo (420 plantas/m^2 en promedio), logrando un buen stand de plantas a expensas del agua acumulada hasta la siembra (169 mm). Existieron incrementos en el tratamiento 8 con una dosis de 100 Kg/ha de N con 30% de zeolita, respecto a los demás tratamientos (Tabla 6 – Anexo).

El cultivo de trigo tuvo un escaso a nulo poder de macollaje, que podrían adjudicarse a factores netamente hídricos, independientemente de los tratamientos analizados, cada planta macolló muy poco, con una relación planta/espiga de 1/1,13; dicha relación fue plasmada por el comienzo de una marcada deficiencia del recurso hídrico, cuando en condiciones normales debería disponer de 600 espigas/m^2 (INTA, 1981). Por ende, la variable Espigas/m^2 demostró una tendencia a incrementarse en el tratamiento 7 con la menor dosis de N en mezcla con 20% de zeolita, respecto a los demás tratamientos (Tabla 7 – Anexo).

La variable N° de granos/espiga, tercer componente numérico de rendimiento, no demostró diferencias significativas, pero si se produjeron

tendencias a incrementarse en los tratamientos 3 y 7 donde en ambos se utilizó zeolita a razón del 20% (Tabla 8 – Anexo).

Los datos de Rendimiento y Peso de mil granos (P1000), se analizaron estadísticamente a través de contrastes y no existieron diferencias significativas entre tratamientos, donde se observa que el valor "p" es elevado, siendo mayor a 0,05 en ambas variables (Tablas 9 y 10 – Anexo).

La variable P1000, cuarto componente numérico del rendimiento, depende fundamentalmente de la temperatura y la disponibilidad hídrica durante el llenado, la cual no reveló diferencias significativas en cuanto a todos los tratamientos analizados (Tabla 11 – Anexo).

La variable Rendimiento (kg/ha) (Figuras 2 y 3), demostró una tendencia a incrementarse en el tratamiento 3 con la mayor dosis de N y zeolita al 20% a expensas de haber obtenido un alto número de granos por espiga, mientras que en el tratamiento 8 con la menor dosis de N y zeolita al 30%, se observó un leve aumento pero no significativo. Esto corresponde a un incremento con respecto a los testigos del 18,86% y 4,30% respectivamente (Tabla 12 – Anexo). El tratamiento 7, a pesar que obtuvo un buen desempeño el todos los componentes de rendimiento, no logró obtener un alto rendimiento a cosecha que podría deberse a una baja respuesta a la fertilización.

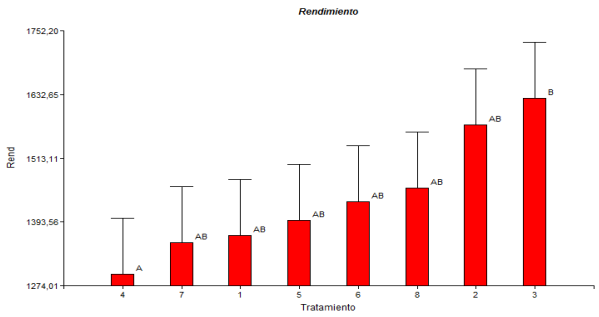

Figura 2. Gráfico de barras. Rendimiento (Kg/ha).

Tabla 5. Resumen de resultados de Rendimiento y sus componentes.

	Tratamiento	N° Pl/m^2	N° Esp/m^2	N° Granos/esp	P1000 (g)	Rdto (Kg/ha)
1	150 N + 0% Z	420,50 a b c	466,50 a b c	18,25 a b	24,80 a	1368,25 a b
2	150 N + 10% Z	416,00 a b c	430,75 a b	17,75 a b	26,03 a	1576,25 a b
3	150 N + 20% Z	411,75 a b c	491,00 a b c	21,25 b	24,72 a	1625,75 b
4	150 N + 30% Z	366,25 a	420,50 a	16,50 a b	26,45 a	1295,75 a
5	100 N + 0% Z	376,25 a b	462,00 a b c	14,50 a	25,77 a	1396,75 a b
6	100 N + 10% Z	447,25 a b c	528,00 b c	17,50 a b	25,08 a	1432,00 a b
7	100 N + 20% Z	457,25 b c	539,75 c	20,75 b	26,65 a	1355,50 a b
8	100 N + 30% Z	482,25 c	463,25 a b c	14,50 a	27,28 a	1457,50 a b

Nota: Para cada variable, medias con una letra en común no reflejan diferencias significativas (p>0,05).

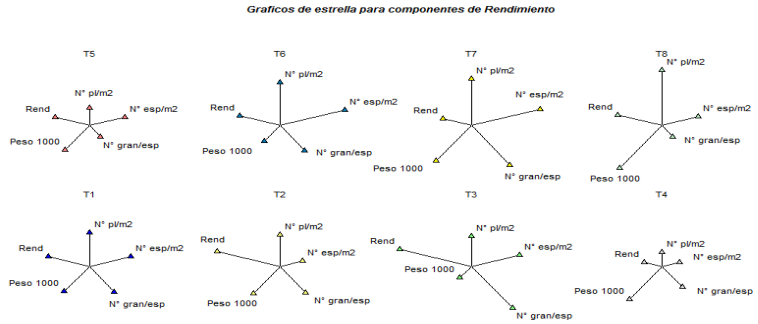

Figura 3. Gráfico de estrellas. Rendimiento y sus componentes.

En general los resultados indican una estrecha relación entre el rendimiento y las condiciones climáticas del año en cuestión. Las precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo, desde la siembra hasta la madurez fisiológica, fueron de 227,8 mm, por ende condujeron a bajos rendimientos y a una limitada a nula respuesta a la fertilización, cuando éste cereal demanda al menos unos 450 mm para alcanzar un óptimo rendimiento (INTA, 1981).

Existen trabajos realizados en Caracas (Venezuela), en los cuales se evaluó el efecto de la adición de zeolitas en un Andisol sobre el ambiente químico edáfico en el cultivo de avena (*Avena sativa*), donde se obtuvo que la aplicación de zeolita sódica (Z_{CU}) (45% clinoptilolita y 55% mordenita) produjo un efecto positivo sobre la producción de la biomasa aérea, de raíces y total, sin que hubiese diferencias estadísticas en el rendimiento a partir de la adición de 10% de Z_{CU} (Flores Macías *et al*., 2007). Se realizaron también experiencias en arroz blanco *(Oryza sativa)* en la localidad de

Babahoyo (Ecuador) con mezclas físicas de urea y zeolita, donde los mejores rendimientos se obtuvieron con una mezcla a razón del 25% de zeolita (Cárdenas Reinoso y Touma Faygton, 2011).

Asimismo, trabajos efectuados en La Habana (Cuba) en los cuales se evaluó la eficiencia de la zeolita como aditivo de la urea en los cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) y tomate (*Lycopersicom esculentum*), se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos estudiados, pudiéndose señalar que los mayores rendimientos se consiguieron cuando se aplicó a la urea convencional un 15% de zeolita, y los restantes tratamientos donde se aplicó mayor porcentaje de la misma tuvieron rendimientos significativamente inferiores. Éste comportamiento se debe a la gran eficiencia de la zeolita como agente modificador de los fertilizantes nitrogenados, lo que concuerda con lo expuesto por Muñiz *et al*., (1999).

6. CONCLUSIONES

El rendimiento del cultivo de trigo y sus componentes presentaron una tendencia a incrementarse cuando se utilizó una mezcla a partir del 20% de éste mineral. La zeolita, en mezcla física con urea granulada en el cultivo de trigo, actuaría como regulador de la disponibilidad del N en la solución del suelo.

Si bien las condiciones climáticas del año en estudio limitaron el desarrollo y el rendimiento del cultivo, se observó un mayor contenido de N-NO_3^- al momento de la cosecha en donde se utilizó la zeolita, lo que estaría indicando una mayor retención del anión debido a la acción del mineral. Aunque al no poder asimilar el N por el escaso recurso hídrico, éste disminuyó su lixiviación o lavado hacia capas más profundas, que podría deberse al material zeolítico.

De ésta manera puede comentarse que ante el agregado del mineral zeolita, mejoraría la eficiencia de uso del fertilizante, permitiendo bajar la dosis utilizada al permanecer en la zona radicular, tornándolo más disponible cuando el cultivo lo demande o quedando disponible para algún cultivo posterior.

7. CONSIDERACIONES FINALES

Por lo realizado a campo, al aplicar urea con zeolita se podría recomendar lo siguiente:

1. Utilizar esta técnica de fertilización (mezcla física) que produciría mejores resultados que por los métodos tradicionales, donde se incorpora urea granulada solamente.
2. Investigar la aplicación de la zeolita con otros fertilizantes para determinar su funcionabilidad con los mismos.
3. Incentivar a los productores de cereales y oleaginosas a la aplicación de otros fertilizantes en mezcla física con zeolita, con la finalidad de mejorar sus rendimientos de cosecha.
4. Promover la aplicación de este mineral, para disminuir la lixiviación del nitrógeno hacia capas profundas de agua, ya que dicho impacto perjudicará a las generaciones venideras.
5. Se deberían haber tomado muestras de todas las repeticiones de los tratamientos para residualidad de $N\text{-}NO_3^-$ en el perfil del suelo al momento de la cosecha, y así poder realizar los análisis estadísticos correspondientes determinando si existen diferencias significativas entre los tratamientos.
6. Se sugiere repetir en otras campañas y lugares este ensayo, así de esta manera poder obtener resultados más relevantes con respecto al uso de la zeolita.

8. BIBLIOGRAFÍA

Abbate, P.E.; Andrade, F. H. y Culot, J. P. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. EEA. INTA Balcarce. Boletín Técnico Nº 133. 17 p.

Acevedo, E.; Silva, H. y Silva, P. 1998. Tendencias actuales de la investigación en la resistencia al estrés hídrico de plantas cultivadas, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Boletín Técnico N° 49: 1-28.

Adiscott, T.M. 1995. Modelling the fate of crop nutrients in the environment: problems ofscale and complexity. Eur. J. Agron. 4:4, 413-417.

Allen, E.; Hossner, L.; Ming, D. and Henninger, D. 1996. Release rates of phosphorus, ammonium, and potassium in clinoptilolite-phospate rock systems. *Soil Sci. Soc. Am. J. 60*: 1467-1472.

Ando, H.; Mihara, C.; Kakuda, K. and Wada, G. 1996. The fate of ammonium nitrogen applied to flooded rice as affected by zeolite addition. *Soil Sci. Plant Nutr. 42*: 531-538.

Andriulo, A.; R. de Galetto, M.; Sasal, C.; Abrego, F.; Bueno, F.; Rimatori, F.; de la Cruz, M.; Venencio, M.; Giacosa. 2000. Nitratos en el agua subterránea del partido de Pergamino. Efecto a largo plazo de la agricultura contínua y a corto plazo de la producción intensiva de granos. Workshop Internacional sobre contaminación de aguas por agroquímicos, Mar del Plata.

Barbarick, K.; Lai, T. and Eberl, D. 1990. Exchange fertilizer (phosphate rock plus ammonium-zeolite) effects on sorghum-sudangrass. *Soil Sci. Soc. Am. J. 54*: 911-916.

Barbarick, K. A. y Pírela, H. J. 1984. Agronomic and horticultural uses of zeolite. Ed. Wilson G. Pends and Mumpton. USA. 103 p.

Breck, D.W. 1974. Zeolite Molecular Sieves, Wiley, New York. (Chapter 7).

Campbell, C.; Zentner, R.; Selles, F.; Mc Conkey, B. and Dyck, F. 1993. Nitrogen management for spring wheat grown annually on zero-tillage: yields and nitrogen use efficiency. Ageon. J. 85:107-114.

Cárdenas, D. A. y Touma, M. A., 2011. Estudio comparativo de dos métodos de fertilización del cultivo de Arroz: usando briquetas de urea con

diferentes concentraciones de zeolita y el sistema tradicional en la zona Febres Cordero - Provincia de Los Ríos. Babahoyo, Ecuador. 143 p.

Castellanos, J. Z. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos, aguas agrícolas, plantas y ECP 2000. 4 - 6, 8 - 17 pp.

Challinor, P.; Fuller, M. and Parkinson, J. 1997. Growth and development of sweet pepper plants on unloaded and nutrient-loaded clinoptilolite zeolite. En *9th Int. Cong. Soilless Culture*. International Society for Soilless Culture (ISOSC). Wageningen, Holanda. pp 249-256.

CREA, 1986. Producción de Trigo. Cuaderno de Actualización Técnica N° 32. Segunda Edición. Julio, 1986. 132 p.

Darwich, N. 1998. Manual de fertilidad de suelos y uso de fertilizantes. Ed.Talleres Gráfica Armedenho. 182 pp

Díaz, R.A.; Matthias, A.D. y Hanks, R.J. 1983. "Evapotranspiration and yield estimation of spring wheat from canopy temperature". Agronomy Journal, 75:805-810.

Doran, J. W. and Smith, M. S., 1987. Organic matter management and utilization of soil and fertilizer nutrients. p. 53-72. *In:* R. F. Follet *et al.* (eds.) Soil fertility and organic matter as critical components of production systems. SSSA Special Publication N° 19. Soil Science Society of America, Inc.; American Society of Agronomy, Inc.; Madison, Wisconsin, E.E.U.U.

Echeverría, H. y García, F. 2005. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Editores. Ediciones INTA. Capítulo 4:69-97.

Flores Macías, A.; Galvis Spinola, A.; Hernández Mendoza, T.; De León González, F. y Payán Zelaya, F. 2007. ISSN 0378-1844, Vol. 32, Nº 10, pp. 692-696.

Fontanetto, H.; Quiano, O.; Keller, O.; Belotti, L.; Negro, C. y Giailevra, D. 2006. Efecto del Zinc en Trigo en el área central de Santa Fe. Campaña 2005/06. INTA EEA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 105: 57-62.

Fraschina, J.; Bainotti, C. y Salines, J. 2003. El cultivo de trigo y la siembra directa en la región Central Norte. Actualización 2003.

Frederick, J. R. and Camberato, J. J. 1995. Water and nitrogen effects on winter wheat in the southeastern coastal plain: I. Grain yield and kernel traits. Agron. J. 87, 521-526.

Gallagher, J. N. and Biscoe, P. V. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. J. Agri. Sci., Camb. 91: 47-60.

García, F. y Echeverría, H. E. 2008. Cereales. Fertilización del Trigo. Fertilización de Cultivos y Pasturas. Editores. Melgar, R. y Díaz Zorita, M. pp: 189-199.

Gianetto, P. A. y Rodríguez, G. 1990. Zeolitas: características, propiedades y aplicaciones industriales. La Habana.

Hochman, Z.V.I. 1982. Effect of water stress with phasic development on yield of wheat grown in a semi-arid environment. Field Crop Research 5:55-67.

Huang, Z. and Petrovic, A. 1994. Clinoptilolite zeolite influence on nitrate leaching and nitrogen use efficiency in simulated sand bases golf green. *J. Env. Qual. 23*: 1190-1194.

Infostat. Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL http://www.infostat.com.ar

INTA. 1981. El cultivo de Trigo. Colección principales cultivos de la Argentina. Ediciones INTA. 185p.

INTA. 1991. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3160-26 y 25. Esperanza-Pilar. INTA EEA Rafaela. 135 p.

Israelsen, O.W. y Hansen, V.E. 1985. “Principios y aplicaciones del riego”. Editorial Reverté, 395 p.

Jara, J. y Valenzuela, A. 1998. “Necesidades de agua de los cultivos”. Desarrollo de sistemas de riego en el secano interior y costero. Componente nacional: Capacitación y difusión de tecnologías de riego. Comisión Nacional de Riego y Universidad de Concepción, 26 p.

John, C.; Del Vallin, G.; Marrero, V.; Muñiz, O.; Beltrán, R.; Sotlongo, J.; Gil, R.; Delgado, N. y Chong, D. 1998. Generalización del empleo de la zeolita, como aditivo de la urea en cultivos de importancia económica. Producción de cultivos en condiciones tropicales. I S D N 959- 7111- 04- 7, p. 193-195.

MacKown, C. and Tucker, T. 1985. Ammonium nitrogen movement in coarse-textured soil amended with zeolite. *Soil Sci*. *Soc*. *Am*. *J. 49*: 235-238.

Martín de Santaolalla, F. y De Juan, J.A. 1993. Agronomía del riego. Ediciones Mundi-Prensa, 731 p.

Ming, D.W. and Mumpton, F.A. 1989. "Zeolite in Soil". B.Weed (Eds) Soil Sci. Soc. Americ. , Pp: 873-911.

Ming, D. and Allen E. 2001. Use of natural zeolites in agronomy, horticulture, and environmental soil remediation. En Bish D, Ming D (Eds.) *Natural zeolites:* Ocurrence, properties, applications. Rev. Mineral. Geochem*. 45*: 619-654.

Miralles, D.J. and Slafer, G. A. 1999: Wheat development. Wheat. Ecology and physiology of yield determination (E.H. Satorre and G.A. Slafer eds.). Food Product Press Ed.

Mumpton, F. 1984. The role of natural zeolite in agriculture Ed. Wilson G. Pends and Mumpton. USA. 103 p.

Mumpton, F.A. 1983. Natural zeolites. En Pond WG, Mumpton FA (Eds.) Zeo-Agriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture. Westview. Colorado, EEUU. pp 33-43.

Muñiz, O.; Dueñas, G.; Nuviola, A.; Biart, M.; Beltran, R.; John, C.; Sanchez, T. y Alvarez, F. 1999. Use of isotope techniques in order to evaluate the efficiency of chemical fertilizers in rice. II international symposium on nuclear agriculture, industry, and environment. pag-83.

Navarro, G. 2000. Química Agrícola. Editorial Mundi prensa. Edición, pp.100-114.

Nus, J. and Brauen, E. 1991. Clinoptilolitic zeolite an amendment for establishment of creeping bentgrass on sandy media. *HortScience 26*: 117-119.

Panigatti, J.; Hein, N. y Mosconi, F. 1982. Mapa detallado de suelos de la Estación Experimental Regional Agropecuaria RAFAELA. Publicación Miscelánea Nº 13.

Panigatti, J. L. 1980. Consideraciones sobre el clima del centro-oeste de la provincia de Santa Fe. INTA EERA Rafaela. Boletín Interno de Divulgación N° 15. 26p.

Panozzo, J. and Eagles, H. 1999. Astr. J. agric. Res. 50: 1007-1015.

Porta J., M. López y C. Acevedo 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente, 2ª.Editorial 1999. Edición. pp. 145-214 y 139-142.

Power, J. F. and Legg, J.O. 1978. Effect of crop residues on the soil chemical environment and nutrient availability. p. 85-100. *In:* W. R. Oschwald (ed.) Crop residue management systems. ASA Special Publication N° 31. American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; Soil Science Society of America; Madison, Wisconsin, E.E.U.U.

Power, J. F. 1994. Understanding the nutrient cycling process. J. Soil Water Cons., 49 (suplemento del N° 2): 16-23.

Richards, R.A.; Condon, A.G. and Rebettzke, G. J. 2001. Traits to improve yield in dry environments. In: Application of physiology in wheat breeding. Reynolds M.P., Ortiz-Monasterio, J.I. and McNab, A. (eds.) Mexico, D.F.: CIMMYT Chap. VII p: 88-100

Rimski-Korsakov, H.; Torres Duggan, M. y Lavado, R. 2000. Influencia de la fertilización y el riego en la lixiviación de nitratos en un suelo franco arenoso. CD del XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, 11 al 14 de abril.

Rodríguez, M. 2008. Fertilidad del suelo y nutrición de las plantas. En Fertilización de Cultivos y Pasturas. Parte general 2. Editores. Melgar, R. y Díaz Zorita, M. pp: 37-49.

Slafer, G. A. and Rawson, F. H. 1994. Sensitivity of wheat phasic development major environmental factors: A reexamination of some assumptions made by physiologist and modelers. Aust. J. Plant Physiol. 21:393-426

Soca, M.; Ruiz, R.; Beltrán, R.; John, C.; Febles, J.; Arias, E.; Reyna, A. y Moreno, E. 1991. Utilización de zeolitas naturales en diferentes suelos y cultivos con el fin de incrementar la eficiencia de la fertilización mineral. En Memorias de la 3ra. Conferencia Internacional sobre Ocurrencia, Propiedades y usos de las zeolitas naturales. La Habana Cuba. Pp 55-61.

Soca, M.; Castellanos, J. y Febles, J. 2004. Efecto de la Zeolita en la eficiencia de los fertilizantes químicos, en fertilizantes y enmiendas de origen mineral. Panorama minero, Buenos Aires pp 261-268.

Soroa, M.; Cortés, S.; y De la Noval, B. 2006. Zeolitas. INCA, San José, La Habana, Cuba. Disponible en http://es.scribd.com/doc/15556432/ Restauración EcosistemasDelaVegaL. Consultado el 27/06/2007.

Tisdale, S. L.; Nelson, W. L. and Beaton, J. D. 1985. Soil fertility- past and present, *In: Soil fertility and fertilizers,* 4th ed. Macmillan, New York. pp. 5-18.

Tisdale, S. L.; Nelson, W. L.; Beaton J. D. and Havlin, J. L. 1993. Soil fertility and fertilizer. Fifth Edition. Macmillan Publishing Co., New York, New York, E.E.U.U.

Triana, C. J. y Triana, E. 1992. La zeolita, cien formas de utilización y aplicación. Ciudad de la Habana: Editorial Ciencia y Técnica. 95 p.

Westerman, R. L. and Tucher, T. C. 1987. Soil fertility concept: pas, present and future. *In:* Future developments in soil science research. Soil Sci. Soc. Am., Madison, Winsconsin. pp 171-179.

Wollenweber, B.; Porter, J. R. and Schellberg, J. 2003. Lack of Interaction between extreme high-temperature events at vegetative and reproductive growth stages in wheat. Journal of Agronomy and Crop Science 189 (3):142-150.

9. ANEXO

Figura 1. Vista lateral de la sembradora experimental Forti.

Figura 2. Preparando los tratamientos. Sembradora experimental Forti.

Figura 3. Vista del distribuidor a cono de la sembradora experimental Forti.

Norte

Bloques completos al azar y sus 8 tratamientos							
7	3	6	1	4	5	2	8
Espaciamiento entre bloques de 3 m							
1	7	8	6	2	5	3	4
3 m							
6	8	2	3	5	7	1	4
3 m							
8	7	5	1	4	2	6	3

Figura 4. Plano del ensayo

Largo de parcela: 10 m. Ancho de parcela: 1,4 m.

Las referencias corresponden a los respectivos tratamientos:

1-150 kg/ha de N, sin zeolita, como testigo.

2-150 kg/ha de N + 10% de zeolita (mezcla física)

3-150 kg/ha de N + 20% de zeolita (mezcla física)

4-150 kg/ha de N + 30% de zeolita (mezcla física)

5-100 kg/ha de N, sin zeolita, como testigo.

6-100 kg/ha de N + 10% de zeolita (mezcla física)

7-100 kg/ha de N + 20% de zeolita (mezcla física)

8-100 kg/ha de N + 30% de zeolita (mezcla física)

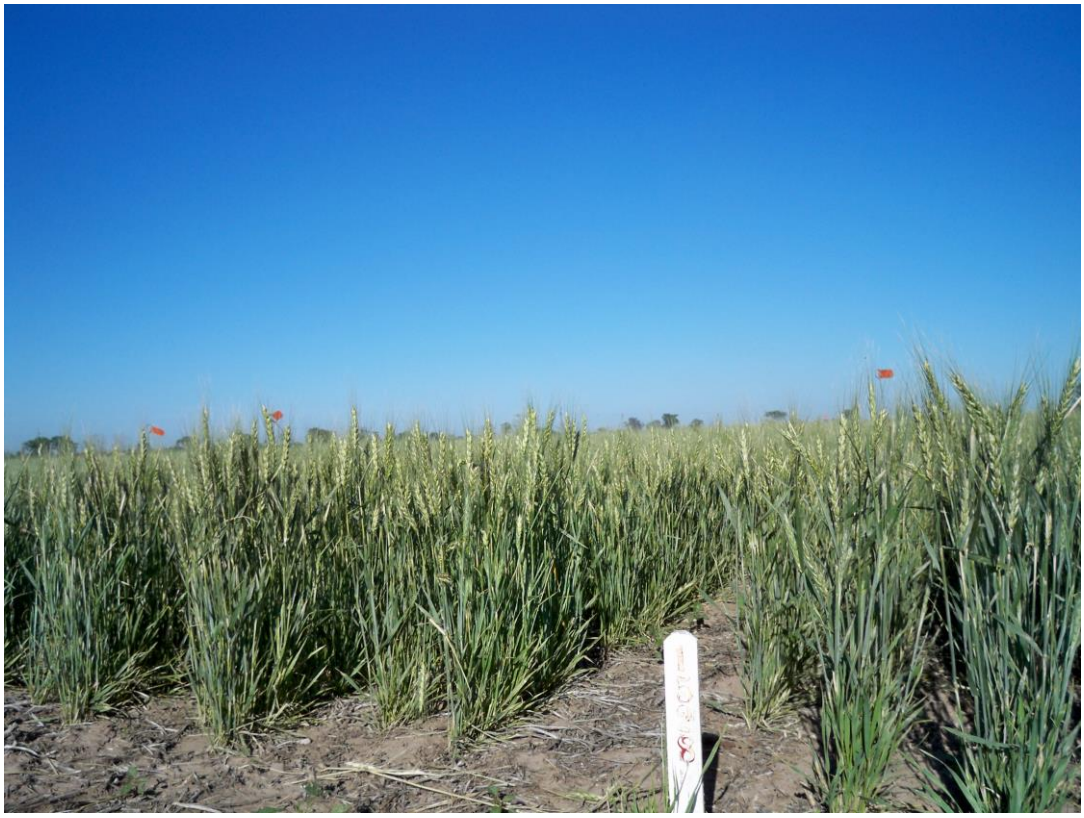

Figura 5. Marcas de metro lineal en cada repetición.

Figura 6. Marcas de metro lineal.

Figura 7. Marca de metro lineal en pre-cosecha.

Figura 8. Vista lateral derecha de la cosechadora experimental Wintersteiger.

Figura 9. Vista lateral izquierda de la cosechadora experimental Wintersteiger

Figura 10. Vista frontal de la cosechadora experimental Wintersteiger.

Figura 11. Cosechadora experimental Wintersteiger operando.

Tabla 1. Precipitaciones (mm) diarias registradas en la EEA. Rafaela. Año 2008.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1		0,0			5,2					5,7		0,0
2	22,5										0,0	
3										1,5		
4						0,0	0,2			3,3		
5												
6												
7	0,3	10,0					5,6					
8		35,9	13,2								0,8	
9			16,5			0,0						4,5
10			1,5								3,5	0,0
11	10,8											
12										58,5		
13										14,5		
14										0,2		
15	0,2									0,7	2,0	
16	15,7							No				
17								se				
18	64,7	73,5						regis-				
19		1,0				0,0		tró	9,5			
20			4,0					lluvias	0,3			
21		0,6					0,0					7,1
22		0,9	41,5			0,5	0,0					0,0
23		1,7					0,6					1,9
24		2,3									0,9	
25	6,5			8,0						22,5	0,2	
26	17,5		7,0	29,5						2,0	28,3	
27	2,7	53,0	46,9									
28	0,0	0,0		0,0	0,5				4,2		37,0	2,8
29	2,7		0,3						14,4	15,6	1,6	
30	0,0		4,2									
31			0,6									0,0

Tabla 2. Temperaturas máximas (C°) diarias registradas en la EEA. Rafaela. Año 2008. De 0 a 24 horas a 1,5 m de altura, en abrigo meteorológico.

Día	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
1	36,8	27,5	28,0	26,6	16,6	15,1	19,8	20,6	34,3	22,9	27,1	20,8
2	31,6	31,6	26,8	23,3	20,0	14,2	17,3	15,0	25,3	26,9	26,8	23,7
3	35,9	28,1	25,4	23,5	19,9	19,4	16,0	16,0	19,1	23,7	29,9	24,8
4	32,0	29,8	26,9	26,2	19,7	17,0	19,7	25,7	15,0	21,6	32,1	27,0
5	34,2	32,3	27,9	28,0	22,9	20,5	31,3	18,6	13,4	22,7	32,0	30,4
6	36,0	33,8	29,7	28,2	25,3	21,5	24,9	24,7	16,6	28,4	32,9	31,6
7	38,6	27,6	29,2	30,1	24,8	21,8	15,5	24,0	19,9	25,3	33,1	34,6
8	39,5	24,0	23,3	26,8	19,9	21,0	20,5	16,4	22,9	23,1	33,8	39,2
9	38,7	26,5	26,3	24,7	19,8	14,9	15,3	24,0	24,6	26,5	34,6	27,1
10	30,5	25,3	21,4	28,5	19,7	17,2	18,5	28,0	26,2	31,0	24,5	30,0
11	27,6	24,7	24,3	29,0	21,3	21,0	29,2	26,9	23,8	33,3	31,6	32,2
12	30,8	26,5	25,9	20,7	22,8	22,1	29,3	16,4	17,6	23,6	31,9	32,0
13	32,3	28,7	25,9	17,4	24,4	21,5	24,3	19,0	22,1	21,4	31,8	32,2
14	37,4	31,8	26,7	17,5	26,3	18,9	29,9	21,1	24,0	21,1	33,7	34,2
15	37,0	32,5	28,2	19,9	27,5	14,4	32,4	24,1	23,8	19,5	23,2	35,6
16	28,5	32,4	29,8	24,7	28,0	18,6	31,5	23,5	23,2	23,0	23,7	35,8
17	30,2	34,9	31,2	28,0	29,0	20,6	27,7	15,7	24,8	24,4	28,2	36,7
18	24,5	25,8	30,7	28,8	29,3	17,7	18,5	18,1	26,9	25,1	31,5	37,5
19	28,9	32,2	34,0	28,9	31,9	13,6	21,4	19,6	15,2	26,5	31,5	34,4
20	28,6	32,4	31,5	28,7	31,4	10,9	18,6	20,6	21,4	31,8	32,2	38,8
21	29,5	28,1	34,9	31,1	31,5	10,2	14,5	19,5	21,6	34,6	31,5	30,7
22	28,0	26,0	22,9	30,5	31,7	11,0	14,6	20,5	24,8	24,9	33,6	30,9
23	30,6	31,3	24,5	30,9	31,3	13,0	11,6	20,0	26,2	28,1	37,7	24,6
24	31,8	27,8	29,4	32,3	17,6	15,3	18,8	22,4	26,7	29,3	34,4	32,9
25	31,2	30,0	31,2	33,7	18,0	15,7	19,1	28,8	28,0	22,1	36,9	36,6
26	24,1	30,4	29,8	23,8	18,4	17,5	18,6	35,8	30,5	25,8	32,4	36,0
27	27,0	27,0	24,6	26,7	19,2	20,3	20,9	26,8	32,2	27,6	39,1	36,7
28	28,3	27,5	24,1	22,1	15,6	20,0	17,1	20,8	24,0	28,8	29,1	31,1
29	30,3	27,6	26,9	19,3	10,3	16,5	18,0	22,7	18,6	26,2	27,3	31,7
30	26,1		27,8	17,6	13,6	22,0	19,5	25,3	25,2	24,9	25,9	34,0
31	28,0		26,0		14,4		21,5	28,9		26,6		33,5

Total	975	844	855	778	702	523	656	690	698	801	934	997
Promedio	31,4	29,1	27,6	25,9	22,6	17,4	21,2	22,2	23,3	25,8	31,1	32,2

Promedio anual	25,8

Serie Histórica 1944-2007

31,7	30,5	28,1	24,4	21,3	17,8	17,7	20,0	22,3	25,0	28,0	30,1

Promedio anual	24,7

Tabla 3. Temperaturas mínimas (C°) diarias registradas en la EEA. Rafaela. Año 2008. De 0 a 24 horas a 1,5 m de altura, en abrigo meteorológico.

Día	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
1	21,8	17,2	18,6	14,3	9,8	0,6	9,2	5,5	11,4	13,3	14,7	15,0
2	20,0	18,0	17,7	10,9	7,4	2,2	11,8	4,0	15,8	6,2	16,2	11,8
3	23,2	19,2	16,0	9,4	7,2	5,8	10,8	-0,2	8,6	14,2	13,2	8,3
4	21,7	14,5	13,0	8,7	8,8	10,1	13,9	5,6	5,4	7,4	18,6	12,6
5	19,2	18,5	12,5	13,8	6,9	7,8	16,1	-1,0	5,0	4,9	17,3	12,5
6	22,3	20,3	13,3	14,0	11,0	6,0	13,0	4,8	4,1	10,4	14,3	15,5
7	21,6	18,4	19,0	13,1	10,5	7,6	10,3	9,5	-0,5	12,5	16,1	18,8
8	22,1	19,3	19,4	12,1	7,2	8,4	1,6	-0,8	6,4	7,7	18,0	20,1
9	24,6	16,9	18,4	14,3	7,7	2,0	7,3	3,5	6,8	5,8	16,1	20,9
10	20,7	15,1	17,1	16,5	7,8	-1,7	10,3	10,1	8,5	14,6	19,0	18,9
11	13,7	11,2	13,0	16,1	5,8	3,6	16,6	12,0	11,6	11,7	19,0	18,2
12	13,3	9,5	12,3	11,6	7,0	1,0	14,5	3,0	4,7	15,9	16,8	18,4
13	16,4	12,3	12,8	6,4	11,0	3,7	12,4	-2,5	-0,9	17,1	16,2	18,8
14	20,3	16,7	12,6	-1,0	11,0	2,2	12,1	4,7	3,6	16,6	17,0	16,1
15	25,0	20,0	15,8	1,3	12,1	-1,2	18,6	5,8	4,7	15,7	8,5	17,0
16	21,3	17,5	16,2	3,8	14,3	-2,0	15,6	11,0	5,0	12,8	3,8	19,5
17	16,8	19,4	17,4	6,6	15,9	3,6	14,6	2,2	6,6	12,8	8,3	19,5
18	18,3	21,1	19,0	12,7	18,2	2,7	9,4	-2,2	6,4	8,8	10,8	19,4
19	16,4	21,8	20,9	12,3	19,2	8,8	9,4	7,1	12,0	13,0	16,5	20,6
20	15,4	22,7	19,5	14,2	19,5	5,2	11,0	7,2	5,8	13,8	15,2	20,6
21	16,1	21,7	19,3	16,4	20,1	1,6	10,1	2,8	1,0	17,7	11,3	19,2
22	15,9	20,6	16,0	14,2	18,9	2,1	8,4	1,6	3,8	11,0	16,5	17,1
23	15,5	19,4	12,5	12,3	14,5	1,3	4,9	4,5	10,0	10,8	19,5	19,1
24	18,8	20,2	16,1	18,1	6,0	1,7	1,9	4,2	10,9	15,7	20,7	16,4
25	20,9	18,0	21,1	16,6	2,0	1,4	1,0	7,6	9,8	18,1	20,1	17,6
26	20,9	20,5	20,2	16,5	9,6	5,0	5,2	13,0	11,4	17,0	23,2	20,2
27	19,1	20,0	19,0	17,1	13,1	0,4	6,0	10,0	15,0	14,9	20,7	21,0
28	19,5	20,3	18,0	10,8	3,8	2,4	6,7	6,1	17,1	15,5	18,5	20,0
29	18,1	18,5	16,6	4,9	-3,7	3,5	9,7	1,0	15,8	14,7	19,6	18,7
30	19,7		17,7	2,1	-5,3	6,0	7,9	7,8	15,9	11,5	20,0	15,2
31	18,0		14,7		-1,3		1,0	8,2		10,2		18,0
Total	597	529	516	340	296	102	301	156	242	392	486	545
Promedio	19,2	18,2	16,6	11,3	9,5	3,4	9,7	5,0	8,1	12,7	16,2	17,6

Promedio anual 12,3

Serie Histórica 1944-2007

18,1	17,3	16,0	12,4	9,5	6,8	5,7	6,6	8,5	11,8	14,4	16,7

Promedio anual 12,0

Tabla 4. Temperaturas medias (C°) diarias registradas en la EEA. Rafaela. Año 2008. Promedio de 3 (tres) observaciones diarias (8, 14 y 20 horas).

Día	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D
1	32,0	24,5	24,1	21,0	12,5	7,7	15,2	14,5	26,0	17,2	23,3	18,5
2	28,5	26,6	22,3	18,8	14,6	10,2	14,3	11,0	21,7	20,4	22,2	19,6
3	31,2	24,0	20,4	18,7	14,9	13,8	13,9	9,7	14,1	18,9	25,0	20,4
4	27,5	25,0	21,2	19,9	14,6	14,4	16,4	16,0	10,6	15,4	27,8	21,9
5	28,3	27,1	21,7	21,9	16,5	15,4	23,5	10,8	9,8	18,3	23,3	24,6
6	32,3	28,3	23,7	21,3	18,7	15,4	19,2	16,9	10,7	21,6	27,3	25,7
7	32,4	24,3	24,3	21,1	18,8	15,7	13,0	15,7	12,2	19,2	28,7	28,9
8	33,2	21,0	21,0	20,0	13,8	14,7	12,6	9,9	15,6	16,4	26,4	32,5
9	32,8	21,1	22,9	20,1	14,8	9,2	11,7	15,9	16,5	20,5	28,8	23,6
10	25,1	20,3	19,6	22,6	14,3	9,8	15,9	20,3	19,1	24,9	22,1	25,8
11	22,0	20,1	19,3	21,1	14,7	12,3	22,4	20,3	16,6	25,6	26,1	26,5
12	24,7	21,7	20,9	15,7	16,4	13,2	21,4	10,4	12,2	18,7	26,7	26,2
13	27,0	24,3	21,2	12,8	17,7	13,2	18,2	11,3	14,3	19,8	26,5	27,2
14	30,8	26,3	21,5	8,4	19,4	12,1	21,9	14,2	16,7	19,2	27,9	28,7
15	32,3	27,1	22,8	13,8	19,5	8,3	25,2	16,8	15,6	17,5	14,7	26,9
16	24,3	27,4	24,1	17,2	21,6	10,7	23,6	18,0	16,0	18,9	18,3	29,7
17	26,2	29,0	24,3	19,4	22,7	13,3	19,8	10,0	18,0	18,6	22,8	30,7
18	20,7	22,6	25,2	20,4	22,9	10,6	13,8	11,6	19,0	19,9	26,6	30,9
19	23,7	27,3	27,4	20,6	25,3	10,7	15,5	14,8	13,4	21,6	26,4	29,5
20	24,2	27,5	26,0	23,0	24,8	8,3	15,2	16,0	13,4	25,6	26,6	34,5
21	24,3	25,4	27,9	23,2	25,7	7,4	13,1	12,5	15,1	26,3	25,7	22,3
22	23,5	23,0	18,7	22,7	25,6	7,5	11,5	12,9	18,5	19,2	28,1	25,9
23	25,8	25,9	19,5	24,4	24,1	8,0	10,3	13,1	19,8	22,6	30,7	22,2
24	27,3	22,2	24,2	25,4	11,1	8,6	10,5	15,5	19,1	24,8	28,1	27,3
25	27,2	25,2	25,9	26,8	12,6	11,2	11,5	19,6	20,8	19,6	32,0	30,8
26	21,4	25,8	25,8	19,6	14,9	11,2	12,5	26,7	23,5	20,1	26,4	30,0
27	23,3	23,3	21,9	22,2	16,5	12,3	13,8	19,7	26,0	23,3	32,6	29,9
28	24,6	23,5	20,6	17,6	7,4	11,6	12,4	13,3	20,2	23,9	20,6	23,9
29	25,8	23,1	21,6	12,5	4,2	10,6	14,0	14,0	17,3	20,6	23,3	25,5
30	22,4		22,8	13,3	5,7	15,2	14,0	17,9	19,7	20,2	21,8	27,4
31	23,5		20,7		8,0		13,2	19,8		22,0		25,3
Total	828	713	704	586	514	343	490	469	512	641	767	823
Promedio	26,7	24,6	22,7	19,5	16,6	11,4	15,8	15,1	17,1	20,7	25,6	26,5

Promedio Anual 20,2

Serie Histórica 1944-2007

26,2	25,0	22,8	18,9	15,8	12,7	12,1	13,6	16,3	19,6	22,5	25,0

Promedio anual 19,2

Tabla 5. Heladas registradas en la EEA. Rafaela. Año 2008.

DIA	METEOROLOGICA		AGRONOMICA					
	Temperatura mínima (ºC)							
	Abrigo	Duración	A la intemperie					
			1.50m	1.00m	0.50m	0.20m	0,05m	Sup.
Abril								
14	-1,0	**2,25 h**	-1,7	-2,4	-3,1	-4,6	-5,8	-5,4
15				-0,7	-2,6	-3,0	-4,5	-4,1
30				-1,0	-2,0	-2,6	-3,6	-4,0
Mayo								
25				0,0	-0,1	-0,5	-1,0	-1,8
29	-3,7	**7,50 h**	-4,3	-4,9	-5,5	-6,6	-7,5	-8,5
30	-5,3	**9,00 h**	-5,9	-6,1	-7,2	-8,4	-8,9	-9,6
31	-1,3	**1,30 h**	-3,3	-4,9	-5,5	-6,5	-6,9	-7,8
Junio								
1			-1,0	-2,4	-3,0	-4,0	-4,8	-5,8
10			-2,1	-3,3	-4,0	-5,5	-6,5	-7,4
11				0,0	-0,5	-0,8	-1,3	-1,4
12			-0,3	-1,0	-2,0	-3,1	-4,5	-4,5
13			-0,4	-1,1	-1,5	-1,9	-2,7	-2,3
15	-1,2	**2,10**	-3,4	-4,0	-4,6	-5,4	-5,8	-5,6
16	-2,0	**3,20**	-5,0	-6,0	-7,2	-7,6	-8,5	-8,5
18				-0,8	-1,4	-2,0	-2,4	-3,0
21				-1,0	-1,9	-3,0	-4,1	-3,9
23			-1,4	-2,0	-2,6	-3,2	-4,0	-3,6
24			-1,0	-1,1	1,8	-2,2	-2,9	-3,3
25				-0,5	-1,0	-1,6	-2,1	-2,8
27			-0,8	-1,3	-1,5	-1,8	-2,2	-2,5
Julio								
8				-0,1	-0,6	-1,1	-1,8	-1,9
24			0,0	-0,5	-0,9	-1,4	-1,9	-2,2
25			-1,0	-2,7	-4,1	-4,9	-6,2	-5,9
31				-0,1	-0,5	-0,9	-2,0	-1,7
Agosto								
3	-0,2	**0,15**	-1,5	-2,1	-3,2	-4,3	-5,6	-6,2
5	-1,0	**1,00**	-1,0	-2,3	-3,8	-4,3	-5,8	-6,5
8	-0,8	**0,40**	-2,1	-3,0	-4,0	-4,6	-5,9	-6,6
12			0,0	-0,9	-1,5	-2,0	-3,0	-3,8
13	-2,5	**3,05**	-2,6	-3,9	-4,7	-5,3	-6,9	-7,5
18	-2,2	**3,50**	-3,0	-3,3	-4,6	-6,0	-7,6	-7,8
22			-0,3	-0,9	-1,1	-1,7	-2,2	-2,5
29			-1,0	-2,5	-3,1	-3,5	-4,2	-4,5
Septiembre								
7	-0,5		-2,9	-3,6	-4,5	-5,4	-6,3	-6,0
13	-0,9	**1,00**	-2,4	-3,2	-4,3	-5,2	-6,7	-7,9
14				-0,3	-1,0	-1,9	-2,9	-3,6
15				0,0	-0,4	-0,9	-1,8	-2,3
21			-1,7	-2,1	-3,0	-3,7	-4,4	-4,2
22				-0,5	-1,0	-1,5	-1,9	-1,9
Octubre								
5				-0,2	-0,5	-1,0	-1,8	-2,0

Tabla 6. Análisis de la varianza - Plantas/m^2.

Análisis de la varianza

N° pl/m2

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
N° pl/m2	32	0,50	0,26	13,47

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	67216,75	10	6721,68	2,08	0,0761
Bloque	23799,38	3	7933,13	2,45	0,0917
Tratamiento	43417,38	7	6202,48	1,92	0,1175
Error	67958,13	21	3236,10		
Total	135174,88	31			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=59,15122

Error: 3236,1012 gl: 21

Bloque	Medias	n	E.E.			
1	387,38	8	20,11	A		
2	408,88	8	20,11	A	B	
4	431,63	8	20,11	A	B	
3	460,88	8	20,11		B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=83,65246

Error: 3236,1012 gl: 21

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
4	366,25	4	28,44	A		
5	376,25	4	28,44	A	B	
3	411,75	4	28,44	A	B	C
2	416,00	4	28,44	A	B	C
1	420,50	4	28,44	A	B	C
6	447,25	4	28,44	A	B	C
7	457,25	4	28,44		B	C
8	482,25	4	28,44			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Tabla 7. Análisis de la varianza – N° Espigas/m^2.

Análisis de la varianza

N° esp/m2

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
N° esp/m2	32	0,60	0,40	14,62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	149535,31	10	14953,53	3,10	0,0139
Bloque	99276,09	3	33092,03	6,86	0,0021
Tratamiento	50259,22	7	7179,89	1,49	0,2251
Error	101300,16	21	4823,82		
Total	250835,47	31			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=72,21844

Error: 4823,8170 gl: 21

Bloque	Medias	n	E.E.			
4	404,63	8	24,56	A		
1	440,50	8	24,56	A	B	
2	509,50	8	24,56		B	C
3	546,25	8	24,56			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=102,13230

Error: 4823,8170 gl: 21

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
4	420,50	4	34,73	A		
2	430,75	4	34,73	A	B	
5	462,00	4	34,73	A	B	C
8	463,25	4	34,73	A	B	C
1	466,50	4	34,73	A	B	C
3	491,00	4	34,73	A	B	C
6	528,00	4	34,73		B	C
7	539,75	4	34,73			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Tabla 8. Análisis de la varianza – N° Granos/espiga.

Análisis de la varianza

N° gran/esp

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
N° gran/esp	32	0,47	0,22	23,42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	315,75	10	31,58	1,85	0,1123
Bloque	139,25	3	46,42	2,72	0,0700
Tratamiento	176,50	7	25,21	1,48	0,2279
Error	357,75	21	17,04		
Total	673,50	31			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=4,29173

Error: 17,0357 gl: 21

Bloque	Medias	n	E.E.		
4	15,50	8	1,46	A	
3	15,63	8	1,46	A	
1	19,25	8	1,46	A	B
2	20,13	8	1,46		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=6,06943

Error: 17,0357 gl: 21

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
5	14,50	4	2,06	A		
8	14,50	4	2,06	A		
4	16,50	4	2,06	A	B	
6	17,50	4	2,06	A	B	
2	17,75	4	2,06	A	B	
1	18,25	4	2,06	A	B	
7	20,75	4	2,06		B	
3	21,25	4	2,06		B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Tabla 9. Análisis de la varianza (contrastes) – Rendimiento.

Rendimiento

C:\Users\Pc\Desktop\rendimiento de trigo11.IDB2: 13/12/2013 - 8:00:24

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Rendimiento	32	0,20	0,00	16,79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	353542,22	7	50506,03	0,87	0,5464
Nitrogeno	25144,03	1	25144,03	0,43	0,5176
Zeolita	111905,34	3	37301,78	0,64	0,5968
Nitrogeno*Zeolita	216492,84	3	72164,28	1,24	0,3178
Error	1399165,75	24	58298,57		
Total	1752707,97	31			

Contrastes

Nitrogeno*Zeolita	Contraste	SC	gl	CM	F	p-valor
100 vs 100+z	-54,75	999,19	1	999,19	0,02	0,8969
150 vs 150+z	-393,00	51483,00	1	51483,00	0,88	0,3567
Total		52482,19	2	26241,09	0,45	0,6428

Coeficientes de los contrastes

Nitrogeno*Zeolita	Ct.1	Ct.2
100:0z	3,00	0,00
100:10z	-1,00	0,00
100:20z	-1,00	0,00
100:30z	-1,00	0,00
150:0z	0,00	3,00
150:10z	0,00	-1,00
150:20z	0,00	-1,00
150:30z	0,00	-1,00

Tabla 10. Análisis de la varianza (contrastes) – P1000.

P 1000

C:\Users\Pc\Desktop\rendimiento de trigo11.IDB2: 13/12/2013 - 8:05:17

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
P1000	32	0,12	0,00	10,67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	24,16	7	3,45	0,45	0,8577
Nitrogeno	3,85	1	3,85	0,51	0,4836
Zeolita	11,68	3	3,89	0,51	0,6780
Nitrogeno*Zeolita	8,64	3	2,88	0,38	0,7693
Error	182,55	24	7,61		
Total	206,71	31			

Contrastes

Nitrogeno*Zeolita	Contraste	SC	gl	CM	F	p-valor
100 vs 100+z	-1,69	0,95	1	0,95	0,12	0,7274
150 vs 150+z	-2,79	2,59	1	2,59	0,34	0,5646
Total		3,54	2	1,77	0,23	0,7941

Coeficientes de los contrastes

Nitrogeno*Zeolita	Ct.1	Ct.2
100:0z	3,00	0,00
100:10z	-1,00	0,00
100:20z	-1,00	0,00
100:30z	-1,00	0,00
150:0z	0,00	3,00
150:10z	0,00	-1,00
150:20z	0,00	-1,00
150:30z	0,00	-1,00

Contrastes adicionales

Contrastes

Nitrogeno*Zeolita	Contraste	SC	gl	CM	F	p-valor
100vs100+20z	41,25	3403,13	1	3403,13	0,06	0,8111
150vs 150+20z	-257,50	132612,50	1	132612,50	2,27	0,1446
Total		136015,63	2	68007,81	1,17	0,3285

Coeficientes de los contrastes

Nitrogeno*Zeolita	Ct.1	Ct.2
100:0z	1,00	0,00
100:10z	0,00	0,00
100:20z	-1,00	0,00
100:30z	0,00	0,00
150:0z	0,00	1,00
150:10z	0,00	0,00
150:20z	0,00	-1,00
150:30z	0,00	0,00

C:\Users\Pc\Desktop\rendimiento de trigo11.IDB2: 14/12/2013 - 10:12:39

Medidas resumen

Nitrogeno	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
100	Rendimiento	16	1410,44	254,03	1023,00	1858,00
100	P1000	16	26,19	2,83	20,93	32,26
150	Rendimiento	16	1466,50	225,04	1094,00	1901,00
150	P1000	16	25,50	2,35	20,93	29,79

Tabla 11. Análisis de la varianza - Peso de 1000 granos.

Análisis de la varianza

Peso 1000

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Peso 1000	32	0,18	0,00	11,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	36,52	10	3,65	0,45	0,9031
Bloque	12,36	3	4,12	0,51	0,6809
Tratamiento	24,16	7	3,45	0,43	0,8751
Error	170,19	21	8,10		
Total	206,71	31			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=2,96016

Error: 8,1045 gl: 21

Bloque	Medias	n	E.E.	
1	25,25	8	1,01	A
2	25,42	8	1,01	A
4	25,86	8	1,01	A
3	26,85	8	1,01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=4,18630

Error: 8,1045 gl: 21

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3	24,72	4	1,42	A
1	24,80	4	1,42	A
6	25,08	4	1,42	A
5	25,77	4	1,42	A
2	26,03	4	1,42	A
4	26,45	4	1,42	A
7	26,65	4	1,42	A
8	27,28	4	1,42	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Tabla 12. Análisis de la varianza - Rendimiento (Kg/ha).

Análisis de la varianza

Rend

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Rend	32	0,47	0,22	14,56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	831661,31	10	83166,13	1,90	0,1042
Bloque	478119,09	3	159373,03	3,63	0,0296
Tratamiento	353542,22	7	50506,03	1,15	0,3705
Error	921046,66	21	43859,36		
Total	1752707,97	31			

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=217,76289

Error: 43859,3646 gl: 21

Bloque	Medias	n	E.E.			
1	1284,25	8	74,04	A		
4	1357,75	8	74,04	A	B	
2	1525,38	8	74,04		B	C
3	1586,50	8	74,04			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Test:LSD Fisher Alfa=0,05 DMS=307,96323

Error: 43859,3646 gl: 21

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
4	1295,75	4	104,71	A		
7	1355,50	4	104,71	A	B	
1	1368,25	4	104,71	A	B	
5	1396,75	4	104,71	A	B	
6	1432,00	4	104,71	A	B	
8	1457,50	4	104,71	A	B	
2	1576,25	4	104,71	A	B	
3	1625,75	4	104,71		B	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)