

**Servicio Técnico Especializado
INTA-Ceras San Juan S.A.**

**“Evaluación del efecto del yeso agrícola
elaborado por CERAS San Juan S.A. en
suelos salinos y sódicos de San Juan”**

**INFORME FINAL
4/6/2026**

INFORME STE

“Evaluación del efecto del yeso agrícola elaborado por CERAS San Juan S.A. en suelos salinos y sódicos de San Juan”

Edición: EEA San Juan
Junio 2026

Autores:

Luis Bueno, INTA EEA San Juan
Sergio Mondaca, INTA EEA San Juan
Emanuel Delfino, INTA EEA San Juan
Lisandro Bustos, INTA EEA San Juan
Raúl Tapia, INTA EEA San Juan

Fotografía:

Todas las fotos incluidas en el presente informe fueron tomadas por miembros del equipo de trabajo.

Este documento es resultado del **Servicio Técnico Especializado** celebrado entre INTA EEA San Juan y la empresa CERAS San Juan S.A.



**Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria
Argentina**

■ Contenidos

Contenidos.....	2
Resumen ejecutivo.....	3
Introducción.....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5
Metodología y procedimientos experimentales	6
Resultados.....	10
Análisis integral de los resultados.....	15
Conclusión.....	16
Anexos.....	17

Resumen ejecutivo

Introducción y Objetivos:

La salinidad y sodicidad en San Juan afectan la estructura del suelo y la productividad agrícola. Este informe evalúa el potencial del sulfato de calcio procesado por CERAS San Juan S.A. como yeso agrícola para mitigar estos efectos perjudiciales. EL objetivo principal fue evaluar el efecto del sulfato de calcio de CERAS San Juan SA sobre las características químicas del suelo, para validarlo como mejorador en la remediación de suelos salinos y sódicos de la región.

Metodología:

Se evaluó el efecto de distintas dosis de yeso agrícola sobre un suelo salino-sódico proveniente de 25 de mayo. El ensayo incluyó análisis de conductividad eléctrica, pH, cationes solubles y porcentaje de sodio intercambiable, utilizando espectrofotometría de absorción atómica y análisis estadístico mediante ANOVA y prueba de Tukey.

Resultados:

Los resultados obtenidos y validados estadísticamente confirman una mejora sustancial en todos los indicadores críticos de sodicidad.

La dosis de 12 t/ha se identificó como el óptimo técnico y económico. Tras dos procesos de lavado, esta dosis logró reducir el PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable) a un valor de 5,0 %, igualando estadísticamente el desempeño de la dosis máxima de 16 t/ha y superando significativamente al testigo, que permaneció en 6,6%.

Paralelamente, la RAS (Relación de Adsorción de Sodio) descendió de un valor inicial de 7,8 meq/l en el testigo a 5,1 meq/l con la aplicación de 12 t/ha, minimizando efectivamente el riesgo de degradación estructural.

El mecanismo de remediación demostró ser altamente dinámico. En la fase inicial, el calcio aportado por la enmienda desplazó al sodio de las arcillas, lo que se evidenció en un incremento del sodio soluble en los tratamientos (26,4 meq/l) frente al testigo (23,7 meq/l).

El segundo lavado consolidó la mejora al remover físicamente este sodio de la solución, logrando que el sodio intercambiable (Na-I) bajara de 19,8 meq/l a 14,8 meq/l en la dosis óptima.

Un hallazgo estratégico es la persistencia del efecto remediador. Los datos de que marcan las diferencia entre el primer y segundo lavado muestran que el calcio continuó fijándose en el complejo de intercambio, con una tasa de incorporación neta máxima en la dosis de 12 t/ha.

Debido a que los suelos tratados mantienen niveles elevados de calcio soluble (25,7 meq/l) tras la segunda extracción, se concluye que sucesivos lavados continuarán el proceso de recuperación, desplazando el sodio residual y mejorando la permeabilidad del suelo de forma sostenible.

Conclusiones:

El ensayo confirma que el sulfato de calcio de CERAS San Juan SA remedia eficazmente suelos salino-sódicos. La dosis de 12 t/ha resulta óptima, reduciendo el PSI a 5,0 y la RAS a 5,1 tras dos lavados. La persistencia del calcio garantiza que sucesivos lavados continuarán desplazando el sodio, asegurando una recuperación física sostenible.

Introducción

La empresa se encuentra ubicada en Alto de Sierra, departamento de Santa Lucía, provincia de San Juan, donde se realiza el procesamiento del yeso agrícola en la planta de Ceras San Juan. La materia prima proviene de yacimientos localizados en la provincia de La Rioja y es sometida a un proceso de molienda hasta obtener una granulometría malla 100, con un retenido del 5%. El producto final presenta una composición aproximada de 90% de sulfato de calcio y 5% de carbonato de calcio, características que favorecen su aplicación agrícola. Además, la empresa cuenta con certificación de normas ISO 9000 desde el año 1998, garantizando estándares de calidad en sus procesos

Objetivo General

Evaluar el efecto del sulfato de calcio de CERAS San Juan SA como mejorador en la remediación de suelos salinos y sódicos de la región.

Objetivos Específicos

Cuantificar en laboratorio los cambios químicos inducidos por diferentes dosis de sulfato de calcio de CERAS San Juan SA en muestras de suelos salinos.

Metodología y procedimientos experimentales

Para la realización del ensayo se evaluaron diferentes alternativas de suelo, seleccionándose finalmente una muestra proveniente del departamento de 25 de Mayo. El sitio correspondía a un lote implantado con cultivo de pistacho desde hacía varios años, caracterizado por presentar salinidad media y una Relación de Adsorción de Sodio (RAS) de media a alta. La selección de este suelo tuvo como finalidad disponer de un material representativo con problemas de salinidad y sodicidad, permitiendo evaluar de manera adecuada el efecto del yeso agrícola sobre sus propiedades químicas.

1- Preparación de la muestra

Una vez seleccionado el suelo, la muestra fue acondicionada en laboratorio mediante secado al aire a temperatura ambiente. Posteriormente, se realizó el tamizado utilizando una malla de 2 mm (figura 1), con el objetivo de homogenizar el material y eliminar restos vegetales, piedras y partículas de mayor tamaño que pudieran interferir en los análisis.



Figura 1: Acondicionamiento y tamizado del suelo.

2- Diseño Experimental y Tratamientos

El ensayo se estructuró bajo un diseño de bloques, evaluando cuatro niveles de aplicación de sulfato de calcio (yeso agrícola)

T1: (Testigo): Sin aplicación de enmienda.

T2: Dosis equivalente a 8 t/ha.

T3: Dosis equivalente a 12 t/ha.

T4: Dosis equivalente a 16 t/ha.

Cada tratamiento se realizó por triplicado para asegurar la robustez estadística de los resultados

3- Preparación de la pasta de saturación

Para cada tratamiento se preparó una pasta de saturación utilizando 400 g de suelo seco y 180 g de agua destilada (figura 2), sumando la cantidad de yeso agrícola correspondiente a cada dosis de aplicación, manteniendo iguales condiciones experimentales en todos los tratamientos evaluados. La mezcla fue homogenizada cuidadosamente tras un periodo de 24 horas de contacto para permitir el intercambio iónico, se procedió a la extracción del extracto de saturación mediante vacío (figura 2), sobre el cual se realizaron las determinaciones químicas.



Figura 2: Preparación de pasta de saturación. Extracción del extracto de saturación mediante vacío.

4- Determinaciones analíticas

Los análisis químicos realizados, siguiendo protocolos estandarizados de laboratorio, sobre el extracto de saturación y sobre el complejo de intercambio catiónico fueron los siguientes:

-Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica se determinó con el objetivo de cuantificar el nivel de salinidad del suelo y evaluar la eficiencia del lavado de sales luego de la aplicación del yeso agrícola. Los resultados se expresaron en dS/m.

-Acidez de suelo - pH

La medición de pH se realizó para monitorear posibles variaciones en la reacción del suelo tras la incorporación del yeso agrícola. Si bien el sulfato de calcio generalmente no modifica significativamente el pH en suelos alcalinos, su determinación resulta importante para complementar la caracterización química del sistema.

-Cationes solubles en el extracto de saturación

Se determinaron las concentraciones de sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) presentes en el extracto de saturación (figura 3), con el propósito de evaluar el efecto del intercambio catiónico producido luego de la aplicación del yeso agrícola y la liberación de cationes hacia la solución del suelo. Las determinaciones se realizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica.



Figura 3: Extractos de saturación para analizar cationes solubles.

-Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)

El Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) fue utilizado como indicador de la sodicidad del suelo. Para su determinación, se analizaron los contenidos de sodio, calcio y magnesio presentes en el complejo de intercambio catiónico.

La extracción de los cationes intercambiables se realizó mediante solución de acetato de amonio (figura 4), permitiendo desplazar los cationes adsorbidos en el complejo de intercambio. Posteriormente, las concentraciones obtenidas fueron determinadas mediante espectrofotometría de absorción atómica.



Figura 4: Extracción de los cationes intercambiables mediante solución de acetato de amonio

5 Análisis Estadístico

Los datos obtenidos fueron procesados mediante un Análisis de la Varianza (ANOVA) y las medias fueron comparadas utilizando la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$), permitiendo identificar diferencias significativas entre las dosis aplicadas y el testigo.

Resultados

1- Impacto en el pH y la Salinidad (CE)

El agregado de sulfato de calcio generó cambios significativos en las propiedades químicas básicas del suelo:

pH: Se observa una disminución progresiva del pH a medida que aumentan las dosis de yeso. Mientras que el testigo (0 t/ha) presenta valores de 7,83 en el primer lavado, las dosis de 12 y 16 t/ha logran reducirlo a niveles de 7,66. En el segundo lavado, esta tendencia se mantiene, siendo la dosis de 12 t/ha la que alcanza el valor más bajo (7,63). La reacción es normal y positiva, ya que indica que el producto no solo está aportando calcio, sino que está logrando remover el sodio y reducir la alcalinidad excesiva del suelo.

Lavado 1			Lavado 2		
Trat.	Medias PH		Trat	Medias PH	
12	7,66	A	12	7,63	A
8	7,77	B	16	7,66	B
16	7,77	B	8	7,75	C
0	7,83	C	0	7,88	D

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

Conductividad Eléctrica (CE): La CE aumentó significativamente con la aplicación del producto. Esto es un indicador directo de que el tratamiento está funcionando según el mecanismo químico previsto. Es un resultado esperado inicialmente, ya que el sulfato de calcio es una sal soluble que incrementa la concentración iónica en la solución del suelo para facilitar el desplazamiento del sodio. En el lavado 1, los tratamientos con yeso subieron la CE de 4,14 dS/m (testigo) a valores entre 5,14 dS/m y 5,34 dS/m. La diferencia entre el Lavado 1 y el Lavado 2 es la clave para medir la eficiencia de la remediación. Los datos muestran que el tratamiento con yeso hace que el suelo sea mucho más eficiente para "soltar" las sales no deseadas. La diferencia de CE entre el primer y segundo lavado fue mucho más alta en los suelos con yeso (entre 0,84 dS/m y 1,17 dS/m) que en el testigo (0,34 dS/m). Esto indica que las sales en los suelos tratados se lavan con mayor facilidad.

Lavado 1			Lavado 2		
Trat.	Medias CE (dS/m)		Trat.	Medias CE (dS/M)	
0	4,14	A	0	3,80	A
16	5,14	B	8	4,09	A B
8	5,26	B	16	4,31	B
12	5,34	B	12	4,34	B

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)

2- Dinámica de Cationes: Solubles (s) vs. Intercambiables (l)

2-1 Calcio soluble (Ca-s)

Estos valores representan la cantidad de calcio inmediatamente disponible en la solución del suelo para desplazar al sodio del complejo de intercambio.

En el primer lavado la aplicación de sulfato de calcio incrementa significativamente la disponibilidad de este catión en comparación con el testigo. Mientras que en este tratamiento presenta apenas 15,6 meq/l de Ca-s, todas las dosis con enmienda superan los 29 meq/l.

La dosis de 12 t/ha alcanzó el valor más alto en el primer lavado (32,0 meq/l), superando incluso a la dosis de 16 t/ha (29,7 meq/l). Esto sugiere que, a 12 t/ha, se logra una saturación óptima de la solución del suelo con calcio para iniciar el proceso de remediación.

El segundo lavado muestra una disminución generalizada del calcio soluble en los tratamientos, lo cual es un indicador de su dinámica química (parte se lixivia y otra parte pasa al complejo de intercambio). A pesar de la disminución respecto al primer lavado, los niveles de calcio soluble en los suelos tratados siguen siendo muy superiores al testigo (14,27 meq/l), garantizando que el proceso de desplazamiento de sodio continúe activo.

El análisis revela que la incorporación del producto cumple con su función de elevar la oferta de calcio en la solución del suelo. Es destacable que la dosis de 12 t/ha es la que ofrece la mayor liberación inicial de calcio (Lavado 1), mientras que la dosis de 16 t/ha parece ofrecer una liberación más sostenida o estable a través de los lavados. El hecho de que en el segundo lavado las dosis de 12 y 16 t/ha no presenten diferencias significativas refuerza la idea de que la dosis de 12 t/ha es altamente eficiente para saturar la solución del suelo con el calcio necesario para la remediación.

Lavado 1			Lavado 2		
Trat.	Medias Ca-S (meq/l)		Trat.	Medias Ca-S (meq/l)	
0	15,6	A	0	14,2	A
16	29,7	B	8	22,7	B
8	29,8	B	12	25,7	C
12	32,0	C	16	25,7	C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

2-2 Sodio soluble (Na-s)

El análisis de este catión es clave para entender el proceso de remediación, ya que este parámetro mide el sodio que ha sido desplazado del complejo de intercambio y ahora se encuentra en la solución del suelo, listo para ser lixiviado o "lavado".

En el primer lavado, se observa un fenómeno muy positivo, un aumento significativo del sodio soluble en los suelos tratados. Mientras el testigo presenta 23,7 meq/l, las dosis de 8, 12 y 16 t/ha muestran valores significativamente mayores (26,5 meq/l, 26,4 meq/l

y 25,7 meq/l respectivamente). Este incremento inicial de sodio en la solución del suelo confirma que el calcio aportado por el yeso está cumpliendo su función química de "sacar" al sodio fuera de las arcillas (pasando de Na-intercambiable a Na-soluble).

Con el segundo lavado, se evidencia una caída drástica en los niveles de sodio soluble en todos los tratamientos, lo que indica el éxito de la remoción física por el agua. Los niveles bajan de un promedio de 26,2 meq/l en el primer lavado a valores de entre 19,6 meq/l y 20,0 meq/l en el segundo lavado para los suelos tratados. Aunque el sodio bajó en todos, los tratamientos con yeso siguen manteniendo niveles de Na-s ligeramente más altos que el testigo (17,2 meq/l) en el segundo lavado. Esto sugiere que la enmienda sigue trabajando y desplazando sodio residual que aún quedaba en el complejo de intercambio.

El análisis confirma que la aplicación de sulfato de calcio moviliza el sodio hacia la solución del suelo, permitiendo que sea removido mediante el agua de lavado. La dosis de 12 t/ha vuelve a destacar como altamente efectiva, mostrando la mayor diferencia de remoción entre etapas (6,8 meq/l), lo que la posiciona como una opción muy equilibrada para la remediación práctica que se busca en la región de San Juan.

Lavado 1			Lavado 2		
Trat.	Medias Na-S (meq/l)		Trat.	Medias Na-S (meq/l)	
0	23,7	A	0	17,2	A
16	25,7	B	12	19,6	B
12	26,4	B	8	20,0	B
8	26,5	B	16	20,0	B

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

2-3 Relación de Adsorción de Sodio (RAS)

Este valor es fundamental para determinar el riesgo de sodicidad en la solución del suelo.

En la primera extracción, se observa que la aplicación del producto genera una reducción drástica de la RAS en comparación con el suelo sin tratar. El testigo (0 t/ha) inicia con una RAS de 7,8 meq/l, mientras que todas las dosis tratadas bajaron este valor significativamente hacia el rango de 6,1 meq/l - 6,4 meq/l. La dosis de 12 t/ha logró el valor más bajo (6,1 meq/l), lo que demuestra su alta efectividad inicial para equilibrar los cationes en la solución del suelo.

Tras el segundo proceso de lavado, los valores de RAS continuaron descendiendo en todos los casos, pero los tratamientos con enmienda alcanzaron niveles de recuperación muy superiores. Las dosis de 12 y 16 t/ha lograron reducir la RAS a 5,1 meq/l y 5,2 meq/l respectivamente. Aunque el testigo también bajó su RAS por el efecto del lavado con agua (llegando a 5,8 meq/l), sigue siendo significativamente más alto que cualquiera de los suelos tratados con yeso.

El testigo presenta la mayor diferencia numérica entre el primer y segundo lavado (2,0 meq/l), mientras que los tratamientos tienen diferencias menores (entre 0,9 meq/l y 1,1

meq/l), esto no significa que el testigo sea más eficiente, sino que los suelos tratados partieron de una base mucho mejor en el primer lavado gracias a la acción química del calcio. El sulfato de calcio hizo el "trabajo pesado" de inmediato, por lo que en el segundo lavado la RAS ya estaba en niveles bajos y su descenso fue más gradual.

Estos valores demuestran que el sulfato de calcio es sumamente efectivo para disminuir el riesgo de sodicidad en la solución del suelo. La dosis de 12 t/ha vuelve a posicionarse como la más eficiente, ya que logra los valores de RAS más bajos en ambos lavados, cumpliendo con creces el objetivo de mejorar las condiciones químicas del suelo para la región de San Juan.

Lavado 1			Lavado 2		
Trat.	Medias RAS (meq/l)		Trat.	Medias RAS (meq/l)	
12	6,1	A	12	5,1	A
16	6,2	A B	16	5,2	A
8	6,4	B	8	5,5	B
0	7,8	C	0	5,8	C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

2-4 Calcio intercambiable (Ca-I)

Este catión es el indicador más directo de la efectividad de la enmienda en el complejo de intercambio del suelo, ya que muestra cuánto calcio del producto ha logrado fijarse en las arcillas.

En la primera etapa, se observa una correlación directa y positiva entre la cantidad de sulfato de calcio aplicada y el calcio que logra incorporarse al complejo de intercambio.

El testigo parte de un valor de 226,1 meq/l, y cada dosis superior aumenta significativamente el Ca-I: 8 t/ha (240,5 meq/l), 12 t/ha (248,9 meq/l) y la dosis máxima de 16 t/ha alcanzando 257,6 meq/l.

Tras el segundo lavado, los niveles de calcio intercambiable continúan aumentando en todos los tratamientos. Esto es una señal muy positiva, ya que indica que el proceso de intercambio químico sigue activo. La dosis de 12 t/ha alcanza el valor más alto con 266,1 meq/l, superando numéricamente a la de 16 t/ha (260,6 meq/l). Esto confirma que, con el tiempo y el paso del agua, la dosis de 12 t/ha es tan efectiva como la de 16 t/ha para enriquecer el suelo con calcio.

Los resultados validan el objetivo de la propuesta de mejorar las propiedades químicas del suelo. El sulfato de calcio está logrando efectivamente "la incorporación de calcio al complejo de intercambiable del suelo. Si bien la dosis de 16 t/ha es la más rápida en actuar, la dosis de 12 t/ha demuestra ser la más eficiente en términos de dinámica, logrando la mayor tasa de incorporación de calcio entre lavados y alcanzando niveles de recuperación finales idénticos a la dosis superior.

Lavado 1			Lavado 2		
Trat.	Medias Ca-I (meq/l)		Trat.	Medias Ca-I (meq/l)	
0	226,1	A	0	237,7	A
8	240,5	B	8	253,7	B
12	248,9	C	16	260,6	C
16	257,6	D	12	266,1	C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

2-5 Sodio intercambiable (Na-I)

Estos valores son el indicador más crítico para evaluar la recuperación física del suelo, ya que representa el sodio que está "pegado" a las arcillas y que causa la degradación de la estructura del suelo.

Desde la primera etapa, los datos muestran que el sulfato de calcio actúa de forma inmediata desplazando el sodio del complejo de intercambio. El testigo (0 t/ha) presenta el valor más alto de Na-I (19,8 meq/l). A medida que aumenta la dosis, el sodio intercambiable disminuye significativamente, en el tratamiento de 8 t/ha (19,2 meq/l), 12 t/ha (17,8 meq/l) y 16 t/ha (17,3 meq/l). En este primer lavado, la dosis de 16 t/ha es la más efectiva para desplazar el sodio (grupo estadístico A), logrando la mayor reducción inicial respecto al suelo original.

Tras el segundo proceso de lavado, los valores de Na-I continuaron descendiendo en todos los tratamientos, alcanzando niveles de recuperación mucho más profundos. Las dosis de 12 t/ha (14,8 meq/l) y 16 t/ha (14,5 meq/l) se vuelven estadísticamente similares lo que indica que, tras un segundo lavado, la dosis de 12 t/ha alcanza una eficacia de desplazamiento comparable a la dosis máxima. El testigo termina con un Na-I de 18,4 meq/l, un valor que sigue siendo superior incluso a los niveles iniciales de los suelos tratados en el primer lavado.

Los resultados confirman que se está cumpliendo el objetivo principal de la propuesta de reducir la sodicidad mediante el intercambio iónico. El calcio del producto está reemplazando exitosamente al sodio en las arcillas. Si bien la dosis de 16 t/ha ofrece el impacto más fuerte y rápido en el primer lavado, la dosis de 12 t/ha demuestra ser la opción más eficiente a mediano plazo, ya que tras dos lavados logra estabilizar el sodio intercambiable en niveles idénticos a la dosis superior, optimizando la relación costo-beneficio del tratamiento para la región de San Juan.

Lavado 1			Lavado 2		
Trat.	Medias Na-I (meq/l)		Trat.	Medias Na-I (meq/l)	
16	17,3	A	16	14,5	A
12	17,8	B	12	14,8	A B
8	19,2	C	8	15,1	B
0	19,8	D	0	18,4	C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

2-6 Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI)

Esta variable es el "indicador crítico de la sodicidad del suelo".

En la primera etapa, se observa que la aplicación de la enmienda reduce el PSI de forma inmediata y proporcional a la dosis, mientras el testigo presenta un valor de 7,4 %, la dosis de 16 t/ha logra bajarlo a 5,9 % y la de 12 t/ha a 6,2 %. En esta fase inicial, la dosis de 16 t/ha es estadísticamente la más efectiva para desplazar el sodio y bajar el PSI rápidamente.

Tras el segundo lavado, los efectos de la remediación se estabilizan, mostrando una convergencia muy interesante entre las dosis más altas, las dosis de 12 t/ha y 16 t/ha logran reducir el PSI a un valor idéntico de 5,0 %. Esto es fundamental, ya que indica que no hay una ganancia estadística en aplicar 16 t/ha frente a 12 t/ha para alcanzar este nivel de recuperación tras dos procesos de lavado. El suelo sin tratar (0 t/ha) termina con un PSI de 6,6 %, lo que demuestra que el lavado con agua sola es insuficiente para alcanzar los niveles de mejora que proporciona la adición de sulfato de calcio.

Los datos demuestran que el PSI se redujo exitosamente en todos los tratamientos con enmienda. Nuevamente, la dosis de 12 t/ha se destaca como la opción más equilibrada y eficiente: logra igualar estadísticamente a la dosis de 16 t/ha en el resultado final (PSI 5,0 %) y muestra una dinámica de intercambio más activa entre lavados que la dosis máxima. Esto cumple plenamente con el objetivo de cuantificar los cambios químicos para plantear una remediación a campo efectiva.

Lavado 1			Lavado 2		
Trat.	Medias PSI (%)		Trat.	Medias PSI (%)	
16	5,9	A	12	5,0	A
12	6,2		16	5,0	
8	6,9	B	8	5,3	B
0	7,4	C	0	6,6	C

Letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)

Análisis integral de los resultados

Se puede concluir que el ensayo ha cumplido con éxito su objetivo general de evaluar y cuantificar la eficacia del sulfato de calcio como mejorador para suelos salino-sódicos de la región de San Juan.

El tratamiento no solo es efectivo, sino que demuestra una dinámica química que garantiza la recuperación del suelo a medida que se suceden los lavados.

La eficacia según la dosis se observó que el "Punto Óptimo" es de 12 t/ha. El análisis estadístico revela que, si bien todas las dosis (8, 12 y 16 t/ha) mejoraron las condiciones del suelo respecto al testigo, existe un comportamiento de rendimientos decrecientes en la dosis máxima. Al finalizar el segundo lavado, no existen diferencias significativas

entre la dosis de 12 t/ha y 16 t/ha en los indicadores más críticos, en ambos lograron un PSI de 5,0 % y una RAS de 5,1 meq/l -5,2 meq/l.

La dosis de 12 t/ha demostró ser la más eficiente, ya que logró la mayor incorporación neta de calcio al complejo de intercambio entre el primer y segundo lavado (diferencia de -17 meq/l en Ca-I), alcanzando el mismo nivel de recuperación que la dosis de 16 t/ha con un menor uso de insumo

La metodología de dos lavados permitió confirmar que el proceso de remediación ocurre en dos etapas complementarias.

En el primer lavado (Reacción Química), el calcio aplicado desplazó rápidamente al sodio hacia la solución del suelo. Esto se evidencia en que el Na-soluble fue más alto en los tratamientos que en el testigo durante esta etapa.

En el segundo lavado (Limpieza Física), el agua logró retirar el sodio que ya estaba "suelto" en la solución. Se observó una caída drástica del sodio soluble y una mejora final del PSI, que bajó de niveles de 5,9 %-6,2% a un valor óptimo de 5,0 % en las dosis más altas.

Podemos inferir un efecto residual de la reacción y limpieza, es decir el calcio seguirá sacando sodio en lavados posteriores. Ya que, tras el segundo lavado, los suelos tratados aún mantienen niveles de calcio en solución (aprox. 25,7 meq/l) significativamente superiores al testigo (14,27 meq/l). Esto significa que todavía hay "reserva" de calcio disponible para seguir desplazando cualquier remanente de sodio intercambiable. Como así también los datos de "diferencia" muestran que el calcio fijado en el suelo aumentó entre el primer y segundo lavado (valores negativos de diferencia como -17 meq/l y -13 meq/l). Esto confirma que el proceso de intercambio catiónico no se detiene instantáneamente, sino que continúa mientras haya humedad y calcio disponible en la solución.

Conclusión

El sulfato de calcio de CERAS San Juan SA es una herramienta robusta para la remediación de estos suelos.

Los cambios observados en PSI, RAS y sodio intercambiable permiten inferir una mejora sustancial del ambiente químico del suelo y sugieren una recuperación progresiva de sus propiedades físicas. No obstante, la magnitud de las mejoras en infiltración, permeabilidad, estabilidad estructural y productividad deberá validarse mediante ensayos complementarios a campo.

Los resultados sugieren que, con sucesivos lavados, el calcio remanente en la solución seguirá ocupando sitios en el complejo de intercambio, desplazando el sodio residual y mejorando progresivamente la estructura y permeabilidad del suelo.

Para una aplicación práctica a campo en San Juan, la dosis de 12 t/ha se perfila como la recomendación más sólida, balanceando una máxima recuperación química con una óptima eficiencia de recursos.

ANEXOS

EVALUACIÓN DEL YESO AGRÍCOLA CERAS SAN JUAN S.A.

REMEDIACIÓN DE SUELOS SALINO-SÓDICOS DE SAN JUAN

Informe realizado por INTA EEA San Juan – 2026



EEA San Juan

EL PROBLEMA

Los suelos salino-sódicos presentan:

- Exceso de sodio
- Mala estructura del suelo
- Menor infiltración de agua
- Reducción de la productividad agrícola



LA SOLUCIÓN EVALUADA

YESO AGRÍCOLA CERAS SAN JUAN S.A.



- ✓ 90 % sulfato de calcio
- ✓ Fuente de calcio para desplazar sodio
- ✓ Aplicado como enmienda en diferentes dosis

¿CÓMO SE REALIZÓ EL ENSAYO?



Suelo salino-sódico
proveniente de
25 de Mayo,
San Juan



TRATAMIENTOS EVALUADOS



3 repeticiones



2 procesos
de lavado



Evaluación de
PSI, RAS, pH
y cationes

1

REACCIÓN QUÍMICA

El calcio del yeso desplaza
el sodio de las arcillas.



¿QUÉ OCURRE EN EL SUELO?

2

LAVADO

El agua elimina el sodio liberado.
Mejora progresiva de la
estructura del suelo.



REDUCCIÓN DEL PSI

(Porcentaje de Sodio Intercambiable)



✓ 12 t/ha igualó a la dosis máxima.

RESULTADOS CLAVE (después de 2 lavados)

REDUCCIÓN DE LA RAS

(Relación de Adsorción de Sodio)



✓ Menor riesgo de sodicidad.

MEJOR INCORPORACIÓN DE CALCIO AL COMPLEJO DE INTERCAMBIO

(Ca-I meq/l)



✓ Más calcio en el suelo = suelos más estables.



EFFECTO RESIDUAL POSITIVO

- ✓ Después de dos lavados, el suelo mantiene calcio disponible.
- ✓ El calcio remanente sigue desplazando sodio.
- ✓ Se espera una recuperación progresiva con nuevos lavados.

¿POR QUÉ 12 t/ha ES LA DOSIS ÓPTIMA?



Resultados
equivalentes
a 16 t/ha



Menor uso
de insumos



Máxima eficiencia
económica y
ambiental



CONCLUSIÓN FINAL

El sulfato de calcio de CERAS San Juan S.A. es una herramienta eficaz para la remediación de suelos salino-sódicos de San Juan. La dosis de 12 t/ha se considera la recomendación más sólida, ya que logra una máxima recuperación química con óptima eficiencia de recursos. Con sucesivos lavados, el calcio remanente seguirá desplazando el sodio residual y mejorando progresivamente la estructura y permeabilidad del suelo.



MEJORAS QUÍMICAS

- ✓ Disminución significativa del sodio intercambiable (Na-I).
- ✓ Reducción del PSI y la RAS a niveles óptimos.
- ✓ Aumento del calcio intercambiable y equilibrio de cationes.
- ✓ Menor alcalinidad y mejor calidad química del suelo.



MEJORAS FÍSICAS

- ✓ Mejora de la estructura y estabilidad de los agregados.
- ✓ Aumento de la infiltración y permeabilidad del suelo.
- ✓ Menor dispersión de arcillas y menor costra superficial.
- ✓ Mayor absorción y capacidad de retener agua útil.

RECOMENDACIÓN TÉCNICA

12 t/ha

- ✓ PSI final: 5,0 %
- ✓ RAS final: 5,1
- ✓ Máxima eficiencia
- ✓ Menor uso de insumos

CERTIFICADO DE ANÁLISIS

PROPIETARIO:

CERAS San Juan.

FECHA INGRESO: 27-04-2.026

UBICACIÓN:

FECHA ANALISIS: 22-05-2.026

Informe

N°

3.931.

Solicitante: Ing. Mg. BUENO, Luis

Cuadro de resultado de análisis: Suelo.

Muestra N°	Obs	CEe (1) (μScm^{-1})	pH	Cationes Solubles (me/l) (2)			Cationes Intercambiables (me/l) (3)				R A S	P S I
				Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺		
2.488	T1 R1	4.070	7,82	16,9	2,9	24,1	228,0	10,4	19,8	9,0	7,7	7,4
2.489	T1 R2	4.350	7,83	15,5	3,0	23,8	223,4	11,5	19,9	8,8	7,8	7,5
2.490	T1 R3	4.000	7,83	14,4	2,9	23,2	226,9	12,1	19,7	8,6	7,9	7,4
2.491	T2 R1	5.340	7,78	30,7	4,8	26,8	240,9	10,6	19,4	8,6	6,3	6,9
2.492	T2 R2	5.130	7,77	29,5	4,6	26,3	242,5	11,9	18,9	8,4	6,4	6,7
2.493	T2 R3	5.300	7,76	29,2	4,9	26,4	238,0	12,3	19,2	8,7	6,4	6,9
2.494	T3 R1	5.170	7,62	31,5	4,3	25,9	248,5	11,2	17,7	8,2	6,1	6,2
2.495	T3 R2	5.370	7,68	32,6	5,3	26,5	249,1	11,4	17,9	8,5	6,1	6,2
2.496	T3 R3	5.480	7,68	32,0	5,3	26,8	249,1	12,1	17,9	8,2	6,2	6,2
2.497	T4 R1	5.050	7,78	29,5	4,7	25,3	257,1	11,9	17,4	9,0	6,1	5,9
2.498	T4 R2	5.120	7,76	29,5	4,8	26,2	254,6	11,4	17,1	8,2	6,3	5,9
2.499	T4 R3	5.260	7,78	30,1	4,7	25,5	261,2	11,2	17,4	8,8	6,1	5,8
2.501	T1	2.570	7,88	14,27	3,4	17,2	237,7	11,6	18,4	8,3	5,8	6,6
2.502	T2	4.150	7,75	22,77	3,8	20,0	253,7	12,2	15,1	4,6	5,5	5,3
2.503	T3	4.180	7,64	25,7	4,3	19,6	266,1	10,2	14,8	4,5	5,2	5,0
2.504	T4	4.220	7,67	25,77	4,4	20,0	260,6	10,1	14,5	4,1	5,1	5,0

Notas:

- 1- Conductividad eléctrica del extracto de saturación, expresada en μScm^{-1} .
- 2- Cationes solubles (Ca⁺²; Mg⁺²; Na⁺), determinados por AA, expresados en me/l.
- 3- Cationes Intercambiable (Ca⁺²; Mg⁺²; Na⁺), determinados por saturación de Acetato de Amonio a Ph7. Leídos por AA, expresados en me/l.

Dr. Raúl E. Tapia

RESPONSABLE DEL LABORATORIO
DE SUELOS DE LA EEASJ-INTA

INTA EEA San Juan Calle 11 y Vidart s/n - Pocito - SAN JUAN - ARGENTINA
TE. Fax : 00-54-264-4921079/1191 Interno: 234 e-mail: babelis.grman@inta.gob.ar , tapia.esteban@inta.gob.ar